

ZAŁĄCZNIK 2a

AUTOREFERAT

DR INŻ. ARTUR JANOWSKI

Spis treści

1. Imię i nazwisko	7
2. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe	7
3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach dydaktyczno-naukowych	7
4. Wykazane osiągnięcie naukowe wynikające z art. 16, ust.2 ustawy z 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (dz. U. z 2014 r. poz. 1852)	8
4.1 Tytuł osiągnięcia naukowego	8
4.2 Spis publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe	9
4.3 Omówienie celu naukowego i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania	10
4.3.1 Opracowanie metody optymalizacji doboru lokalizacji elementów infrastruktury GBAS – publikacja 1	12
4.3.2 Identyfikacja możliwości wykorzystania $M_{split}(q=2)$ estymacji w modelowaniu prostych struktur przestrzennych pochodzenia antropogenicznego – publikacja 2	16
4.3.3 Opracowanie innowacyjnej metodyki rozszerzającej wykorzystanie $M_{split}(q=2)$ estymacji w separacji danych przestrzennych - publikacja 3..	21
4.3.4 Opracowanie nowatorskiej procedury wykorzystania $M_{split}(q>2)$ estymacji w jednoczesnej detekcji wielu obiektów o jednolitym modelu funkcjonalnym – publikacja 4	26
4.3.5 Adaptacja teorii α -shape 2D w modelowaniu obwiedni obiektów przestrzennych 3D - publikacja 5	30
4.4 Podsumowanie cyklu artykułów i wskazanie użyteczności rozwiązań	35
5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych	38
5.1 Charakterystyka wybranych prac naukowo-badawczych	38
6. Bibliografia	45
7. Podsumowanie dorobku i osiągnięć naukowych, popularyzatorskich, organizacyjnych i dydaktycznych	48

1. Imię i nazwisko: ARTUR JANOWSKI

2. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe

- a) Tytuł zawodowy magistra inżyniera w dyscyplinie geodezja i kartografia, specjalność: geodezja gospodarcza
Praca magisterska pod tytułem: „*Program zarządzający tworzeniem i wykorzystaniem miejskich rejestrów przestrzennych jako aplikacja MapInfo*”, obroniona 30.06.1998
Opiekun naukowy: prof. dr hab. inż. Maria Krystyna Szacherska (UWM in Olsztyn)

- b) Stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie geodezja i kartografia uzyskany na Wydziale Geodezji i Gospodarki Przestrzennej, UWM w Olsztynie.
Praca doktorska pod tytułem: "*Dobór optymalnych narzędzi informatycznych przy konstruowaniu aplikacji SIP przeznaczonych dla odbiorcy masowego*", obroniona 10.06.2003
Promotor: prof. dr hab. inż. Idzi Gajderowicz
Recenzenci: dr hab. inż. Janusz Kwiecień (ATR w Bydgoszczy)
dr hab. Zygmunt Paszotta (UWM w Olsztynie)

- c) studia podyplomowe: Wycena Nieruchomości, 1997-1998

- d) studia podyplomowe: Zaawansowane technologie informatyczne, 2000-2001

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach dydaktyczno-naukowych.

- a) Od 2003 roku - Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Wydział Geodezji i Gospodarki Przestrzennej (od 2015 r. Wydział Geodezji, Inżynierii Przestrzennej i Budownictwa), adiunkt

- b) Od 2009 roku - Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, adiunkt

4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2014 r. poz.1852).

4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego

Rozprawę habilitacyjną pt.: „Zastosowanie numerycznych algorytmów przetwarzania zbiorów obserwacyjnych w ekstrakcji uporządkowanych struktur przestrzennych” stanowi cykl pięciu powiązanych tematycznie publikacji naukowych.

Przedstawiony poniżej cykl publikacji dotyczy szczegółowych zagadnień w zakresie opracowania inżynierskich pomiarów geodezyjnych mających charakter masowy i stanowi osiągnięcie naukowe wynikające z art. 16 ust.2 ustawy z dnia 14 marca 2003r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki. Klamrą zwierającą cykl publikacji jest realizacja szeregu powiązanych działań wśród których do najważniejszych należą:

- poprawa jakości interpretacji wyników pomiarów a dokładnie modeli przestrzeni czy zjawisk na ich podstawie uzyskanych,
- zwiększenie wydajności dostępu do danych przestrzennych wykorzystywanych w geodezji inżynierskiej uzyskane przede wszystkim przez uproszczenie ich zapisu i usunięcie istniejącej nadmiarowości danych,
- opracowanie takiego zbioru (jeśli chodzi o jego wielkość), którą użytkownik jest w stanie przetworzyć „jednorazowo” używając współczesnego na dzień publikacji sprzętu komputerowego,
- uproszczenie właściwego procesu przetwarzania danych przestrzennych – poprzez zwiększenie wydajności algorytmów przetwarzania właściwego a także przepustowości np. przy migracji danych,
- skrócenie czasu dostępu do pożądanej informacji.

Opisane badania dotyczą zarówno sformułowanych oryginalnych metod ekstrakcji informacji z obserwacji przestrzennych jak również badań nad synergią bądź adaptacją algorytmów już istniejących.

Przywołana masowość informacji jest cechą, która współcześnie odgrywa istotną rolę. Wielorakość alternatywnych instrumentów pomiarowych, ze szczególnym uwzględnieniem narzędzi rejestrujących położenie i parametry elementów otaczającej przestrzeni powoduje składowanie coraz większych zbiorów danych zbudowanych z elementów pozornie ze sobą niezwiązanych, a każdy pojedynczy pomiar może istnieć samodzielnie przyporządkowując ustalony opis do konkretnej lokalizacji przestrzennej. Prowadzi to z reguły do powstawania nadmiarowości rejestracji, dając finalnie trudny i czasochłonny w interpretacji „obraz” modelowanej przestrzeni. Taka konstatacja skutkuje możliwością postawienia pytania: czy „obraz” ten można opisać jaśniej, lepiej, korzystniej z określonego punktu widzenia? Jeśli tak, to zadanie dążące do maksymalnej możliwej poprawy wskazanego zagadnienia (zgodnie z zadeklarowanymi potrzebami) zwykle określa się procesem optymalizacyjnym. Zadanie optymalizacji bez zdefiniowania jej celu jest niemożliwe do wykonania. Złożone spektrum celów jakie można obrać wykluczają się zwykle w przypadku optymalnej formy danych przestrzennych użytecznych w zadaniach geodezji inżynierskiej. Stąd właściwą definicją optymalizacji wydaje się ta, która określa ją jako czynność zakończoną wynikiem w postaci najlepszego rozwiązania, ale ocenianego względem konkretnie zdefiniowanej potrzeby (optymalizacja jednokryterialna). Gdy celów jest więcej wskazuje się na optymalizację wielokryterialną.

Mimo intensywnego rozwoju technologicznego, zmniejszenia się kosztów składowania danych, aktualnym pozostaje problem właściwej interpretacji obserwacji. Stąd dobór właściwych modeli opisu badanych elementów przestrzeni pozostaje kluczowym zagadnieniem w pracach opartych na wynikach pomiarów geodezji inżynierskiej. W swoich badaniach autor starał się definiować takie modele, co zaprezentowano w formie publikacji stanowiących oryginalne osiągnięcie naukowe. W publikacjach przedstawiono oryginalną koncepcję opracowania i implementacji kilku numerycznych algorytmów modelowania danych, których przetestowanie zostało przeprowadzone na rzeczywistych zbiorach obserwacji pozyskanych metodami geodezji inżynierskiej.

4.2. Spis publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe

W Tabeli 1 przedstawiono spis pozycji stanowiących cykl pięciu publikacji powiązanych tematycznie wraz z udziałem procentowym wnioskodawcy w ich przygotowanie. Cztery publikacje znajdują się na liście A MNiSW – są indeksowane przez JCR, a jedna jest indeksowana w bazie Web of Science. W tabeli podano: oznaczenie porządkowe zgodne z wykazem dorobku (załącznik nr 3), Impact Factor czasopisma, liczbę punktów czasopisma wg MNiSW z roku opublikowania, udział procentowy wnioskodawcy w przygotowaniu pracy. Szczegółowy opis wkładu wnioskodawcy w przygotowanie poszczególnych publikacji przedstawiono w załączniku nr 3.

Tabela 1. Spis publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe.

Ozn.publik.	Tytuł opracowania	Liczba punktów wg listy MNiSW	Impact Factor Czasop	Udział własny kandydata w %
1	Janowski A., Rapiński J. 2017. The analyzes of PDOP factors for a zigbee ground – based augmentation systems. POLISH MARITIME RESEARCH Special Issue 2017 S1 (93) 2017 Vol. 24; DOI: https://doi.org/10.1515/pomr-2017-0028 (lista A)	20	0.776	80
2	Janowski A., Rapiński J. 2013. M-split estimation in laser scanning data modeling. Journal of the Indian Society of Remote Sensing. 2013, 41 (1), s. 15-19; DOI: 10.1007/s12524-012-0213-8 (lista A)	15	0.528	60
3	Błaszczak-Bąk W., Janowski A., Kamiński W., Rapiński J. 2015. Application of the M-split method for filtering airborne laser scanning data-sets to estimate digital terrain models. International Journal of Remote Sensing. 2015, 36 (9), s. 2421-2437 ; p-ISSN: 0143-1161 DOI: 10.1080/01431161.2015.1041617 (lista A)	30	1.652	52
4	Janowski A. 2018. The circle object detection with the use of Msplit estimation. E3S Web Conf., 26 (2018) 00014, DOI: https://doi.org/10.1051/e3sconf/20182600014 Web of science.	15		100
5	Bobkowska K., Janowski A., Szulwic J. 2018. 3D modelling of cylindrical shaped objects from lidar data - an assessment based on theoretical modelling and experimental data. Metrology And Measurement Systems, 1/2018 vol. 25, DOI: 10.24425/118156. (lista A)	20	1.598	80
	Suma:	100 pkt.	4.554	71,6 pkt.

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

Najważniejszym oryginalnym osiągnięciem naukowym zaprezentowanym w cyklu publikacji jest opracowanie efektywnych algorytmów ekstrakcji uporządkowanych struktur przestrzennych dla zbiorów obserwacyjnych związanych z tematyką geodezji inżynierskiej.

Przetwarzanie odniesione do zbioru danych przestrzennych zwykle związane jest z modyfikowaniem repozytoriów danych pochodzenia empirycznego – zbiorów pomiarowych związanych z określoną lokalizacją, wykonanych w określonym czasie. Stąd ustalenie natury aparatury pomiarowej i uzyskiwanego z jej użyciem wyniku (obserwacji pomiarowej) stanowi zawsze istotny parametr ukierunkowujący możliwości badań optymalizacyjnych, wskazujący także ograniczenia wykorzystania w tym celu ich klasycznych metod. Już same metody poboru próbek pomiarowych: losowe czy regularne, usystematyzowane, z wybranej kategorii wartości, filtrowane wg założeń statystycznych czy kontekstowych (semantycznych, znaczeniowych czy wartościowych), liczebność próbki, dokładność zapisu rejestrowanych parametrów, a na ich podstawie ocena poprawności pomiaru próbki czy jej reprezentatywności daje sugestie co do tendencji jakim będzie poddawał się w procesie przetwarzania zbior rejestranych danych (późniejszej informacji), a co za tym idzie adekwatność doboru metod aproksymujących i generalizujących utożsamianych często z optymalizacją lub stanowiących jej integralną część.

Obecnie głównymi czynnikami determinującymi wykorzystanie algorytmów optymalizujących w przestrzennych zbiorach danych są przede wszystkim:

- trudności w kompleksowej ocenie pozyskanych obserwacji pomiarowych,
- problemy składowania pozyskanych danych, a także porównywania ich z rozwiązaniami alternatywnymi, także realizowanymi z wykorzystaniem paralaksy czasowej.

Istotne znaczenie ma również sposób oceny algorytmów restrukturyzacji zbiorów obserwacji. Warto tu zwrócić uwagę na następujące aspekty:

- skuteczność algorytmu (pod względem osiągniętych rezultatów) - rozumianą jako stopień wykonania planowanych działań, w stosunku do osiągnięcia założonych wyników. Wynikami mogą tu być: wielkość zbioru danych po optymalizacji, jakość rozumiana jako dokładność relatywnie określona względem charakterystyki zbioru źródłowego, czy też wierność zachowania inherentności zbioru źródłowego w zbiorze przetworzonym;
- jednoznaczność, „kompletność” (wystarczalność), wiarygodność oraz spójność tj. integralność danych otrzymanego wyniku;
- złożoność algorytmu - mająca wpływ tak na wydajność jego procedowania jak i ograniczenia związane z wymagalnością względem zasobów czasowo – sprzętowych;
- efektywność - rozumiana jako relacja między osiągniętymi wynikami, a wykorzystanymi zasobami i wynikająca z niej złożoność obliczeniowa algorytmu. Porównania „konkurencyjnych” algorytmów mogą być wykonane np. przez zestawianie teoretycznego czasu realizacji zadania ustalanego jako analizy czasu wykonania podstawowych operacji matematycznych składających się na cały algorytm;
- możliwość wykonywania równoległego (współbieżność) procesu przetwarzania w postaci więcej niż jednego logicznego wątku wykonawczego. Ze względu na ograniczenia wydajnościowe związane ze zużyciem energii, wielowątkowość staje się standardem i tendencją rozwiązywania współczesnych jak i klasycznych problemów nie tylko optymalizujących, ale i numerycznych. Wzrost częstotliwości taktowania procesorów (czy dostępu do pamięci elektronicznej) związany jest ze zwiększonym poborem energii oraz ilością wydzielanego przez układ obliczeniowy ciepła. Zależność ta nie ma natury liniowej – przyrost wydajności nie jest wprost proporcjonalny do zużytej energii a iloraz wydajności i zużytej dla jej osiągnięcia energii przy coraz wyższych częstotliwościach taktowania procesorów staje się coraz mniejszy. Ekonomiczniejszym rozwiązaniem jest

użycie większej liczby procesorów lub tzw. procesorów wieloprocesowych realizujących wspólne zadanie (jeśli specyfika zadania to umożliwi), niż używanie jednego procesora o mocy równej sumie mocy wskazanej wcześniej grupy procesorów.

- dokładność tj. zgodność wartości cechy modelowanej na podstawie przetworzonego zbioru z wartością rzeczywistą tj. estymowaną dla wykorzystywanego zbioru wejściowego

Kompilacja wskazanych zagadnień stanowi istotę problematyki związanej z eksploracją danych (ang. *Data Mining*) tj. transformacją „surowego” zbioru danych w zbiór tzw. wzorców (David i in., 2005; Morzy, 2007; Polkowski, 2010; Zavadskas i Turskis, 2011; Kobryń 2014) i w większości znajduje miejsce w tematyce prezentowanego zbioru publikacji. Zwiększanie nacisku na zastosowania praktyczne tj. wdrożeniowe, wymaga od współczesnej nauki czy technologii prowadzenia badań wynikających z bezpośredniej potrzeby odbiorców geoinformacji. Potrzeba ta inspiruje i ukierunkowuje rozwijanie praktycznych rozwiązań, które opierają się na optymalizacji już istniejących. Komercyjna stymulacja ma tę zaletę, że ściśle definiuje oczekiwania wynikające z realnych, rzeczywistych oczekiwań.

Wymóg realizacji i z niego wynikająca definicja problemu badawczego pociąga za sobą konieczność budowy odpowiedniego modelu opisującego zagadnienie. Modelowanie rozumiane tu jest jako użycie notacji matematycznej prowadzące do uproszczenia opisu danego zagadnienia oraz jego etapowego (w kolejnych krokach algorytmu) wykonania. Dobór właściwego modelu uzależniony jest nie tylko od umiejętności dostrzeżenia wszystkich, czy choćby istotnych składowych zjawiska, ale również od posiadanych danych obserwacyjnych. Dane obserwacyjne zależą od realnej możliwości ich pomiaru, posiadanego sprzętu pomiarowego jak i jakości wykonania samego pomiaru czy właściwego czasu realizacji tego zadania. Całkowita wierność modelu w przechowywaniu wszelkich informacji na temat przestrzeni czy zjawiska przestrzennego w sposób tożsamy (równoznaczny z samym modelowanym zjawiskiem) przeczy istocie modelowania mającego na celu w sposób jak najprostszy, najmniej obciążający zasobowo przedstawić tylko wybrane, najistotniejsze z punktu widzenia celu opracowania informacje związane z modelowaną przestrzenią. Każdy model wymaga wyboru zestawu komponentów, struktur z jakich będzie budowany oraz relacji je łączących. (David i in., 2005; Morzy, 2007; Larose, 2006) Dobór ów może mieć niebagatelny wpływ na „efektywność” konstruowanego rozwiązania. Ustalenie właściwej relacji między całkowitą ilością składowanej informacji a jej częścią rzeczywiście użyteczną dla opisu modelowanego zjawiska zwykle polega na:

- bezpośredniej analizie - gdy zjawisko jest stosunkowo proste w pomiarze: obserwator może bezpośrednio ocenić np. z jaką dokładnością wykonywać pomiar, jak często go powtarzać czy zapisywać dane surowe, czy wystarczy je uśredniać dla przyjętych interwałów czasowych czy przestrzennych,
- z wykorzystaniem analizy entropii - niektóre modelowane zjawiska są mało poznane i założenia a priori nie pozwalają zdecydować od razu o właściwościach komponentów składowych wartych wykorzystania. W takiej sytuacji decydującym może stać się kryterium oparte na analizie entropii zawartej w przyjętym sposobie zapisu modelu opisującego przestrzeń. Poznanie jej może wskazać na redundancję informacji zapisanych w komponentach modelu, „nadmiarowość niewyselekcjonowanych danych”, ich korelacje czy brak istotności dla ocenianej cechy (cech czy całego zjawiska). Określenie i wyeliminowanie tych elementów pozwala na uproszczenie modelu lub przynajmniej jego ciężaru bajtowego związanego z wymogami zapisu.

Dokładne porównanie złożoności obliczeniowej kilku algorytmów optymalizujących zbiory danych przestrzennych jest zwykle bardzo trudne lub niemożliwe. Stwierdzenie takie wynika z odmienności założeń wstępnych i podstawowych tych algorytmów a także sposobu osiągania wyniku jako celu ich działania. Rezultaty zwykle różnią się od siebie ich formą zapisu, kompletności czy dokładności reprezentacji i łatwiej oraz skuteczniej jest je

porównywać pod względem wielkości różnic wyników wyrażanych względem danych źródłowych. Podejście stricte teoretyczne oceny wybranego algorytmu nie zawsze jest przystające do realnie przetwarzanych danych, których charakterystykę trudno przewidzieć. Stąd zdaniem autora Autoreferatu poza teoretycznymi porównaniami metod przetwarzania, warto również zbadać algorytmy w rzeczywistości i wówczas zdecydować o ich przydatności do stawianego im zadania. Usiłowanie analiz stricte powiązanych z teorią obliczeń – czasową złożonością obliczeniową, mogłoby okazać się zbyt trudne do zrealizowania ze względu na trudność wskazania wszystkich scenariuszy a szczególnie tych związanych z analizą przypadków pesymistycznych. Proponowane przez autora rozwiązania nadają się również do realizacji współbieżnych (w oddzielnych procesach czy wątkach logicznych), których wyniki mogą być kompilowane na końcu obliczeń jako jeden wspólny rezultat.

Prezentowane w Autoreferacie osiągnięcie naukowe spełnia ważną rolę w geodezji inżynierskiej, a szczególnie w kontekście zwiększenia potencjału informacyjnego masowych zbiorów pomiarowych. Opracowanie to wymagało rozwiązania szeregu problemów i przeprowadzenia analiz zagadnień. Wśród nich szczególne znaczenie mają następujące kwestie, które zdaniem autora stanowią wkład w rozwój dyscypliny geodezja i kartografia:

- 4.3.1. Opracowanie metody optymalizacji doboru lokalizacji elementów infrastruktury GBAS na podstawie danych ze skaningu – publikacja 1.
- 4.3.2. Identyfikacja możliwości wykorzystania $M_{split}(q=2)$ estymacji w modelowaniu prostych struktur przestrzennych pochodzenia antropogenicznego – publikacja 2.
- 4.3.3. Opracowanie innowacyjnej metodyki rozszerzającej wykorzystanie $M_{split}(q=2)$ estymacji w separacji danych przestrzennych - publikacja 3.
- 4.3.4. Opracowanie nowatorskiej procedury wykorzystania $M_{split}(q>2)$ estymacji w jednoczesnej detekcji wielu obiektów o jednolitym modelu funkcjonalnym – publikacja 4.
- 4.3.5. Adaptacja teorii α -shape 2D w modelowaniu obwiedni obiektów przestrzennych 3D - publikacja 5.

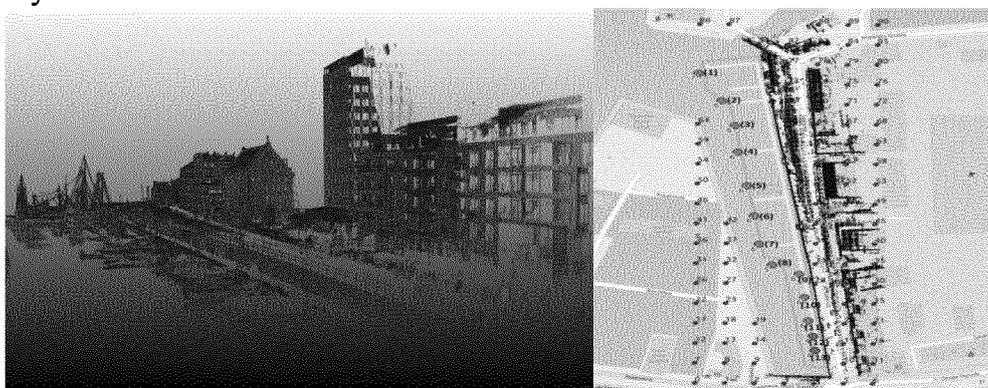
4.3.1. Opracowanie metody optymalizacji doboru lokalizacji elementów infrastruktury GBAS – publikacja 1.

Wskazanie kolejnych pozycji użytkownika jako punktów składających się na trajektorię lub tor ruchu w zadaniu nawigacyjnym zwykle spotyka się z wymogiem ich realizacji z określoną dokładnością. Bezpieczeństwo poruszania się obiektów w określonej przestrzeni zależne jest od dokładności określania pozycji w przyjętym układzie przestrzeni jak i poziomu szczegółowości jej definicji (Felski i in., 2014).

Wysoka zależność parametru niezawodności od przesłan terenowych utrudniających bądź całkowicie uniemożliwiających propagację sygnałów emitowanych przez satelity jest jednym z głównych problemów nawigacji opartej na GNSS (ang. Global Navigation Satellite System). Jednym z jego rozwiązań jest wykorzystanie systemów augmentacji naziemnej GBAS (ang. *Ground Based Augmentation System*) (Gharghan i in. 2016). Systemy GBAS realizowane są najczęściej jako systemy LAAS (ang. Local Area Augmentation System) przesyłające do odbiornika poprawki różnicowe do sygnałów GNSS. Odmiennym podejściem jest zastosowanie infrastruktury naziemnych nadajników dających możliwość pomiaru odległości. Jako przykład można podać LOCATA – system pseudo-satelitów lub ZigBee (Barnes i in., 2006; Rapiński, Cellmer, 2016).

Wykorzystując wybraną kategorię takich urządzeń tj. posiadającą możliwość określania odległości dla par nadajnik-odbiornik, możliwe jest poprawienie jakości rozwiązania pozycjonowania GNSS poprzez poprawę geometrii wcięcia przestrzennego (Rzepecka i in., 2006; Rzepecka, Wasilewski, 2007). Trudnością, którą należy pokonać

w takim przypadku jest optymalny dobór stanowiska źródła sygnału, tak aby uzyskane wyniki rozwiązania zadania nawigacyjnego były poprawione w maksymalny możliwy sposób (dla jak największego obszaru objętego procesem wspierania nawigacji). Wskazane prace optymalizacyjne można wykonać tylko przy założeniu znajomości teoretycznych parametrów funkcjonowania urządzeń, definicji układu geometrycznego satelitów GNSS w zadanym czasie oraz rodzaju i przestrzennej lokalizacji zasłon terenowych (Janowski i in., 2014, Nowak, 2016), a także fizycznych możliwości lokalizacji nadajników projektowanego GBAS. Prezentowane założenia zostały zweryfikowane przykładem obliczeniowym odniesionym do realnie opisanej przestrzeni. Jego celem była optymalizacja lokalizacji elementów GBAS umożliwiających nawigację z założoną dokładnością i niezawodnością w ramach Mariny Gdańsk. Wskazano wykorzystanie transponderów ZigBee AT233RF (Kaur i in., 2016; Gharghan i in., 2016) i modelu opisu przestrzeni w postaci chmury punktów pozyskanych naziemnym skanowaniem laserowym zrealizowanym przy użyciu narzędzia Riegl WZ 400. Chmura danych obserwacyjnych zawierała ponad 4 000 000 punktów a jej poglądową prezentację i umiejscowienie z użyciem serwisu Open Street Map przedstawia poniższa ilustracja rys.1



Rys.1 Wizualizacja chmury punktów oraz lokalizacji potencjalnych miejsc instalacji GBAS (czerwone punkty) i punktów teoretycznej trajektorii (zielone punkty) *Źródło: Rys. 3 i 4 w publikacji nr 1.*

Do oceny poprawności rozwiązania zadania przyjęto wyznaczenie trajektorii wewnątrz kanału żeglugowego – zespół 13 punktów (rysunek 1). Wartości w nawiasach wskazują na liczbę widocznych satelitów z danej lokalizacji dla wybranej epoki czasowej eksperymentu. Założono też 90 testowych tj. potencjalnych lokalizacji dla urządzeń GBAS (ZigBee) – czerwone ponumerowane punkty na rys. 1. Istotnym z punktu widzenia zadania optymalizacji lokalizacji stanowiska była realizacja procedury sprawdzenia istnienia widoczności bądź nie, danego satelity (a w ramach doświadczenia także naziemnego nadajnika) z wybranego punktu trajektorii. Określenie tej wartości odbywało się przez zliczenie liczby punktów wewnątrz wirtualnego walca o promieniu $r=0.5m$, którego osią główną był odcinek łączący odbiornik GNSS (znajdujący się w danej lokalizacji) z pozycją analizowanego satelity tj. LOS (ang. *Line Of Sight*). Dla każdego punktu trajektorii wymagało to każdorazowo przeanalizowania relacji przestrzennych wszystkich możliwych dla danej epoki i lokalizacji LOS z 4 000 0000 punktów chmury TLS. Opracowanie wskazanych operacji w akceptowalnym czasie wymagało dokonania indeksacji przestrzennej chmury punktów z użyciem struktur danych w postaci drzew typu *kd* (ang. *k-d tree*). Osiągnięto to założenie umieszczając dane punktów w przestrzeni relacyjnej bazy danych PostgreSQL z rozszerzeniem przestrzennym PostGIS. Realizację tego konkretnego zagadnienia osiągnięto dzięki autorskiemu skryptowi wykonującemu cyklicznie szereg elementarnych parametrycznych kwerend SQL (ang. *Structured Query Language*), których celem było uzyskanie odległości punktów z chmury TLS od odcinka łączącego pozycję

odbiornika z wybranym satelitą GNSS. Obliczenia przeprowadzono dla konstelacji satelitów GNSS z dnia 2016-05-20, począwszy od 18:00 UTC.

Ocena stanu geometrii GNSS dla zadanej epoki i jej potencjalnego wpływu na „jakość” pozycjonowania możliwa jest dzięki parametrom DOP (ang. *Dilution Of Precision*). Mniejsza wartość DOP wskazuje lepszą geometrię konstelacji satelitów. Do analiz przyjęto PDOP (ang. *Positional Dilution of Precision*) (Yunlong i Wang, 2016; Rzepecka i in., 2005) który pozwala na uwzględnienie w jego obliczeniach danych pochodzących z proponowanego rozwiązania GBAS tj. opartego na nadajnikach nie mających sprzężenia z czasem GNSS.

$$PDOP = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2} \quad (1)$$

gdzie $\sigma_x^2 = Q_{11}$, $\sigma_y^2 = Q_{22}$, $\sigma_z^2 = Q_{33}$ są elementami macierzy Q wyrażonej przez:

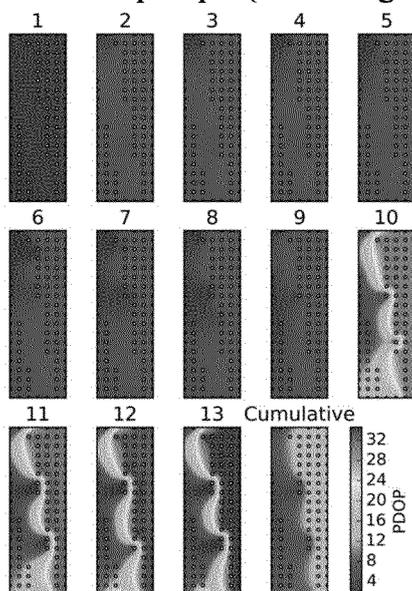
$$Q = (A^T A)^{-1} \text{ gdzie } A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & 1 \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & 1 \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & 1 \\ \vdots & a_{n1} & & \end{bmatrix} \quad (2)$$

w której parametry:

$$a_{i1} = \frac{x_i - x_u}{e_i}, a_{i2} = \frac{y_i - y_u}{e_i}, a_{i3} = \frac{z_i - z_u}{e_i}, e_i = \sqrt{(x_i - x_u)^2 + (y_i - y_u)^2 + (z_i - z_u)^2}$$

Wartościami parametrów x_i, y_i, z_i – są współrzędne i -tego satelity a współrzędnymi x_u, y_u, z_u określona jest pozycja odbiornika. Przy wykorzystaniu naziemnego nadajnika kolejnymi komponentami macierzy A są składowe wektora jednostkowego odbiornik – nadajnik.

Dla wszystkich potencjalnych możliwych lokalizacji nadajnika Zigbee (rysunek 1b) obliczono wartości PDOP dla 13 punktów składowych założonej do wyznaczenia trajektorii. Utworzono 13 map ciepła (dla każdego wybranego punktu trajektorii) – rys.2.



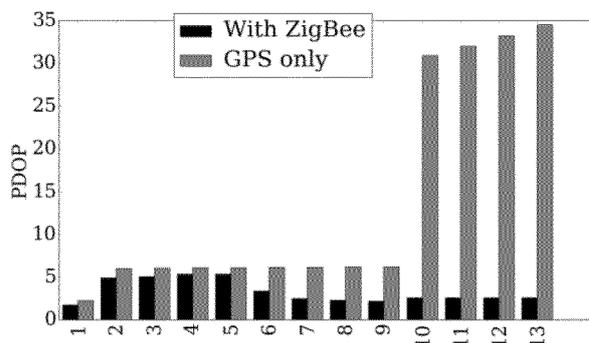
Rys.2 Mapy ciepła wartości PDOP dla 13 lokalizacji badanej trajektorii i różnych lokalizacji pojedynczego urządzenia GBAS. Źródło: Rys. 9 w publikacji nr 1.

Pozostała przestrzeń na mapach ciepła uzyskała wartości w wyniku interpolacji radialnej. Przedstawiona ilustracja obrazuje również kompilację 13 wynikowych map ciepła parametru PDOP. Jej celem jest znalezienie optymalnej przestrzeni dla lokalizacji nadajnika

ZigBee – tj. takiej dla której wartość PDOP dla większości punktów trajektorii będzie minimalna.

$$PDOP_{kumulacyjny} = \frac{\sum_{i=1}^n PDOP_i}{n} \quad (3)$$

gdzie $PDOP_i$ jest wartością parametru PDOP dla i -tego punktu trajektorii a n jest liczbą wszystkich badanych punktów trajektorii. Analizując przywołaną ilustrację możliwym jest wskazanie lokalizacji nadajnika, dla której wartość PDOP jest niska dla każdego punktu trajektorii. Punktem wspólnym z niską wartością PDOP dla każdego punktu trajektorii jest punkt oznaczony numer 55 wg oznaczenia z rys 1. Różnice między wartościami PDOP dla przypadku z użyciem GBAS (dla nadajnika w punkcie 55) i bez są przedstawione na rysunku 3.



Rys. 3 Wartości parametru PDOP – porównanie scenariuszy obliczeń (z użyciem GBAS oraz bez). Źródło: Rys. 10 w publikacji nr 1.

Graficzne porównanie wskazuje znaczne zmniejszenie wartości parametru PDOP dla punktów trajektorii, w których występują największe zasłony terenowe. Poprawa (zmniejszenie) wartości PDOP jest tym większa im miał on większą wartość przed wprowadzeniem elementu GBAS. Tym samym skuteczność i wiarygodność opracowania została potwierdzona podnosząc istotnie prawdopodobieństwo zwiększonej dokładności nawigowania dzięki zastosowaniu proponowanego rozwiązania.

Realizacja poszukiwania optymalnej lokalizacji dla infrastruktury GBAS wymaga mimo wspomnianej indeksacji przestrzennej wysokich mocy obliczeniowych zwiększających się proporcjonalnie do wielkości analizowanego obszaru.

Rozwiązaniem jest zaimplementowanie algorytmu wykonującego obliczenia w sposób równoległy. Jest ono możliwe do zastosowania co najmniej w stopniu równym iloczynowi $m \cdot n$ (m - liczba badanych punktów optymalizowanej, pod względem nawigacyjnej niezawodności i dostępności trajektorii, n - liczba analizowanych LOS) co w połączeniu z indeksacją przestrzenną obserwacji znacznie podnosi efektywność rozwiązania. Niemniej jednak wielowątkowa dostępność do tych samych danych obserwacyjnych może stanowić czynnik burzący relacje liniowej zależności czasu obliczeń od liczby rdzeni obliczeniowych. Kalkulacja wielu scenariuszy rozwiązań (w Autoreferacie został przedstawiony tylko jeden z nich dla wybranej epoki) może się okazać istotnym mankamentem optymalizacji geometrii GBAS z surowych danych TLS na temat przestrzeni pozyskanych z użyciem skaningu laserowego. Należy szukać innych rozwiązań dążących do uproszczenia opisu przestrzeni – modelujących ją by zadanie geometrii obliczeniowej mogło być wykonywane w akceptowalnym przez odbiorcę wyników czasie. Remedium może być tutaj przedstawione w kolejnej **publikacji nr 2** modelowanie elementów przestrzeni z użyciem prymitywów geometrycznych (Zheng i in., 2008) np. w postaci płaszczyzn.

4.3.2. Identyfikacja możliwości wykorzystania $M_{split(q=2)}$ estymacji w modelowaniu prostych struktur przestrzennych pochodzenia antropogenicznego – publikacja 2.

Współczesne algorytmy modelowania chmur punktów pochodzących ze skaningu laserowego zwykle dzieli się ze względu na ich podstawowe założenia lub genezę powstania jako:

- adaptacje rastrowego modelu danych, wnikliwie opisane i porównane przez Argialas i Campus (2000), a w nich adaptacje metod detekcji np. krawędzi – metoda Cannego, Kirsha, Sobela, operatory wykrywające modele opisane parametrycznie („faced model” Harlicka, detekcja Nalwa-Binforda, Nayara, Meera),
- połączenie metod fotogrametrycznych i metod związanych z metodami skaningu laserowego (Yong, 2007),
- metod powstałych konkretnie dla LiDAR (ang. Light Detection and Ranging) (Cao i in., 2017; Wang i Hsu, 2007).

Do ostatniej z metod można zaliczyć propozycję adaptacji M_{split} estymacji w procesie modelowania danych pochodzących z lotniczego skaningu laserowego – ALS (ang., Airborne Laser Scanning). Adaptacja została przedstawiona w **publikacji nr 2**. Przyjęte w niej założenie uproszczenia interpretacji wyników pomiarów LiDAR (niejednolite punkty pomiaru skanerem laserowym tworzące chmurę punktów) zostało zrealizowane przez zastąpienie ich (na zasadzie modelowania danych źródłowych) przez prymitywy geometryczne. Celem opracowań chmury punktów przedstawionych w publikacji było wyznaczenie geometrii dachów budynków. W artykule założono modelowanie klasycznego dachu budynku o konstrukcji dwuspadowej (dwie połacie dachowe) co za pomocą geometrii prymitywów można opisać dwiema płaszczyznami, których częścią wspólną jest krawędź pokrywająca się z kalenicą dachu. Takie założenie pozwala wykorzystać $M_{split(q)}$ estymację (z $q=2$) do modelowania scharakteryzowanej wyżej chmury punktów pomiarowych.

Wg założeń $M_{split(q)}$ estymacji, dla każdej obserwacji l_i zakłada się przyporządkowanie potencjału rozszczepienia, rozumianego jako możliwość jej przynależności do zbioru obserwacji któregoś z przyjętych q modeli funkcjonalnych (Wiśniewski, 2009; Duchnowski i Wiśniewski, 2017).

Każdej estymacji $E\{l_i\}$ obserwacji l_i opisanej modelem funkcjonalnym (4):

$$l_i = E\{l_i\} + v_i = a_i X + v_i \quad (4)$$

gdzie:

- a - współczynniki modelu,
- X - wektor nieznanych parametrów zmiennych losowych,
- v_i - poprawka do obserwacji,

odpowiada zatem q konkurujących ze sobą modeli funkcjonalnych (5):

$$l_i = E\{l_i\}_{(1)} + v_{i(1)}, l_i = E\{l_i\}_{(2)} + v_{i(2)}, \dots, l_i = E\{l_i\}_{(q)} + v_{i(q)} \quad (5)$$

Takie założenie pozwala tradycyjny model funkcjonalny (4) przedstawić jako złożenie q modeli funkcjonalnych (6):

$$l_i = a_i X + v_i \rightarrow split \rightarrow \begin{cases} l_i = a_{(1)} X_{(1)} + v_{i(1)} \\ l_i = a_{(2)} X_{(2)} + v_{i(2)} \\ \vdots \\ l_i = a_{(q)} X_{(q)} + v_{i(q)} \end{cases} \quad (6)$$

Głównym założeniem $M_{\text{split}(q)}$ jest przydzielenie największego wpływu na proces estymacji poszczególnych parametrów modeli funkcjonalnych (7):

$$\mathbf{X}_{(1)}, \mathbf{X}_{(2)}, \dots, \mathbf{X}_{(q)}, \quad (7)$$

tym obserwacjom, które najlepiej pasują do poszczególnych modeli funkcjonalnych opisujących q zmiennych losowych i mogą posłużyć do wyznaczenie estymatorów (8):

$$\hat{\mathbf{X}}_{(1)}, \hat{\mathbf{X}}_{(2)}, \dots, \hat{\mathbf{X}}_{(q)} \quad (8)$$

Konkurowanie modeli funkcjonalnych (6) o każdą obserwację zapewnia optymalizację ich wpasowania w cały zbiór obserwacji zgodnie z założeniami konglomeratu.

W odniesieniu do modelowania dachu dwuspadowego - każda jego płaszczyzna w przestrzeni 3D może być opisana zmodyfikowanym równaniem ogólnym:

$$z = a_0x + ay + a_2 \quad (9)$$

gdzie:

- x, y, z - współrzędne dowolnego punktu z chmury punktów leżących na płaszczyźnie,
- a_0, a_1, a_2 - współczynniki równania płaszczyzny.

Mając zbiór punktów leżących na obu płaszczyznach (umownie nazwanymi płaszczyzną α i płaszczyzną β) związanych z każdą z dwóch połąci dachu (de facto są to półpłaszczyzny ograniczone prostą przebiegającą wzdłuż kalenicy) należy dokonać selekcji punktów homogenicznych dla każdej z połąci dachowych w sposób manualny lub za pomocą dedykowanych algorytmów. Taką możliwość daje właśnie $M_{\text{split}(q=2)}$. Posiadając zbiór punktów i zakładając ich przynależność do płaszczyzn komplanarnych z założonymi połączeniami dachowymi można zapisać następujący połączony układ równań opisujących zarówno przynależność punktu do płaszczyzny α jak i β .

$$\left\{ \begin{array}{l} v_1 = a_0^\alpha x_1 + a_1^\alpha y_1 + a_2^\alpha - z_1 \\ v_1 = a_0^\beta x_1 + a_1^\beta y_1 + a_2^\beta - z_1 \\ v_2 = a_0^\alpha x_2 + a_1^\alpha y_2 + a_2^\alpha - z_2 \\ v_2 = a_0^\beta x_2 + a_1^\beta y_2 + a_2^\beta - z_2 \\ \vdots \\ v_{n-1} = a_0^\alpha x_{n-1} + a_1^\alpha y_{n-1} + a_2^\alpha - z_{n-1} \\ v_{n-1} = a_0^\beta x_{n-1} + a_1^\beta y_{n-1} + a_2^\beta - z_{n-1} \\ v_n = a_0^\alpha x_n + a_1^\alpha y_n + a_2^\alpha - z_n \\ v_n = a_0^\beta x_n + a_1^\beta y_n + a_2^\beta - z_n \end{array} \right. \quad (10)$$

Co przekształcając w zapis macierzowy:

$$V = AX - L \quad (11)$$

gdzie komponentami równania są:

V - macierz poprawek,

A - macierz pochodnych cząstkowych względem parametrów równania płaszczyzny,

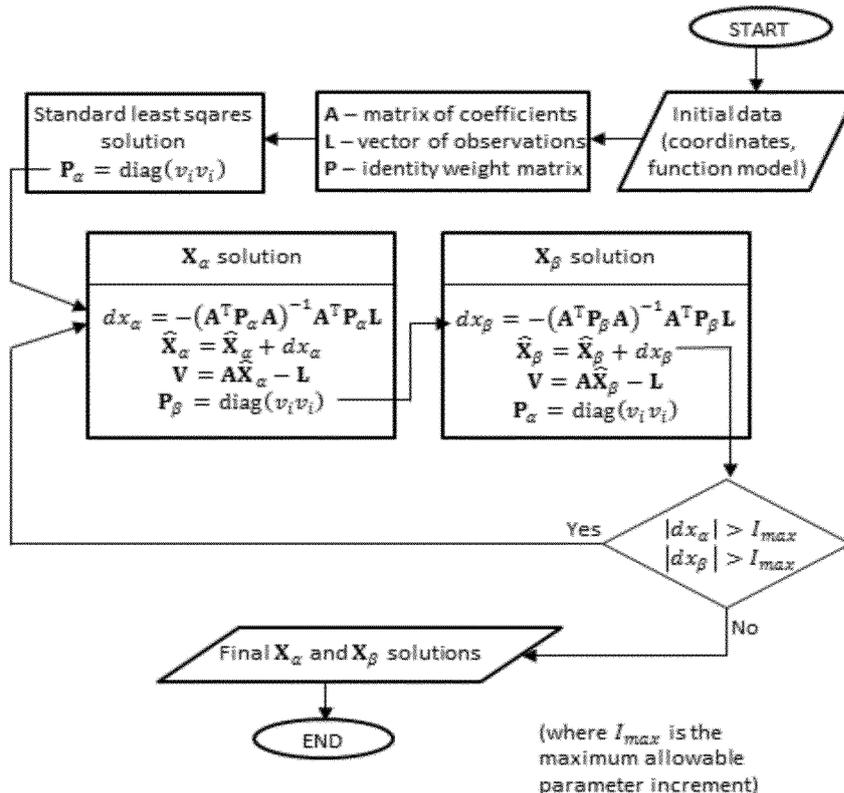
X - macierz przyrostów wartości szukanych parametrów,

L - macierz wyrazów wolnych,

dokonując kompilacji równań (10) i (11) można wskazać istnienie dwóch niezależnych wektorów parametrów X_α i X_β gdzie:

$$X_\alpha = \begin{bmatrix} a_0^\alpha \\ a_1^\alpha \\ a_2^\alpha \end{bmatrix}; X_\beta = \begin{bmatrix} a_0^\beta \\ a_1^\beta \\ a_2^\beta \end{bmatrix} \quad (12)$$

Wyznaczenie parametrów wektorów (12) odbywa się na zasadzie rozwiązania iteracyjnego wg diagramu przedstawionego na rys. 4.



Rys.4 Algorytm iteracyjnego wykorzystania M_{split} -estymacji.

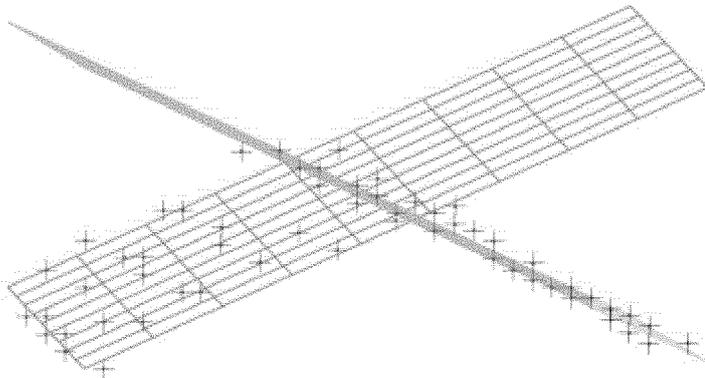
Źródło: Rysunek 3 w publikacji nr 3.

Inicjalizacja obliczeń polega na definicji dwóch konkurencyjnych modeli ($q=2$) oraz dokonaniu pierwszej estymacji X_α klasyczną metodą najmniejszych kwadratów przyjmując dla wszystkich obserwacji wagę jednostkową. Po otrzymaniu pierwszego przybliżenia \hat{X}_α oblicza się macierz wag dla konkurencyjnego rozwiązania - pierwszego przybliżenia wartości \hat{X}_β . Wagą dla i -tej obserwacji w estymacji modelu β jest kwadrat poprawki v_i otrzymanej dla tej obserwacji przy estymacji α . Po obliczeniu parametrów \hat{X}_β następuje obliczenie wag dla kolejnego kroku estymacji α w sposób analogiczny jak były liczone wagi dla modelu β (tj. wg założenia $p_{ai} = v_{\beta i} \cdot v_{\beta i}$), chyba że zarówno przy estymacji \hat{X}_α i \hat{X}_β przyrosty ich parametrów (dx_α dx_β) nie przekraczały arbitralnie przyjętej dla tego algorytmu wartościom, wówczas następuje zakończenie cyklicznego (iteracyjnego) wzajemnie zależnego estymowania parametrów \hat{X}_α i \hat{X}_β .

Znając wartości wektorów X_α i X_β można obliczyć równanie krawędzi płaszczyzn α i β jako rozwiązanie układu dwóch równań:

$$\begin{cases} z = a_0^\alpha x + a_1^\alpha y + a_2^\alpha \\ z = a_0^\beta x + a_1^\beta y + a_2^\beta \end{cases} \quad (13)$$

W celu przeprowadzenie empirycznego testu zastosowania proponowanej metody separacji punktów „przynależnych” do płaszczyzn α i β wygenerowano dwie teoretyczne płaszczyzny (obliczono skończony zbiór współrzędnych punktów należących do obydwu płaszczyzn). Do tak wygenerowanych współrzędnych wprowadzono szum Gaussowski o odchyleniu standardowym równym 0,01m i połączono zbiory współrzędnych punktów homologicznych z płaszczyzn α i β . Tak powstały zbiór obserwacji poddano logicznemu rozszczepieniu z użyciem $M_{\text{split}}(q=2)$ estymacji. Przyjęto jako warunek zakończenia procesu iteracyjnego osiągnięcie jednocześnie przez wszystkie przyrosty parametrów: $da_0^\alpha, da_1^\alpha, da_2^\alpha, da_0^\beta, da_1^\beta, da_2^\beta$ wartości absolutnej mniejszej niż 10^{-6} . Skuteczność i zadowalającą dokładność zastosowanej metody potwierdziło uzyskanie parametrów płaszczyzn α i β analogicznych dla wartości przyjętych w modelu teoretycznym stąd przyjęto proponowane rozwiązanie za dające jednoznaczne wyniki.



Rys. 5 Wizualizacja dopasowania dwóch płaszczyzn w zbiór punktów ALS. Źródło: Rys. 2 w publikacji nr 2.

Niebieski zbiór krzyży stanowi wizualizację położenia punktów z teoretycznego zbioru wygenerowanego a płaszczyzny czerwona i zielona realizacją odpowiednio modeli funkcjonalnych α i β .

Wydajność algorytmu zależna jest od liczby obserwacji, od której zależy czas mnożenia macierzy (odwracanie macierzy w tym przypadku można uznać za zaniechdywalnie małe – $A^T P A$ jest rozmiaru 3×3) a współczesne najwydajniejsze algorytmy mnożenia dużych dwóch macierzy o rozmiarach $n \times n$ mają złożoność na poziomie $O(n^{2.807355})$ przy wykorzystaniu algorytmu *Strassen*. Złożoność przedstawionego rozwiązania separacji danych (przy użyciu $M_{\text{split}}(q=2)$ dla n obserwacji i $m=3$ liczby parametrów modelu) można określić dokładnie (bez przybliżania). Zakładając, że każda podstawowa operacja arytmetyczna: dodawanie, odejmowanie, mnożenie, dzielenie może być uznawana za wykonywalną w takiej samej liczbie cykli procesora można wykazać, że:

1. Otrzymanie iloczynu $A^T P$, ze względu na zerowość elementów macierzy P poza główną przekątną wymagało by $m \cdot n$ podstawowych operacji (tutaj tylko mnożenia)
2. Otrzymanie iloczynu $A^T P A$ nie uwzględniając obliczenia z 1 wymagałoby dla każdego wynikowego elementu, których jest $m \cdot n$, wykonania n operacji mnożenia i n operacji dodawania, czyli finalnie $m \cdot n \cdot (n+n)$
3. Otrzymanie odwrotności macierzy $(A^T P A)^{-1}$, która jest macierzą kwadratową o rozmiarze 3, wg poniższego rozwinięcia działań na macierzach:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \quad (14)$$

$$\det(A) = a_{11}a_{22}a_{33} + a_{21}a_{32}a_{13} + a_{31}a_{12}a_{23} - a_{11}a_{32}a_{23} - a_{31}a_{22}a_{13} - a_{21}a_{12}a_{33} \quad (15)$$

$$A^{-1} = \frac{1}{\det(A)} \begin{bmatrix} a_{22}a_{33} - a_{23}a_{32} & a_{13}a_{32} - a_{12}a_{33} & a_{12}a_{23} - a_{13}a_{22} \\ a_{23}a_{31} - a_{21}a_{33} & a_{11}a_{33} - a_{13}a_{31} & a_{13}a_{21} - a_{11}a_{23} \\ a_{21}a_{32} - a_{22}a_{31} & a_{12}a_{31} - a_{11}a_{32} & a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21} \end{bmatrix} \quad (16)$$

i zauważenia powtarzających się w nich iloczynów, wymaga 38 operacji podstawowych,

4. Otrzymanie iloczynu $A^T P L$ wymaga $m \cdot (n+n)$ operacji podstawowych,
5. Otrzymanie $X = (A^T P A)^{-1} A^T P L$ wymaga $m \cdot (m+m)$ operacji podstawowych,
6. Otrzymanie $X = X + dx$ wymaga m operacji podstawowych,
7. Otrzymanie $V = AX - L$ wymaga $n \cdot (2 \cdot m + 1)$ operacji podstawowych,
8. Otrzymanie $P = \text{diag}(V V)$ wymaga n operacji podstawowych.

Sumując 8 komponentów otrzymano liczbę elementarnych operacji arytmetycznych równą:

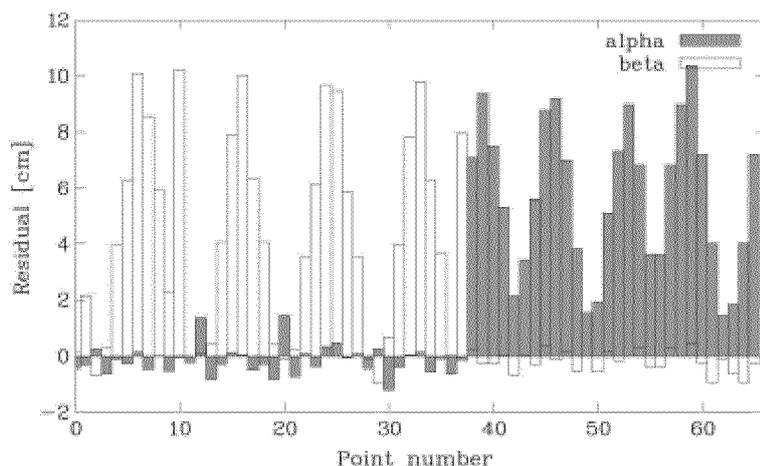
$$2m \cdot n^2 + (5m + 2) \cdot n + m^3 + m + 38 \quad (17)$$

operacji podstawowych (nie uwzględniając operacji składowania danych) dla bloku estymacji pojedynczego rozwiązania α lub β . Przyjmując natomiast, że w każdej iteracji algorytm zakłada wyznaczenia dwóch alternatywnych estymacji i że wymagalna liczba iteracji wynosi jedenaście, liczba podstawowych operacji będzie równała się:

$$44m \cdot n^2 + (110m + 44) \cdot n + 22m^3 + 22m + 836 \quad (18)$$

czyli dla dużych zbiorów danych złożoność można szacować na $O(n^2)$. Podana wartość jest stała dla danej n liczby obserwacji modelowanych za pomocą m parametrów. Można ją zdecydowanie zmniejszyć wdrażając równoległość operacji w podzadaniu nr 2 (najbardziej wymagające w całym algorytmie) co jest realne praktycznie do poziomu $m \cdot n$ równoległych obliczeń, tym samym tyle razy zmniejszając wymagania procedowania algorytmu. Obecnie wykorzystanie rozwiązań współbieżnych oferowanych zarówno przez komputery klasy PC (normą dla dzisiejszych procesorów jest posiadanie 8 rdzeni logicznych) jak usługi dzierżawione w ramach „superkomputerów” czy obliczeń w tzw. chmurze (ang. *cloud computing*) dają szeroką perspektywę zastosowań. Przedstawiona analiza wydajności została przeprowadzona w trakcie badań, ale z uwagi na limity edytorskie czasopisma nie została zaprezentowana.

Weryfikacji metody dokonano również na rzeczywistych danych ALS. Po manualnie dokonanej ekstrakcji przestrzeni danych związanej tylko z jednym wybranym dachem dwuspadowym dokonano $M_{\text{split}}(q=2)$ estymacji zakończonej po 8 iteracjach - ponownie otrzymując rozwiązania dwóch modeli funkcjonalnych (równań płaszczyzn). Wpasowano je w cały przyjęty do obliczeń zbiór punktów. Wykres poprawek skalkulowany dla poszczególnych punktów chmury punktów wskazany dla modeli α i β przedstawiono na rys.6. Pokazuje on w sposób sugestywny zasadność i realność wykorzystania $M_{\text{split}}(q=2)$ estymacji w ustalaniu równań dwóch płaszczyzn połączeń dachowych (dachów dwuspadowych). Punkty mające małe poprawki w modelu płaszczyzny α posiadają duże wartości poprawek dla modelu β . Punkty zaś lepiej „pasujące” do modelu β posiadają większe poprawki względem modelu α .



Rys.6 Histogram wartości poprawek w rozwiązaniach α i β . Źródło: Rys. 3 w publikacji nr 2.

Przedstawiona metoda ekstrakcji wektorów normalnych płaszczyzn pokrycia dachowego pozwala na wskazania potencjalnych lokalizacji mogących znaleźć choćby zastosowania w implementacji instalacji solarnych. Znajomość pola powierzchni wybranych połaci (możliwa do obliczenia na podstawie jednoznacznie przypisanych obserwacji do jednego z dwóch modeli – wg założeń podejścia „ilościowego” opisanego w dalszej części niniejszego dokumentu oraz **publikacji nr 3**) może wskazać rozmiar tego zastosowania. Natomiast poprawnie opisana geometria połaci stanowi coraz częściej integralny komponent opisu konstrukcji modeli 3D budowli.

Z punktu widzenia geodezji inżynierskiej jako istotny potencjał implementacyjny proponowanych rozwiązań można wskazać możliwość wdrożenia w pracach związanych z monitoringiem strukturalnym i oceną geometrii obiektów o budowie ścian w postaci wycinków płaszczyzn. Zyskują one także znaczenie szczególnie we wszelkich analizach przestrzennych mających wpływ na decyzyjność organów administracyjnych (mapy akustyczne, planowanie przestrzenne, gospodarowanie nieruchomościami, zarządzanie kryzysowe, geomonitoring etc.).

4.3.3. Opracowanie innowacyjnej metodyki rozszerzającej wykorzystanie $M_{split}(q=2)$ estymacji w separacji danych przestrzennych - publikacja 3.

Podczas modelowania obrazu przestrzeni separacja danych pomiarowych prowadzi do ich filtracji logicznej - doprowadza do wyodrębnienia danych pożądanych, usuwając z finalnego zbioru elementy niestanowiące przedmiotu zainteresowania odbiorcy. Brak odrzucenia zbędnych elementów ze zbioru źródłowego utrudnia jego analizę (często też ją w pełni uniemożliwiając), powoduje zmniejszenie wydajności ekstrakcji wybranych cech. Przykładem takiego „przeciążonego” zbioru źródłowego jest zbiór danych pochodzący z pomiaru ALS mający posłużyć wskazaniu powierzchni numerycznego modelu terenu (NMT) (Hejmanowska i in., 2008). Zgodnie z kolejnym zadaniem opisanym w publikacji nr 3 filtrowanie chmury punktów ALS przy budowie NMT polega na oddzieleniu obserwacji reprezentujących fizyczną powierzchnię terenu od tych, które reprezentują elementy jego pokrycia (Gotlib, 2007). Literatura związana z tematyką wskazuje na wiele metod, które wg. Tóvári i Pfeifer (2005) można podzielić na metody bazujące na filtracji z użyciem morfologii matematycznej (np. Vosselman and Maas 2001; Zhang et al. 2003), metody wykorzystujące iteracyjną aproksymację wybranych startowych (wejściowych) powierzchni kwantyfikowanych do postaci TIN (ang. Triangular Irregular Network) reprezentujących powierzchnię topograficzną np. AdaptiveTIN (Błaszczak-Bąk i in. 2011; Axelsson, 2000;

Axelsson, 1999), metody opierające się na algorytmach iteracyjnych dopasowujących modelowany obszar do elementów reprezentujących realną powierzchnię Ziemi (np. Schut 1976; Kass et al. 1988; Kraus and Pfeifer 1998; Elmqvist 2002), a także metody obejmujące segmentację chmury punktów wg kilku klas, np. powierzchnia terenu, zabudowania, pokrycie roślinne (np. Roggero 2002; Tóvári and Pfeifer 2005; Sithole 2005).

Żadna ze wskazanych metod nie jest uniwersalna (Meng, 2010) i wydaje się koniecznym każdorazowe nadzorowanie procesu filtracji przez operatora oprogramowania, ocenianie wyników, podejmowanie decyzji o kontynuowaniu prac czy też wybraniu innej metody przetwarzania. Prowadzi to do konkluzji o zasadności:

- modernizacji istniejących algorytmów celem ich ulepszenia tak pod względem uzyskiwanych wyników jak i czasu wykonania,
- synergii istniejących metod filtracji, adaptując tym samym z nich najwłaściwsze rozwiązania dla przypadków szczególnych dla których są one adekwatne,
- w końcu poszukiwania innych metod, opartych na nowych koncepcjach, mogących tym samym przełamać występujący czasem (z powodu wykorzystywania w algorytmach tych samych założeń pierwotnych) zastój i poczucie braku możliwości rozwiązania problemu.

Konsekwencją ostatniej przesłanki jest próba podjęcia problemu separacji formalnej zbioru ALS wg założeń istnienia w nim tylko dwóch semantycznie zdefiniowanych podzbiorów informacji:

- tych należących do opisu fizycznej powierzchni Ziemi – NMT,
- wszystkich innych.

Zauważenie tego elementarnego podziału dało asumpt użycia wybranej metody eliminacji błędów grubych (obserwacji odstających) tj. wykorzystanie odpornej M-estymacji w postaci $M_{split}(q=2)$ - estymacji. Rolę danych odstających (obserwacji obciążonych błędami grubymi) w zbiorze danych ALS przypisano obserwacjom powiązanim z elementami pokrycia terenu. Dostosowanie $M_{split}(q=2)$ - estymacji do ekstrakcji NMT z danych ALS umożliwiło poza metodą opisaną w **pracy nr 2** i nazwanej umownie „jakościową” zdefiniowanie nowej określonej mianem „ilościowej”. Wg założenia metody ilościowej: $M_{split}(q=2)$ estymacja jest w stanie separować elementy chmury punktów na podstawie wartości residuów otrzymanych dla poszczególnych obserwacji wykazanych w odniesieniu do dwóch estymowanych modeli dla modelu funkcjonalnego (19):

$$v_{i\alpha} = AX_{\alpha} - z_i, \quad v_{i\beta} = AX_{\beta} - z_i \quad (19)$$

w którym z_i wskazuje na wysokość i -tego punktu pomiarowego zarejestrowanego w chmurze punktów. Jako propozycję modelu funkcjonalnego dla reprezentacji powierzchni przyjęto jego postać wielomianową (20):

$$z_i = a + bx_i + cy_i + dx_iy_i + ex_i^2y_i + fx_iy_i^2 - v_i \quad (20)$$

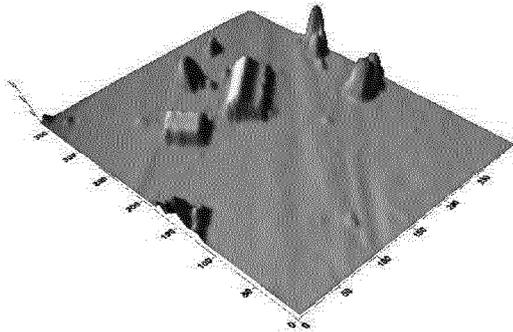
stąd poszczególne składowe adaptacji wzoru (11) dla n obserwacji przybrały następujące postaci:

\mathbf{v}	$= [v_1, v_2, \dots, v_n]^T$	- wektor poprawek dla n obserwacji
\mathbf{X}	$= [a, b, c, d, e, f]^T$	- wektor estymowanych 6 parametrów modelu,
\mathbf{z}	$= [z_1, z_2, \dots, z_n]^T$	- wektor wysokości n punktów znajdujących się w zbiorze ALS

$$A = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & y_1 & x_1 y_1 & x_1^2 y_1 & x_1 y_1^2 \\ 1 & x_2 & y_2 & x_2 y_2 & x_2^2 y_2 & x_2 y_2^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_n & y_n & x_n y_n & x_n^2 y_n & x_n y_n^2 \end{bmatrix} \quad - \text{ macierz pochodnych cząstkowych współczynników parametrów modelu}$$

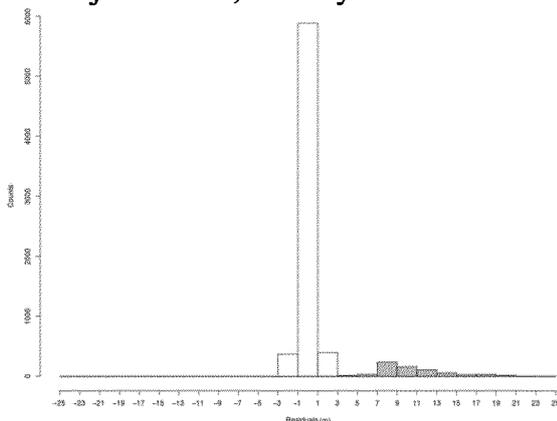
x_i, y_i, z_i - współrzędne punktów znajdującymi się w analizowanej chmurze punktów ALS.

W przytaczanej publikacji dla realnego źródłowego zbioru pomiarowego (pozyskanego z <http://inside.uidaho.edu/geodata/LiDAR>) uzyskano jego pogładową wizualizację – rys.7.

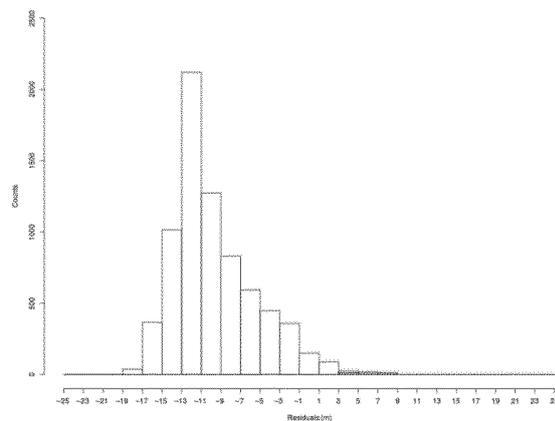


Rys.7 Wizualizacja chmury pomiarowej ALS. Źródło: Rys. 4 w publikacji nr 3.

Standardowo dla $M_{\text{split}}(q=2)$ estymacji i przyjętego modelu funkcjonalnego (20) uzyskiwane będą dwa rozwiązania (wektory parametrów dla konkurencyjnych modeli) spośród których należy arbitralnie dokonać wyboru tego, który reprezentuje powierzchnię terenu i tego, który reprezentuje elementy jego pokrycia. W metodzie ilościowej wskazano możliwość bazowania na grupach podobnych wartości poprawek obserwacji względem dwóch konkurencyjnych rozwiązań. Ze względu na dużą różnorodność wartości wszystkich poprawek należało dokonać ich grupowania wg ustalonej z góry wielkości przedziałów szeregu rozdzielczego. Szerokość ta powinna być dobierana empirycznie w zależności od typu terenu jakiego dotyczy opracowanie. Dla prezentowanego zbioru danych wskazano dla niej wartość 2,00m - rysunki 8 i 9.



Rys. 8 Histogram poprawek dla rozwiązania α . Źródło: Rys. 9 w publikacji nr 3.



Rys. 9 Histogram poprawek dla rozwiązania β . Źródło: Rys. 9 w publikacji nr 3

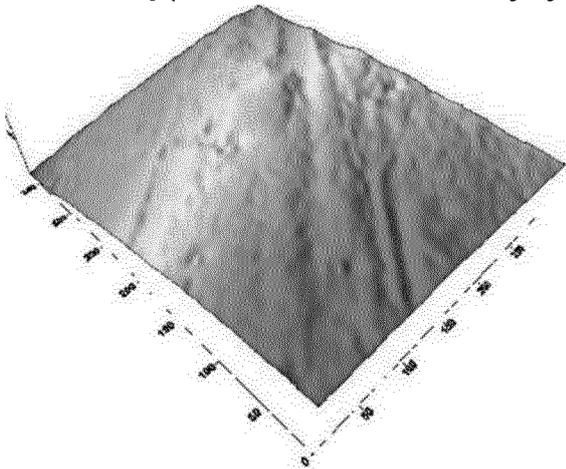
Na histogramach tych dla obserwacji względem rozwiązań α, β można wyróżnić dwie integralne grupy punktów (obserwacji). W przypadku rozwiązania α charakterystyczna jest duża liczba poprawek o małych wartościach (kolor biały na rys. 8) – będzie to pierwsza grupa, podczas gdy liczebność poprawek o dużych wartościach jest marginalna (kolor szary

na rys. 8) – druga grupa obserwacji. W przypadku rozwiązania β sytuacja jest dokładnie odwrotna. Na podstawie rys.4 można stwierdzić istnienie w zbiorze danych obserwacyjnych, większej grupy pomiarów związanych z powierzchnią terenu niż z obiektami znajdującymi się na niej. Pozwala to na wskazanie jako „lepszego” w generowaniu NMT (na podstawie badanego zbioru punktów ALS), modelu oznaczonego jako α . Na rys. 8 większa podgrupa poprawek do wartości obserwacji posiada małe wartości (kolor biały na rys. 8) i to ona będzie zakwalifikowana jako przynależna obserwacjom punktów związanych z NMT.

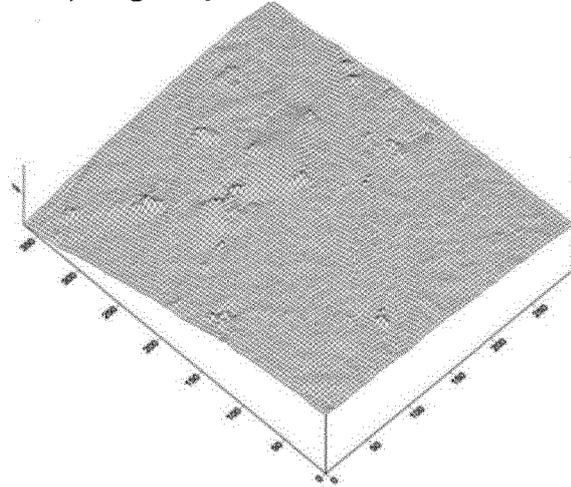
Wygenerowaną na podstawie tak wybranych obserwacji wizualizację NMT (z użyciem interpolacji opartej na metodzie Kriging (Matheron, 1960) przedstawia ilustracja 10 oraz w nieco odmiennej konwencji wizualnej (siatki szkieletowej ang. *wireframe*) NMT wygenerowany na podstawie podejścia ilościowego dla rozwiązania β dla tego samego terenu – rysunek 11.

Porównano również wyniki opracowania z rezultatami wykorzystania klasycznej metody ekstrakcji NMT z chmury punktów LiDAR pochodzenia ALS – tzw. metody Adaptive TIN tj. ATIN (Axelsson, 2000; Axelsson, 1999). Generalizując funkcjonowanie przyjętego jako referencyjnego algorytmu ATIN można opisać jako realizację następujących kroków:

a) podział zbioru punktów ALS na prostokątne w płaszczyźnie XY obszary z odpowiednio dobraną (w zależności od charakterystyki terenu) długością boków.



Rys. 10 NMT zbudowany na podstawie rozwiązania α i podejścia ilościowego dla zbioru ALS przedstawionego na rys. 7
Źródło: Rys. 8 w publikacji nr 3.

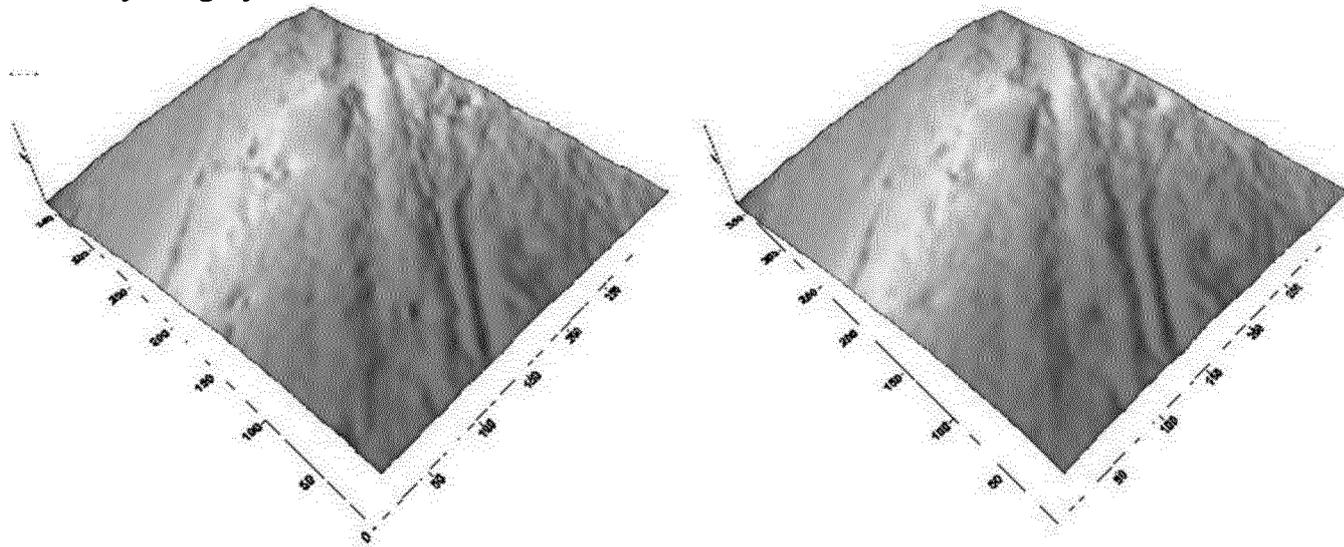


Rys. 11 NMT zbudowany na podstawie rozwiązania β i podejścia ilościowego dla zbioru ALS przedstawionego na rys. 7.
Źródło: Rys. 8 w publikacji nr 3.

- b) znalezienie w podobszarach zbudowanych w zadaniu a) punktów o najmniejszej składowej wysokościowej i dodanie ich do zbioru wynikowego opisującego finalny NMT.
- c) budowa siatki nieregularnych trójkątów Delaunaya na podstawie zbioru punktów podanych w zadaniu b)
- d) definicja punktów pomiarowych przynależnych do każdego trójkąta z zadania c) (punktów o wsp. x i y zawartych w granicach wsp. x, y trójkąta) i wybór spośród nich tylko tych, które spełniają warunki bycia mniejszymi od mediany wszystkich odległości punktów od płaszczyzn przynależnych im trójkątów oraz mediany kątów jakie tworzą odcinki łączące kandydujące punkty z wierzchołkami przynależnych im trójkątów w stosunku do płaszczyzny trójkątów
- e) zasilenie wybranymi w zadaniu d) punktami zbioru z zadania b) i powrót do zadania c)

Warunkiem zakończenia pętli przebiegającej od zadania c) do zadania e) jest najczęściej brak nowych punktów NMT lub z góry ustalona maksymalna liczba iteracji.

Wizualizacja wykorzystania $M_{split}(q=2)$ w podejściu ilościowych oraz algorytmu ATIN w przetwarzaniu danych ALS przedstawia ilustracja 12. Bardziej sugestywne jest zestawienie oceny parametrów punktów NMT uzyskanych z tej samej chmury punktów ALS z użyciem odmiennych algorytmów – tabela 2.



Rys.12 NMT zbudowany z wykorzystaniem $M_{split}(q=2)$ w podejściu ilościowych i algorytmu ATIN. Źródło: Rys. 11 w publikacji nr 3.

Tabela 2. Podstawowe parametry charakterystyki zbioru danych.

	Min. wys. punktu	1.kwartyl wys. punktów	Mediana wys. punktów	Średnia wys. punktu	3.kwartyl wys. punktów	Maks. wys. Punktu
ATIN	5,400	9,102	11,020	10,740	12,320	19,700
$M_{split\alpha}$	5,537	10,060	11,730	11,440	12,810	15,940
ATIN- $M_{split\alpha}$	-0,137	-0,958	-0,710	-0,700	-0,490	3,760
$M_{split\beta}$	19,860	23,320	24,790	26,030	26,030	43,120

Źródło: Tab. 1 w publikacji nr 3.

Biorąc pod uwagę różnicę między dwoma zbudowanymi modelami (ATIN i $M_{split\alpha}$) można zauważyć zbieżność ich wartości z wyjątkiem parametru maksymalnej wysokości punktu (dotyczy to braku pojedynczej wartości w zbiorze wynikowym $M_{split\alpha}$ a jej istnienia w zbiorze wygenerowanym przez ATIN) potwierdzającą skuteczność przyjętego algorytmu dającego jednocześnie wiarygodne wyniki o dokładności zbliżonej do jednej z metod uznanych za klasyczną (ATIN) dla przedstawionej problematyki. Złożoność funkcjonowania tego algorytmu ze względu na adaptację metody ukazanej w modelowaniu powierzchni dachowych (różnica polega na postaci modelu i rozwinięciu koncepcji o podejście ilościowe), jest podobna do przedstawionej uprzednio. Zwiększony jest jedynie komponent związany z obliczeniem odwrotności macierzy $A^T P A$. Zgodnie z założeniami poprawności tylko jednego z dwóch alternatywnych rozwiązań, rezultaty $M_{split\beta}$ całkowicie nie przystają do rozwiązania ATIN. Porównując wykorzystania metody $M_{split}(q=2)$ i ATIN w filtrowaniu ALS dla celów budowy NMT zauważono, że można oczekiwać pewnych różnic wynikających z teoretycznych założeń obu metod. Metoda $M_{split}(q=2)$ przyspiesza proces filtrowania (zauważono około 13-krotny krótszy czas osiągnięcia podobnego wyniku przy

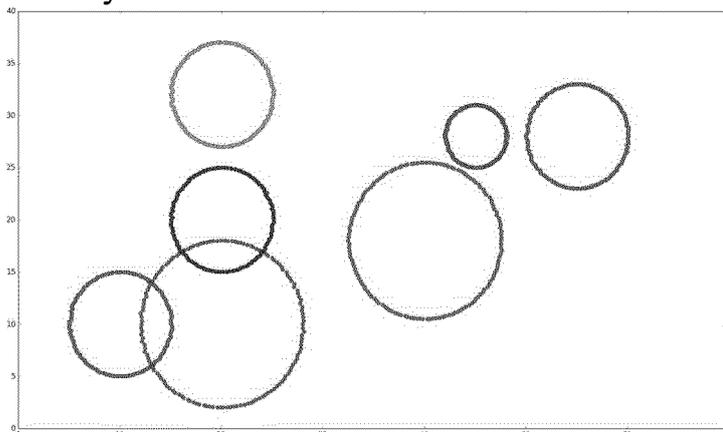
wykorzystaniu $M_{split}(q=2)$ pracując na tych samych danych względem wydajności ATIN). Obie realizacje zostały wykonane w tym samym języku programowania bez użycia zewnętrznych bibliotek funkcyjnych, z dużą starannością o wydajność kodu. Oczywistym jest fakt złożoności triangulacji Delaunaya będącej jednym z komponentów ATIN, która kształtuje się przy współczesnym stanie wiedzy na poziomie $O(n \log n)$ (ta ocena odnosi się do głównych składowych samego algorytmu triangulacji Delaunaya a nie operacji podstawowych równoważonych z rozkazami procesora). Niemniej jednak w ATIN wykonywana jest ona wielokrotnie i jest mało odporna (numerycznie) w porównaniu do operacji na macierzach względem dużych zbiorów obserwacji, w których mogą wystąpić redundancje – powodujące numeryczną niejednoznaczność rozwiązań lub całkowitą ich niemożliwość wykonania. W obu zakresach tematycznych (triangulacja Delaunaya i operacje na macierzach) prowadzone są stale badania optymalizujące je numerycznie i zmierzające do ich rozkładania na równoległe wątki przetwarzania.

4.3.4 Opracowanie nowatorskiej procedury wykorzystania $M_{split}(q>2)$ estymacji w jednoczesnej detekcji wielu obiektów o jednolitym modelu funkcjonalnym – publikacja 4.

Separacja obserwacji NMT ze zbioru pomiarów NMPT pozyskanych za pomocą technologii LiDAR z wykorzystaniem $M_{split}(q=2)$ estymacji daje zadowalające rezultaty. Istnieją jednak zadania dla których przyjęcie $q=2$ jest zbyt dużym ograniczeniem modelowania.

Publikacja nr 4 traktuje pośrednio o algorytmie automatycznej lub semi-automatycznej budowy modelu opisu elementów przestrzeni na podstawie TLS (Barber i in. 2008), złożonego z przyjętych (zadeklarowanych) prymitywów geometrycznych o kształcie kolistym. Ekstrakcja właściwych obserwacji empirycznych (pomiarów punktowych związanych z modelowanym obiektem) pozwala następnie na determinację („pośrednio” metodą najmniejszych kwadratów) wartości parametrów opisujących geometrie tych obiektów.

Założenie teoretyczne prezentowanego algorytmu przyjmuje zbiór punktów 2D (pochodzących z przekrojów poziomych pozyskanych z wyników pomiarów TLS) o „miąższości” przekroju przyjętej wg potrzeb użytkownika. Schematyczny układ takiego zbioru punktów leżących na teoretycznych łukach okręgów o zadanych parametrach przedstawia rys 13.



Rys.13 Wizualizacja geometrycznej charakterystyki testowego zbioru danych. Źródło: Rys. 4 w publikacji nr 4.

Weryfikacja skuteczności i jednoznaczności funkcjonowania omawianego algorytmu została zbudowana w oparciu o punkty leżące na obwiedniach 7 teoretycznych okręgów (o ustalonych współrzędnych środków ich X_{C_i}, Y_{C_i} oraz promieniach R_i – tabela 3). Każda ze

współrzędnych została zmodyfikowana („skażona”) wartościami szumu gaussowskiego o odchyleniu standardowym 0,20m.

Tabela 3. Teoretyczne i estymowane parametry okręgów testowych

Nr okręgu	Xc	Yc	R	Xcest	Ycest	Rest
1	10,0	10,0	5,0	10,09	10,00	5,00
2	20,0	10,0	8,0	20,10	9,99	8,00
3	20,0	20,0	5,0	20,11	20,00	5,01
4	20,0	32,0	5,0	20,10	32,00	5,00
5	55,0	28,0	5,0	55,10	28,00	5,00
6	45,0	28,0	3,0	45,10	28,00	3,00
7	40,0	18,0	7,5	40,10	18,0	7,50

Źródło: Tab. 2 w publikacji nr 4.

Jedną z klasycznych metod rozwiązania zadania detekcji okręgów: ich liczby, położenia ich środków oraz promieni jest wykorzystanie transformacji Hougha zaadaptowanej do problemu okręgów (dopuszczalne są tu także inne kształty obiektów). Ewidentnymi ograniczeniami tej metody są:

- przyjęcie przez algorytm znajomości i stałości promienia R dla wszystkich wyszukiwanych okręgów,
- konieczność dyskretyzacji przestrzeni – ma to wpływ na dokładność uzyskanych wyników położenia środków okręgów.

Rozwiązaniem dającym pewien stopień relaksacji ograniczeń parametru R jest wielokrotne wykonanie algorytmu w ramach cyklicznie zmieniającej się jego wartości (w granicach przyjętego przedziału możliwych wartości). Podejście to jest czasochłonne jednak przy założeniu odpowiednich zasobów pamięciowych dających możliwość składowania k tablic akumulacyjnych dla poszczególnych, gdzie k jest maksymalną liczbą wątków logicznych mogących być procedowanymi niezależnie w ramach maszyny liczącej, zadanie pozwala na jego realizację w k krótszym czasie dzięki równoległości obliczeń.

Większym jednak problemem jest wspomniana konieczność dyskretyzacji – mającej wpływ na dokładność osiąganego wyniku algorytmu. Im większa jest pożądana dokładność obliczeń tym mniejsza wartość skoku pola teselacji pociągająca za sobą większe zapotrzebowanie na zasoby pamięciowe jak i obliczeniowe wymagane do ich przetworzenia.

Alternatywą dla przedstawionego klasycznego rozwiązania jest wykorzystanie M_{split} estymacji przedstawionej w **publikacji nr 4**.

Oczywistym problemem w procesie iteracyjnie realizowanej estymacji $M_{split}(q)$ jest właściwy dobór łącznej liczby q modeli w (6). Błędne założenie co do tej wartości skutkować będzie pewnością błędnego modelowania zbioru obserwacji (poprawki będą zbyt duże) a otrzymany wynik będzie niezgodny z oczekiwaniami. Jednocześnie nieznaną liczbę aproksymujących modeli można przyjąć od 1 do n , gdzie n jest liczbą wszystkich obserwacji w zbiorze pomiarowym, co mocno zwiększa nieoznaczoność liczby modeli funkcjonalnych jakie należy przyjąć. W prezentowanych rozważaniach dobór wartości liczby modeli przyjęto jako wtórne zadanie (niestanowiące części zasadniczej artykułu). Jako wartość q przyjęto wynik procesu statystycznej analizy skupień przez aglomerację metodą pojedynczego wiązania (najbliższego sąsiedztwa). Proces ustalania q na tej zasadzie zawodzi przy przenikających się skupiskach obserwacji należących do różnych modeli – wówczas przy praktycznych realizacjach wymagać może nadzoru operatora celem skorygowania – najczęściej zwiększenia przewidzianej (zaniżonej) liczby skupisk. Po ustaleniu liczby skupisk oraz typu składowych modeli funkcjonalnych (6) dla ogółu obserwacji $M_{split}(q)$ estymacja może być przeprowadzona a jej wynik będzie zależny od poprawności doboru modeli oraz ich liczby q , relacji liczby obserwacji przynależnych do poszczególnych modeli, sposobu wagowania obserwacji w procesie estymacji.

Zastosowanie $M_{split(q)}$ estymacji w opracowaniu zbioru punktów mających charakter 2D lub 3D zrzutowanych do płaszczyzny, w której mogą być traktowane jako q zbiorów punktów należących do obwiedni okręgów wymaga zastosowania odpowiedniego modelu funkcjonalnego. Wpasowanie zbioru punktów 2D sprowadza się tu do określenia współrzędnych środków okręgów i ich promieni, a więc parametrów spełniających klasyczne równanie (dla każdego z okręgów oddzielnie):

$$(x_i - x_c)^2 + (y_i - y_c)^2 = R^2 \quad (21)$$

gdzie:

- x_c, y_c - współrzędne środka okręgu,
- x_i, y_i - współrzędne i -tego punktu leżącego na łuku okręgu,
- R - promień okręgu.

Wykorzystanie równania (21) w estymacji metodą najmniejszych kwadratów wymaga jego przekształcenia do postaci (Janowski i in. 2015):

$$P_1 x_i + P_2 y_i + P_3 = -(x_i^2 + y_i^2) \quad (22)$$

gdzie:

$$P_1 = 2x_c \quad (23)$$

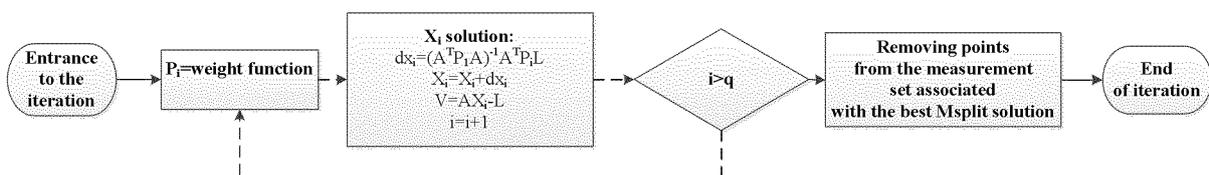
$$P_2 = 2y_c \quad (24)$$

$$P_3 = x_c^2 + y_c^2 - R^2 \quad (25)$$

Taki też (22) model funkcjonalny przyjęto do realizacji estymacji q okręgów w procesie $M_{split(q)}$. Stąd adaptacja równania (11) i jego składowe przyjmują postać:

$$A = \begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \\ \vdots & \vdots & 1 \\ x_n & y_n & 1 \end{bmatrix}, \quad X = \begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \\ \vdots & \vdots & 1 \\ x_n & y_n & 1 \end{bmatrix}, \quad L = \begin{bmatrix} -(x_1^2 + y_1^2) \\ -(x_2^2 + y_2^2) \\ \vdots \\ -(x_n^2 + y_n^2) \end{bmatrix}, \quad v = \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \vdots \\ v_n \end{bmatrix} \quad (26)$$

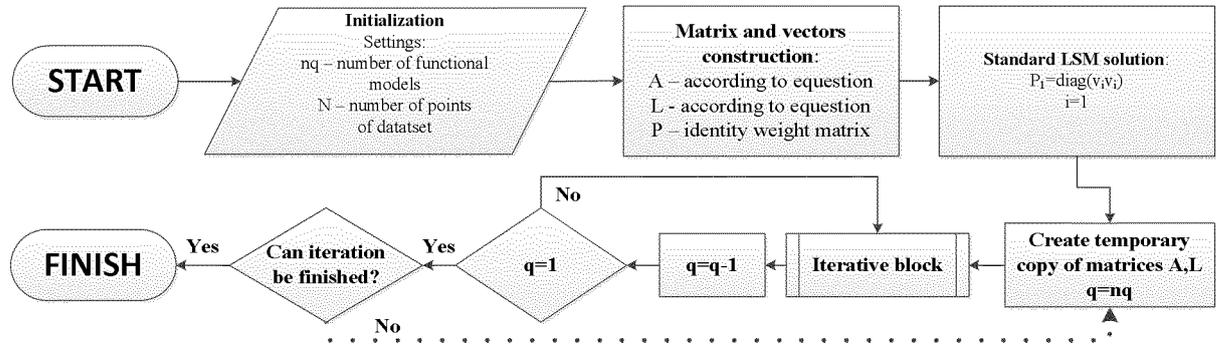
Integralną część propozycji algorytmu wykorzystującego $M_{split(q)}$ estymację do segregacji danych pomiarowych przedstawiających zbiory q okręgów stanowi „iterative block of algorithm” przedstawiony na rysunku 14.



Rys.14 Iteracyjny moduł algorytmu (Iterative block of algorithm). Źródło: Fig. 2 w publikacji nr 4.

„Wejściem” do tego bloku jest zespół danych w postaci macierzy A, L, X (26), jednostkowa macierz P o rozmiarze równym liczbie obserwacji oraz wartość q . Na takim zespole danych dokonywana jest iteracyjnie (q razy) estymacja (metodą najmniejszych kwadratów) dla przyjętych modeli funkcjonalnych (22). Wagi dla każdej estymacji obliczane są na podstawie wartości poprawek dla obserwacji z estymacji ją poprzedzającej. Zasadą jest tu przypisywanie większych wartości wag dla obserwacji, które miały większe wartości absolutne poprawek w poprzedzającym rozwiązaniu alternatywnym. Zasadę tę realizuje moduł *weight function* (rys.14). Sposób wagowania powinien zostać dobrany teoretycznie względem optymalności danego zadania i sprawdzony empirycznie. Dopuszcza się realizację

bloku czynności oznaczonego przerywaną linią również w sposób iteracyjny tj. więcej niż 1 raz, wówczas wagi pierwszej estymacji uzyskują się analizując poprawki q -tej estymacji. Takie podejście może dla niektórych układów modeli funkcjonalnych zoptymalizować czas realizacji zadania postawionego algorytmowi. „Iterative block” jest integralną częścią głównego algorytmu przedstawionego na rys.15.

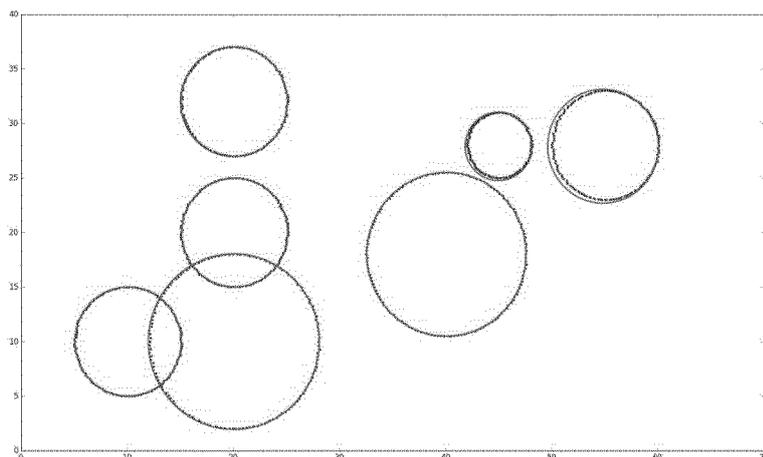


Rys.15 Schemat algorytmu głównego estymacji parametrów obiektów eliptycznych. Źródło: Fig. 3 w publikacji nr 4.

Po zakończeniu cyklicznych estymacji i otrzymaniu parametrów dla założonych q modeli funkcjonalnych należy wybrać z nich ten, którego parametry określono najmniej wadliwie tj. o najmniejszym błędzie wpasowania w hipotetyczny podzbiór danych. Hipotetyczny podzbiór danych rozumiany jest tu jako zbiór obserwacji, których odległość euklidesowa od znalezionej rozwiązania modelu funkcjonalnego jest mniejsza niż założona wartość parametru τ .

Ostatnim etapem tego bloku jest usunięcie z danych pomiarowych, obserwacji przypisanych do znalezionej optymalnego modelu, kierując się przyjętą wartością parametru τ . Tym samym zakłada się, że pozostałe obserwacje przedstawiają związek z $q-1$ rozwiązaniami. Proces wykorzystania „iterative block” powtarzany jest w ramach algorytmu z rys. 15 w sumie q razy za każdym razem wybierając jedno optymalne rozwiązanie i zmniejszając zbiór obserwacyjny. Otrzymane wyniki parametrów wszystkich q modeli funkcjonalnych stanowią przybliżone parametry kolejnej iteracji przedstawionej w postaci linii kropkowanej. Wielkość gradientu wartości tych parametrów stanowi podstawę decyzji o zakończeniu algorytmu.

W celu przetestowania algorytmu założono istnienie $n=1050$, danych punktowych (x_i, y_i) dla $i=1...n$, mogących być interpretowanymi jako realizacja 7 modeli funkcjonalnych w postaci równań okręgów – rys. 13 oraz tabela 3. Trzy z tych okręgów nałożono na siebie w celu przetestowania odporności algorytmu na przenikające się wyniki modeli funkcjonalnych. Przyjęto również $\tau=1.50m$, natomiast funkcją wagującą była 50. potęga poprawki obserwacji z poprzedzającej (konkurencyjnej) iteracji. W wyniku wykorzystania zaprezentowanego w pracy algorytmu w 10 głównych iteracjach (linia kropkowana na rys. 15) oraz zwiększonej do liczby 2 iteracjach w „iterative blok” (linia kreskowana na rys.14) otrzymano rozwiązanie $q=7$ modeli funkcjonalnych okręgów zgodnie z linią ciągłą rysunku 16:



Rys.16 Rozwiązanie $M_{split(q)}$ dla 7 okręgów (linia ciągła). Źródło: Fig. 5 w publikacji nr 4.

Otrzymane wartości parametrów dla 7 modeli funkcjonalnych oraz ich różnice bezwzględne z wartościami estymowanymi z tabeli 3 podsumowuje tabela 4:

Tabela 4. Wartości parametrów dla 7 modeli funkcjonalnych

Nr okręgu	X_{mc}	Y_{mc}	R_m	$ X_{mc}-X_{cest} $	$ Y_{mc}-Y_{cest} $	$ R-R_{est} $
1	10,10	10,00	5,00	0,01	0,00	0,00
2	20,06	9,99	8,05	0,04	0,00	0,05
3	20,14	19,99	4,99	0,03	0,01	0,02
4	20,07	31,97	5,03	0,03	0,03	0,03
5	54,85	27,90	5,22	0,25	0,10	0,22
6	44,99	28,90	3,13	0,11	0,90	0,13
7	40,09	18,00	7,51	0,01	0,00	0,01

Źródło: Tab. 2 w publikacji nr 4.

Zauważalne największe różnice od założonych wartości teoretycznych mają rozwiązania 5. i 6. okręgu. Numerycznym uzasadnieniem takiego rezultatu jest zauważona kolejność znajdowania rozwiązań modeli funkcjonalnych podczas wykorzystania algorytmu. 5. i 6. okrąg w procesie iteracyjnym zostały znalezione najwcześniej (istniał największy negatywny wpływ obserwacji uznanych w dalszym procesie jako przynależne pozostałym rozwiązaniom).

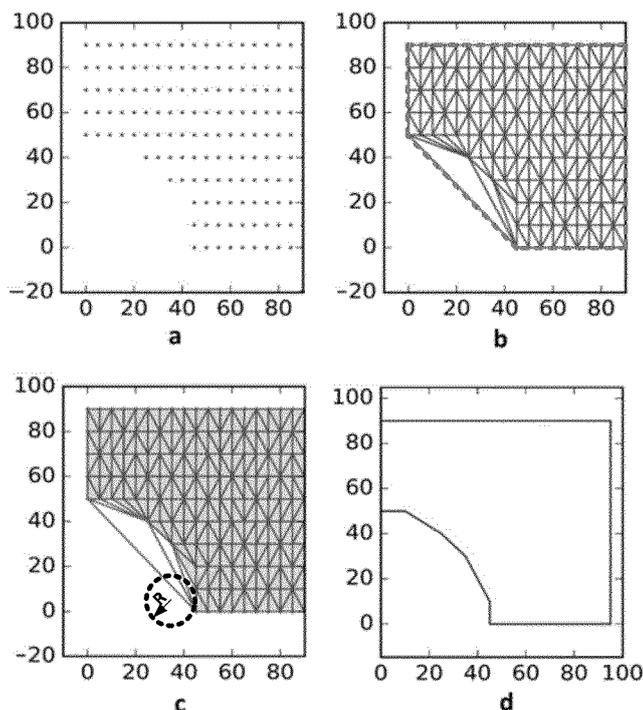
Mimo wskazanych różnic wartości parametrów modelu teoretycznego i wynikowego dla prezentowanej metody, można uznać je za zanedbywalne a sam algorytm wskazać jako skuteczny i przejrzysty w interpretacji kolejnych jego kroków. Jednoznaczność uzyskanych wyników również nie budzi zastrzeżeń.

Jego złożoność mimo zastosowania dodatkowej zewnętrznej pętli, będzie zbliżona do wcześniej prezentowanych realizacji (z użyciem $M_{split}(q=2)$ estymacji) bo chociaż w każdym kroku iteracji wykonywanych będzie zwykle (poza finalną sytuacją dla $q=2$) więcej rozwiązań konkurencyjnych modeli to z każdym krokiem tej pętli iteracji liczba obserwacji będzie istotnie zmniejszana. Osiągnięte rezultaty wskazują na rozwiązanie o zadowalającej dokładności przy wzięciu pod uwagę wielkości szumu gaussowskiego jakim zniekształcono dane teoretyczne.

4.3.5. Adaptacja teorii α -shape 2D w modelowaniu obwiedni obiektów przestrzennych 3D - publikacja 5.

Automatyzacja modelowania przestrzeni wymaga zwykle doboru algorytmów nie tylko w ścisłej zależności od metody akwizycji danych, ale i również od charakterystyki struktur przestrzennych przeważających na danym terenie. Możliwość użycia w tym celu $M_{split(q)}$ do detekcji w danych TLS obiektów o kształcie eliptycznym (de facto 2D) została już

przywołana a prace nad rozszerzeniem jej zastosowania na modele cylindryczne tj. 3D są obecnie przedmiotem badań autora Autoreferatu. Jednak w przypadku realizacji modelowania budowli cylindrycznych lub w ogólności przede wszystkim o tzw. obwodzie zamkniętym, których pomiaru dokonano z wykorzystaniem technologii TLS możliwa jest także realizacja alternatywna, pośrednia w postaci wykorzystania otoczki wypukłej bądź ogólniejszego pojęcia tj. α -shape (Akkiraju i in. 1995). Proponowane rozwiązanie, przedstawione w **publikacji nr 5**, zakłada istnienie skończonego zbioru danych punktów pomiarowych z wąskiej poziomej zorientowanej sekcji o grubości („miąższości”) ΔZ , które są następnie rzutowane na płaszczyznę poziomą (rys.17a). Wskazanie obrysu takiego obiektu (gdy jest to celem pomiarowym) z użyciem zwykłej otoczki wypukłej 2D dałoby rozwiązanie jak obwódka kształtu (czerwona linia przerywana) przedstawiona na rys 17b. Wykorzystanie triangulacji Delaunaya również nie rozwiązuje wprost problemu doboru punktów poprawnie opisujących obrys takiego zbioru punktów (siatka trójkątów – również rys. 17b), dając rozwiązanie zbliżone kształtem do otoczki wypukłej. Można je natomiast wykorzystać podczas realizacji tzw. α -shape. Realizacja α -shape polega na usunięciu z uzyskanej triangulacji (rys. 17b) tych trójkątów, w których dowolna odległość między wierzchołkami jest większa niż $2 \cdot R$, dla arbitralnie przyjętej wartości R (promienia okręgu filtrującego) – zależnej od skomplikowania obwódki oraz gęstości punktów (rys. 17c). W wyniku takiej „filtracji” pozostają tylko tzw. „legalne” trójkąty a z nich krawędzie, które nie powtarzają się w innych trójkątach (rys.17d).



Rys.17 Rozwiązanie $M_{split(q)}$ dla 7 okręgów (linia ciągła). Źródło: Fig. 1 w publikacji nr 5.

To założenie teoretyczne zostało poddane walidacji teoretycznej tj. na przygotowanym wg konkretnych założeń zbiorze danych o znanej strukturze i charakterystyce. Jako teoretyczny obiekt testowy obrano powierzchnie walcową o parametrach w postaci wysokości pobocznic walca 10,00m i promieniu 12,00m o zmienności tych wartości opisanej odchyleniem standardowym równym 0,04m. Dla całego obiektu przyjęto 200 000 punktów ze średnią gęstością 212,20 punktu na $1m^2$ co odpowiada średniej odległości między punktami wynoszącej $\sim 0,07m$. Parametry te zostały tak dobrane, aby odpowiadały w przybliżeniu realności danych uzyskanych z TLS. Założono także, że zmienność położenia osi głównej obiektu będzie badana w przekrojach poprzecznych realizowanych z cięciem

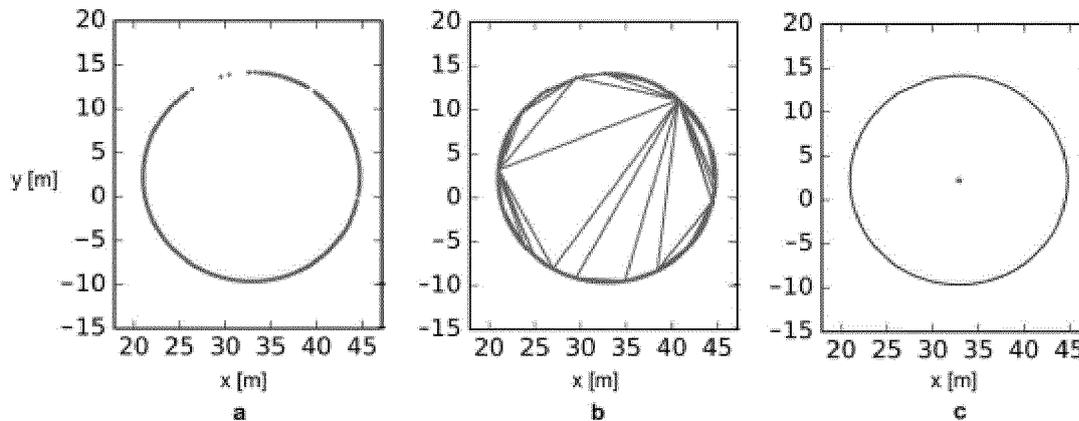
co 0,20m. Ustalono też, znajomość położenia osi budowli zdefiniowanej wstępnie dla wartości $x_t = 0, y_t = 0$. Zniekształcenia tych wartości dla poszczególnych sekcji budowli zrealizowano używając teoretycznej funkcji w postaci równań trygonometrycznych. Dla x_{t_i} i y_{t_i} zniekształcenia (dev) zdefiniowano następująco:

$$dev_{x_{t_i}} = \sin(p_i) \quad (27)$$

$$dev_{y_{t_i}} = \cos(p_i) \quad (28)$$

$$p_i = 0,02 \text{ dla } z_{t_i} = [0,10]m \quad (29)$$

Dla założonej wysokości obiektu (10,00m) oraz cięcia przekrojami poprzecznymi (z interwałem 0,20m) uzyskano 50 przekrojów poddanych oddzielnej analizie. Dzięki zastosowaniu α -shape z parametrem R równym 12,00m (w przybliżeniu równym promieniowi silosu) wygenerowano wygładzone obwiednie eliminujące nierówności kształtów – rys. 18.



Rys. 18 Etapy aproksymacji obwiedni cylindrycznych obiektów z wykorzystaniem α -shape. Źródło: Fig. 3 w publikacji nr 5.

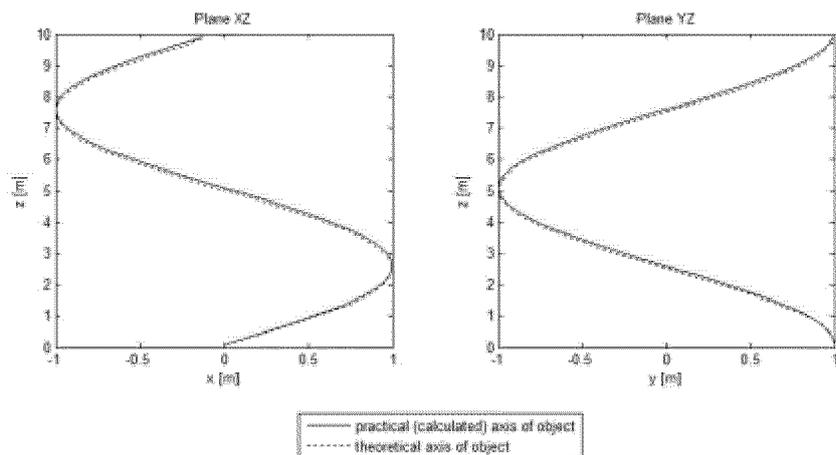
Środki poszczególnych sekcji zostały obliczone jako środki ciężkości odpowiadających im obiektów α -shape :

$$x_{s_i} = \frac{1}{6A_i} \sum_{j=1}^N (X_{V_j} + X_{V_{j+1}})(X_{V_j}Y_{V_{j+1}} - X_{V_{j+1}}Y_{V_j})$$

$$y_{s_i} = \frac{1}{6A_i} \sum_{j=1}^N (Y_{V_j} + Y_{V_{j+1}})(X_{V_j}Y_{V_{j+1}} - X_{V_{j+1}}Y_{V_j}) \quad (31)$$

gdzie A – jest polem powierzchni obiektu α -shape, a X_V, Y_V – współrzędnymi N wierzchołków α -shape.

Porównanie graficzne uzyskanych wyników teoretycznej osi modelu budowli z estymującymi ją centrami poszczególnych przekrojów uzyskanych z α -shape przedstawia rysunek 19.



Rys.19 Zmiana pozycji osi budowli zrzutowana na płaszczyzny XZ oraz YZ. Źródło: Fig. 2 w publikacji nr 5.

Odchylenie standardowe określania położenia osi z wykorzystaniem α -shape o podanych parametrach jest zgodne ze wzorem:

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (a_i - \bar{a})^2}{n-1}}, \quad (31)$$

a pierwiastek błędu średniokwadratowego natomiast zgodny jest z formułą:

$$RMSE = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n a_i^2}{n}} \quad (32)$$

gdzie:

$a_i = v_{x_i} = x_{s_i} - x_{t_i}$ lub $v_{x_i} = y_{s_i} - y_{t_i}$ zależnie od badanej osi, a n jest liczbą analizowanych środków obiektów α -shape.

Wartości oceny statystycznej uzyskanego rozwiązania przedstawia tabela 5.

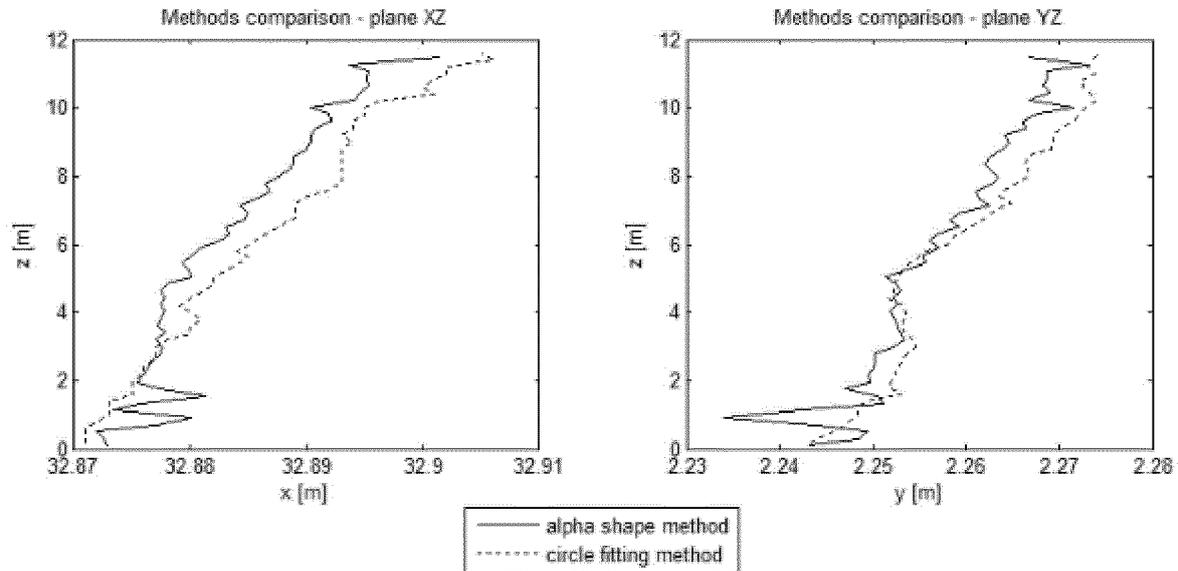
Tabela 5. Błędy wyznaczenia punktów osi budowli z wykorzystaniem α -shape.

RMSE x	30 mm
RMSE y	32 mm
σ x	30 mm
σ y	32 mm
maksymalna wartość v_{x_i}	53 mm
maksymalna wartość v_{y_i}	49 mm
średnia wartość v_{x_i}	-5 mm
Średnia wartość v_{y_i}	4 mm

Źródło: Tab. 2 w publikacji nr 5.

Proponowana metoda modelowania z wykorzystaniem α -shape została zweryfikowana z użyciem realnych pomiarów TLS odniesionych do powierzchni silosu, którego oś określono metodą opisaną w innej publikacji autora Autoreferatu: 3D modelling of liquid fuels base infrastructure for the purpose of visualization and geometrical analysis (Janowski, Szulwic, Żuk 2015). Zasadność tego porównania wynikała z założenia co do teoretycznej obwiedni silosu o kształcie okręgu. Przyjęcie na bazie tego założenia modelowanie w postaci systemu okrężnych pierścieni przyjęto jako rozwiązanie wzorcowe. Graficzne porównanie wyników obu metod dla położenia środka geometrycznego każdego z przekrojów w płaszczyznach XZ

oraz YZ przedstawia ilustracja 20, gdzie linią przerywaną przedstawiono wyniki ustalenia osi silosu na kolejnych poziomach metodą wpasowania okręgów, natomiast linia ciągła odnosi się do rozwiązania z użyciem α -shape.



Rys. 20 Porównanie wyznaczenia osi budowli z wykorzystaniem α -shape i wpasowania okręgów. Źródło: Fig. 5 w publikacji nr 5.

Uznając metodę wpasowania okręgów za referencyjną dla prezentowanego rozwiązania określono różnice wyników dwóch podejść za pomocą odchylenia standardowego:

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (p_i - \bar{p})^2}{m-1}} = 2\text{mm} \quad (33)$$

gdzie p_i jest odległością między położeniem osi (punktem na osi) silosu na i -tym poziomie przekroju płaszczyzną równoległą do płaszczyzny XY wyznaczonym metodą wpasowania okręgu i metodą α -shape dla m analizowanych poziomów

Pierwiastek błędu średniokwadratowego wg wzoru:

$$RMSE = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m p_i^2}{m}} = 5\text{mm} \quad (34)$$

Wspomniana w pracy referencyjna metoda dopasowania kształtu okręgami pozwala wyznaczyć oś obiektu o kolistych kształtach przekroju, podczas gdy kompilację triangulacji Delaunay'a oraz metody z zastosowaniem α -shape można wykorzystać do analizy bardziej nieregularnych kształtów obiektów, nawet przy znacznych wgłębieniach i wystęпах na ich obwodni (użycie parametru R o odpowiednio dobranej wartości rozwiązuje ten problem). Proponowana metoda zawiera tym samym w sobie większy potencjał zastosowań, jest skuteczniejsza od metod zakładających konkretny kształt obiektów, ponieważ jej jedynym warunkiem jest ograniczenie do kształtów zamkniętych. Jej wiarygodność została udowodniona z użyciem referencyjnej metody poprawnej dla kształtów kołowych, gdzie posłużyła do wskazania przebiegu osi budowli jednak jej zasadniczą zaletą jest możliwość odtwarzania całych powierzchni. Jest to szczególnie możliwe przy zastosowaniu α -shape 3D.

Złożoność metody jest porównywalna ze złożonością algorytmu triangulacji Delaunaya ocenianej czasowo na $O(n \log n)$ (w odniesieniu to podstawowych składowych

operacji zdefiniowanych w algorytmach triangulacji Delaunaya a nie operacji podstawowych teoretycznego procesora).

Celem przedstawionych zagadnień modelowania czy to za pomocą $M_{\text{split}(q)}$ estymacji czy obiektów α -shape było uzyskanie możliwie wiernej „reprezentacji” badanego elementu przestrzeni. Przyjęcie założonych uproszczeń związanych z budową modelu pozwalało na dokonanie jego parametryzacji (zdefiniowanie skończonej liczby parametrów oraz określenie ich wartości) a tym samym dawało możliwość relatywizowania z modelem stworzonym na podstawie założeń projektowych czy teoretycznych a także znacznie szybszą analizę całości przestrzeni co w **publikacji nr 1** przedstawiającej problematykę będącą asumptem do przeprowadzenia prac przedstawionych w kolejnych publikacjach. Takie rozwiązania dają ponadto możliwość obserwacji zmiany wartości parametrów obiektów przestrzeni z zastosowaniem paralaksy czasowej tj. dla różnych epok pomiarowych.

4.4. Podsumowanie cyklu artykułów i wskazanie użyteczności rozwiązań

W swoich badaniach zarówno przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora jak również w latach późniejszych autor Autoreferatu swoje wysiłki badawcze skupiał przede wszystkim na tematyce algorytmów i konstrukcji dedykowanych struktur danych (geometrii obliczeniowej) związanych z ich zastosowaniem w geodezji inżynierskiej. Starał się również adaptować, szczególnie na zasadzie synergii, algorytmy ekstrakcji informacji z dużych zbiorów informacji lub zbiorów składających się z wielu obserwacji nadliczbowych. Nadliczbowość obserwacji jaką starał się zredukować wpływa z reguły negatywnie na jednoznaczność oceny informacyjnego przekazu, czasem także ją skutecznie uniemożliwiając.

W przedstawionym cyklu publikacji została ukazana ścieżka ewolucji zastosowań wybranych algorytmów przetwarzania dużych zbiorów danych obserwacyjnych jakimi zajmował się autor Autoreferatu.

Przedstawione wybrane publikacje autora poruszają powiązane ze sobą zagadnienia wykorzystania algorytmów przetwarzania zbiorów obserwacyjnych w ekstrakcji uporządkowanych struktur przestrzennych i w sposób zwięzły zamykają klamrą zwartą problematykę. Dotyczy ona między innymi istotności i możliwości numerycznych poszukiwań konfiguracji rozwiązań pomiarowych dających optymalność pod względem parametrów uzyskiwanego na ich podstawie modelu. Ukazana została możliwość sprawnej determinacji właściwego doboru pozycji infrastruktury GBAS w celu otrzymania maksymalnej niezawodności dla przyjętych założeń nawigacyjnych. Uwzględniono przy tym ograniczenia w postaci istniejących i niezmiennych obstrukcji terenowych, zakresu obszarowego dla którego przewidziano wsparcie nawigacyjne oraz potencjalne lokalizacje dla instalacji urządzeń GBAS. Wskazano na istotne z punktu widzenia wydajności numerycznych obliczeń założenia, które wpływają na zasoby pamięciowo – czasowe niezbędne dla osiągnięcia finalnego wyniku. Podejście do problemu analiz przestrzennych bez odpowiedniego modelowania rozumianego jako swoiste uproszczenie opisu przestrzeni jest wyjątkowo trudne i wymagające obliczeniowo. Stąd w kolejnych publikacjach przedstawiono koncepcje uproszczenia opisu elementów przestrzeni z wykorzystaniem propozycji iteracyjnych algorytmów modelowania.

Zaprezentowane przykłady ukazują ewolucję funkcjonalności proponowanych procedur od prostej separacji, rozszczepiania zbioru danych na dwa podzbiory mających przypisaną inną „logikę” geometryczną. W jednym z przykładów w izolowanym zbiorze danych ALS powiązanych z powierzchnią pokrycia dachowego celem zaproponowanego rozwiązania była detekcja dwóch płaszczyzn dachów i określenie ich parametrów tj. wektorów normalnych dwóch integralnych płaszczyzn. Zadanie to zostało wykonane z wykorzystaniem $M_{\text{split}(q)}$ estymacji w najprostszej jej formie tj. dla $q=2$. Wykorzystanymi konkurującymi o obserwacje

modelami funkcjonalnymi były równania ogólne płaszczyzn. Wskazano tym samym na użyteczność M_{split} estymacji do takich prac, a także ich skuteczność i dokładność. Złożoność algorytmu ściśle uzależniona od liczby obserwacji jest przenaszalna na rozwiązania współbieżne będące dominującą tendencją współczesnej algorytmiki informatycznej a tym samym dobrze skalowalna. Natomiast aplikacyjność uzyskiwanych wyników wskazano dla obszarów powiązanych z: geodezją inżynierską w pracach związanych z monitoringiem strukturalnym i oceną geometrii obiektów o budowie ścian w postaci wycinków płaszczyzn, mapami akustycznymi, planowaniem przestrzennym, gospodarowaniem nieruchomościami, zarządzaniem kryzysowym, geomonitoringiem etc.

Zaproponowana procedura nazwana w cyklu publikacji umownie „jakościową” tj. taką w której rozwiązaniem były estymowane parametry ujęte w modelach podanych implícite na „wejściu” algorytmu. Rozwinięciem koncepcji było jej zastosowanie do badania możliwości zastosowania w separacji danych powiązanych z NMT z całości klasycznego pomiaru ALS. Alternatywne modele aproksymujące zdefiniowano w postaci wielomianowej drugiego stopnia o 6 parametrach. Postać funkcji modelujących nie pozwoliła na satysfakcjonujące przedstawienie deniwelacji o charakterze lokalnym. Stąd wskazano możliwość zastosowania podejścia „ilościowego”. Jego ideą jest analiza histogramów residuów określonych jako różnice wartości estymowanych w każdym z konkurencyjnych modeli oraz realnych obserwacji. Ustalono konieczność założenia dopuszczalności odstępstwa (poprawki) w aproksymacji NMT w danym modelowaniu. Wartość ta wyodrębnia w każdym z dwóch histogramów dwie grupy poprawek: mieszczące się w przyjętych granicach i tych, które te granice przekraczają. Istotnym jest w tym momencie ustalenie przewagi liczebności obserwacji związanych z NMT czy NMPT w analizowanym zbiorze ALS – relacja ta zależy od charakterystyki badanego terenu i jest tu istotne tylko stwierdzenie istnienia tej przewagi na rzecz NMT czy odwrotnie (na rzecz NMPT) – stopień ten relacji jest mniej istotny. Wiedząc, że wśród obserwacji znajduje się więcej pomiarów powiązanych z obiektami przestrzeni uznanymi za NMPT należy z 2 alternatywnych rozwiązań M_{split} estymacji wybrać to, którego histogram zawiera bardziej liczebną grupę poprawek o małych bezwzględnych wartościach. W przypadku przewagi obserwacji związanych z NMPT bardziej licznych poprawek o małych wartościach należy poszukiwać na histogramach dla tego rozwiązania. Po ustaleniu właściwego histogramu i grupy „przystających” poprawek, ustalenie obserwacji, które takie poprawki posiadają jest jednoznaczne z definicją punktów NMT wyodrębnionych z całego zbioru ALS. Skuteczność oraz wydajność algorytmu potwierdzono przez porównanie z algorytmem AdaptiveTIN uznanym za jeden z klasycznych i efektywnych algorytmów separacji NMT i NMPT z ALS. Wydajność algorytmu wynika z jego złożoności, która wg autora można ocenić na $O(n^2)$ a dodatkowo poddaje się ze względu na tożsamą charakterystykę z podaną wcześniej dla M_{split} estymacji, skalowalności i współbieżności. Zestawienie z AdaptiveTIN wskazało dużą zbieżność wyników obu metod poza wartością maksymalnej wysokości wykrytego punktu NMT. Z punktu widzenia implementacyjnego, niewątpliwą zaletą proponowanego sposobu separacji ALS za pomocą M_{split} estymacji w porównaniu z AdaptiveTIN jest wykorzystanie tylko i wyłącznie rachunku macierzowego podczas gdy AdaptiveTIN wymaga wykonywania szeregu triangulacji Delaunaya. Triangulacja ta (choć również poddająca się rozwiązaniom opartym na współbieżności) jest zagadnieniem bardziej złożonym i niekiedy nieodpornym numerycznie na obserwacje zbliżone wartościowo – bliskie numerycznej redundancji.

Kolejnym etapem ewolucji adaptacji M_{split} estymacji jako stosowalnej w filtracji LiDAR było rozszerzenie jej aplikacyjności do liczby modeli $q > 2$. Przykładem użycia M_{split} w segregacji danych z liczbą modeli $q=7$, pomyślnie zrealizowanym dla teoretycznego zbioru danych TLS obrazujących 7 okręgów. Samo zastosowanie właściwego modelu okazało się

niewystarczające i algorytm podstawowej M_{split} estymacji musiał być rozszerzony o zewnętrzny mechanizm eliminacji obserwacji uznawanych za stowarzyszone z kolejno określonymi rozwiązaniami. Każda iteracja algorytmu kończy się w tym rozwiązaniu wyborem spośród q sub-rozwiązań tego najlepszego. Charakteryzuje się on największą liczbą „pasujących” danych pomiarowych znajdujących się w przetwarzanym zbiorze. Po identyfikacji najlepszego sub-rozwiązania następuje obliczenie jego parametrów i finalnie usunięcie obserwacji z nim „stowarzyszonych” ze zbioru dalszego przetwarzania. Przejście do następnego etapu wymaga zmniejszenia liczby modeli q o 1, i powtórzenie całej procedury od początku aż do osiągnięcia $q=2$ kiedy to dwa modele finalnie dopełniają całe rozwiązanie – określenie parametrów a priori założonej liczby modeli. Ważnym jest też wskazanie, że klasyczne migrowanie między estymacjami modeli w oparciu o wagowanie oparte na kwadracie poprawek dla poprzedniego modelu okazało się nieskuteczne i wymagało przebudowy polegającej na zmianie na potęgę stopnia 50. Wysoką skuteczność metody potwierdza rozróżnialność nawet modeli częściowo pokrywających się – w tym przypadku obserwacji w postaci punktów zlokalizowanych na przenikających się okręgach. Wykazano tym samym możliwość adaptacji M_{split} estymacji w sytuacji gdy jej klasyczna realizacja zawodzi dla konkretnego przypadku jednolitych konkurujących modeli funkcjonalnych.

Jeśli istotą modelowania danych nie jest separacja danych ale ich ujęcie w zgeneralizowany sposób należy poszukiwać rozwiązań wśród innych koncepcji. Często koniecznością jest ustalenie obwiedni badanego obiektu przestrzennego na podstawie wielu dyskretnych pomiarów punktów leżących w jej definicji. Problemem jest identyfikacja punktów tej obwiedni – wyróżnienie ich spośród populacji wszystkich obserwacji tj. również tych które obrazują wnętrze obiektu. Wskazano, że rozwiązaniem może być wykorzystanie α -shape, które w sposób dający się parametryzować pozwalają zachować charakter „porowatości” modelowanej powierzchni nie ograniczając się jak klasyczna otoczka wypukła do rozwiązań w postaci wielokątów wypukłych. Wykorzystanie tylko jednego parametru – R , pozwala zachować realny charakter obwiedni opisywanego obiektu. Wykorzystana w algorytmie α -shape triangulacja choć skomplikowana proceduralnie i złożonościowo może być zaakceptowana ze względu na liczebność danych ograniczanych parametrem miąższości – selekcyjnym z całości zbioru danych, tylko te, które są związane z przekrojem zainteresowań.

Przedstawione rozwiązania opracowane w formie numerycznych algorytmów przetwarzania danych mogą być wykorzystywane w opracowaniach danych obserwacyjnych pozyskiwanych współczesnymi metodami pomiarowymi powiązanych z geodezją inżynierską. Wiele z nich obarczonych jest nadmiarowością obserwacji wpływającą na złożoność analiz, wyższy koszt prac związany m.in. z czasochłonnością, zachłannością sprzętowo-systemowo-technologiczną. Opracowane rozwiązania mogą być zaimplementowane w ramach procedur ewaluacyjno-decyzyjnych w następujących zadaniach:

- w geodezyjnym monitoringu strukturalnym, w szczególności zmian konstrukcyjnych wielkogabarytowych cylindrycznych budowli wykorzystywanych do magazynowania np. paliw płynnych i gazowych, materiałów sypkich;
- w geomonitoringu;
- w ochronie środowiska, w szczególności w inwentaryzacji nasadzeń;
- wspomaganie procesu nawigacyjnego;
- w dziedzinie energetyki, w szczególności przebiegu infrastruktury liniowej i jej zagrożeniach dla działalności człowieka.
- przy opracowywaniu map akustycznych;
- w planowaniu przestrzennym, w szczególności w ocenie zagospodarowania terenu;

- w gospodarowaniu nieruchomościami, a w szczególności w projektach optymalizacji pozyskiwania energii z alternatywnych źródeł (np. instalacji solarnych);
- zarządzaniu kryzysowym do np. inwentaryzacji infrastruktury;
- w opracowaniu katastru 3D.

Podsumowując, prezentowane badania oraz otrzymane wyniki prowadzą do poszerzenia istniejących możliwości przetwarzania i analizy danych w ramach implementacji aplikacji geodezji inżynierskiej w szczególności powiązanej ze skanowaniem laserowym zarówno ALS jak i TLS. Ich wynikiem jest inna forma reprezentacji modelowanych zjawisk odznaczająca się zmniejszeniem liczby parametrów a tym samym zwiększeniem transparentności opisu analizowanych obiektów i procesów przestrzennych. Wypracowane przez autora numeryczne algorytmy przetwarzania znacznie wpłyną na rozwój tej dziedziny badań naukowych, a główne efekty i rezultaty jego badań są następujące:

- wskazanie możliwości wykorzystania w procesie separacji danych LiDAR, $M_{split}(q=2)$ estymacji z użyciem modeli funkcjonalnych powiązanych z opisem parametrycznym przestrzennych elementów infrastruktury technicznej
- opracowanie innowacyjnej metodyki opartej na $M_{split}(q=2)$ estymacji zaprezentowanej w formie oryginalnego podejścia ilościowego niezbędnego w separacji danych ALS;
- nowatorska modyfikacja iteracyjnej separacji danych z użyciem M_{split} estymacji dla rozwiązań z wieloma niezależnymi modelami funkcjonalnymi;
- opracowanie alternatywnej metody modelowania powierzchni zamkniętych na podstawie wyników pomiarów TLS oraz zastosowania rozwiązań opartych na teorii α -shape 2D;
- opracowanie metody optymalizacji doboru lokalizacji elementów infrastruktury GBAS.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

5.1. Charakterystyka wybranych prac naukowo-badawczych

Badania autora Autoreferatu prowadzone przed uzyskaniem stopnia doktora nauk technicznych dotyczyły głównie analizy możliwości wykorzystania rozwiązań opartych na synergii technologii informatycznej i fotogrametrycznych metod przetwarzania danych w zastosowaniach geodezji inżynierskiej. W badaniach wykorzystywano metody dedykowanego składowania danych obserwacyjnych w autorskich rozwiązaniach aplikacyjnych, które następnie poddawano zoptymalizowanym pod względem czasowym procesom filtracji geometrycznej jak i opartej na zasadzie paralaksy czasowej. Już wówczas autor wskazywał na istotę problemu związanego z masowością zbiorów obserwacji i pomiarów utrudniającą uzyskanie wiarygodnych i jednoznacznych ocen analizowanych zjawisk przestrzennych związanych z zagadnieniami geodezji inżynierskiej.

Z tego względu po uzyskaniu stopnia naukowego doktora nauk technicznych autor kontynuował prace naukowo-badawcze związane z wzajemnym przenikaniem rozwiązań technicznych zagadnień natury numerycznej ujmowanych we wspólnych ramach przetwarzania geoinformacyjnego. Jako przykład możliwym jest wskazanie adaptacji rozwiązań postrzeganych klasycznie jako przynależnych technologii widzenia komputerowego (ang. *Computer Vision*) w rozwiązaniach modelowania danych pochodzących ze skaningu laserowego.

Przenikanie rozwiązań geoinformatycznych znalazło także swoje umiejscowienie w innych dziedzinach nauki - analizie ludzkich emocji wykonywanych w oparciu o dane obrazowe. Wskazany przykład podkreśla multidyscyplinarny charakter podejmowanych zagadnień badawczych, których celem było przetestowanie i uzasadnienie uniwersalności opracowanych rozwiązań.

Tak jak to wykazano we wstępie Autoreferatu, obserwacje pozyskane metodami geodezji inżynierskiej wymagają staranności selekcji, filtracji obserwacji oraz normalizacji

uzyskiwanych wyników. Efekt taki można uzyskać dzięki dedykowanemu modelowaniu wyników pomiarów z użyciem numerycznych algorytmów przetwarzania zbiorów obserwacyjnych w ekstrakcji uporządkowanych struktur przestrzennych.

Opracowane przez autora prace naukowo-badawcze zostały omówione w podziale na poszczególne zagadnienia problemowe. W pierwszej grupie badań znalazły się rozważania związane z geodezyjnym opracowaniem numerycznych modeli terenu oraz numerycznych modeli pokrycia terenu jako ekstrakcji struktur geoprzestrzennych z obserwacji składowanych w postaci chmur punktów. Rezultatem przeprowadzonych badań na ten temat były następujące publikacje:

- Błaszczak-Bąk W., Janowski A., Srokosz P. 2016. High performance filtering for big datasets from Airborne Laser Scanning with CUDA technology. *Survey Review*. 2016, [8 s.] ; p-ISSN: 0039-6265. DOI: 10.1080/00396265.2016.1264180 (**Lista A**)
- Rapiński J., Kamiński W., **Janowski A.**, Błaszczak-Bak W. 2011. ALS Data Filtration with Fuzzy Logic. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*. Volume 39, Issue 4, pp 591–597. (**Lista A**)
- Błaszczak-Bąk W., **Janowski A.**, Kamiński W., Rapiński J. 2011. Optimization algorithm and filtration using the adaptive TIN model at the stage of initial processing of the ALS point cloud. *Canadian Journal of Remote Sensing*. 2011, 37 (6), s. 583-589 ; p-ISSN: 1712-7971 (**Lista A**)
- Błaszczak-Bąk W., **Janowski A.**, Kamiński W., Rapiński J. 2011. A modified methodology for analysing ALS observations. *Reports of Geodesy*. Tom 1/90, str. 31-39
- Błaszczak-Bąk W., **Janowski A.** 2009. Proposed Technology of lidar data processing to build DTM. *Reports of Geodesy*. z. 2/87 str. 29-38
- Błaszczak-Bąk W., **Janowski A.**, Kamiński W., Rapiński J. 2010. Modification of Lidar Point Cloud Processing Methodology. FIG Congress . Facing the Challenges – Building the Capacity Sydney, Australia, 11-16 April 2010
- **Janowski A.** Szulwic J. 2008 Photogrammetric and computerized report on site model in feasibility study of navigability channel on Vistula Spit. *Polish Journal of Environmental Studies*. 17 (5a), 52-57

Opracowane rozwiązania mogą znaleźć zastosowanie w automatycznych lub semiautomatycznych aplikacjach przetwarzania pomiarów TLS/ALS (Xiong i in., 2013).

Kolejne zagadnienie rozpatrywane przez autora związane było z procesami inżynierii odwrotnej (ang: *reverse engineering*) znajdujące zastosowanie w modelowaniu obiektów infrastruktury przemysłowej jak i elementów geomorfologicznych. Rezultatem przeprowadzonych badań były m.in. następujące publikacje:

- Rapiński J., **Janowski A.** 2016. Algorithm for staking out interior elements of the wind turbine monopole. *Journal of Surveying Engineering*. 2016 ; p-ISSN: 0733-9453. DOI: 10.1061/(ASCE)SU.1943-5428-0000214 (**Lista A**)
- Burdziakowski P., **Janowski A.**, Kholodokov A., Matysik M., Przyborowski M., Szulwic J., Tysiąc P., Wojtowicz A. 2015. Maritime laser scanning as the source for spatial data. *Polish Maritime Research*. 2015, 22 (4), s. 9-14 ; DOI: 10.1515/pomr-2015-0064 (**Lista A**)
- **Janowski A.**, Szulwic J., Żuk M. 2015. 3D modelling of liquid fuels base infrastructure for the purpose of visualization and geometrical analysis. 15th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2015 : Science and Technologies in Geology, exploration and Mining : Conference proceedings, Book 1, Vol. 1. Albena : STEF92 Technology Ltd, 2015, s. 753-764 ; DOI: 10.5593/SGEM2015/B11/S6.096 (Web of Science Core Collection)

- **Janowski A.**, Szulwic J., Tysiąc P., Wojtowicz A. 2015. Airborne and mobile laser scanning in measurements of sea cliffs on the southern Baltic. 15th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2015 : Science and Technologies in Geology, Exploration and Mining : Conference proceedings, Book 1, Vol. 2. STEF92 Technology Ltd, 2015, s. 17-24 ; DOI: 10.5593/SGEM2015/B12/S2.003 (Web of Science Core Collection)
- **Janowski A.**, Nierebinski P., Szulwic J. 2015. Artificial model in the assessment of the algorithm of objects recorded by laser scanning shape detection (ALS/TLS). 15th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2015 : Informatics, geoinformatics and remote sensing : Conference proceedings, Book 2, Vol. 1. Albena : STEF92 Technology Ltd, 2015, s. 995-1002 ; bibliogr. ; DOI: 10.5593/SGEM2015/B21/S10.127 (Web of Science Core Collection).
- **Janowski A.**, Kamiński W., Makowska K., Szulwic J., Wilde K. 2015. The method of measuring the membrane cover geometry using laser scanning and synchronous photogrammetry. 15th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2015 : Informatics, geoinformatics and remote sensing : Conference proceedings, Book 2, Vol. 1. Albena : STEF92 Technology Ltd, 2015, s. 1175-1185 ; bibliogr. ; DOI: 10.5593/SGEM2015/B21/S10.150 (Web of Science Core Collection).
- **Janowski A.**, Jurkowska A., Lewczuk D., Szulwic J., Zaradny A. 2014. Assessment of cliff stability after the demolition of the engineering facilities. 14th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2014 : Hydrogeology, Engineering Geology and Geotechnics : Conference proceedings, Book 1, Vol. 2, s. 115-123 ; p-ISBN: 978-619-7105-08-7. (Web of Science Core Collection).
- Bednarczyk M., **Janowski A.** 2014. Computer application for railway track realignment. 9th International Conference Environmental Engineering (9th ICEE) - Selected papers / edited by Donatas Cygas, Tomaz Tollazzi. Vilnius. Vilnius Gediminas Technical University Press Technika, 2014, [8 s.] ; Seria: Environmental Engineering, 2029-7092. p-ISBN: 978-609-457-640-9. (Web of Science Core Collection).
- Bernat M., **Janowski A.**, Rzepa S., Sobieraj A., Szulwic J. 2014. Studies on the use of terrestrial laser scanning in the maintenance of buildings belonging to the cultural heritage. 14th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2014 : Informatics, geoinformatics and remote sensing : Conference proceedings, Book 2, Vol. 3. Proceedings Paper , Bulgarian Academy, p-ISBN: 978-619-7105-12-4. (Web of Science Core Collection)
- Filipiak-Kowszyk D., **Janowski A.**, Kamiński W., Makowska K., Szulwic J., Wilde K. 2016. The geodetic monitoring of the engineering structure - a practical solution of the problem in 3D space. Reports on Geodesy and Geoinformatics. 2016, 102, s. 1-14 ; p-ISSN: 2391-8152 DOI: 10.1515/rgg-2016-0024
- Bednarczyk M., Janowski A. 2014. Mobile application technology in levelling. Acta Geodynamica et Geomaterialia. 2014, Vol. 11 (No. 2(174)), s. 153-157 ; p-ISSN: 1214-9705 (Lista A)
- **Janowski A.**, Szulwic J., Żuk M. 2014. Inżynieria odwrotna bazy paliw płynnych w Gdańsku. (Reverse engineering of liquid fuel base in Gdansk). Logistyka. 2014 (6), s. 14274-14284 ; p-ISSN: 1231-5478
- **Janowski A.**, Szulwic J. 2014. Monitoring wizyjny w systemach zabezpieczenia transportu wodnego. Koncepcja implementacyjna. (The image monitoring system for water transport system. Concept implementation.). Logistyka. 2014 (6), s. 4838-4845, p-ISSN: 1231-5478

Prezentowane opracowania mają potencjał zastosowania również w monitoringu strukturalnym, inwentaryzacji infrastruktury przestrzennej jak i analizach związanych z restrukturyzacją i modernizacją elementów o infrastrukturalnych o naturze liniowej.

Kolejna podjęta problematyka dotyczyła możliwości ujęcia obserwacji przez ich teselację do struktury strictly rastrowej (lub ciągu zobrazowań rastrowych oddzielonych paralaksą czasową) i wykorzystanie analiz opartych na widzeniu komputerowym (ang. *Computer Vision*). Rezultatem przeprowadzonych badań były m.in. następujące publikacje:

- Bobkowska K., Przyborski M., Szulwic J., **Janowski A.** 2016. Analysis of high resolution clouds of points as a source of biometric data. IEEE Xplore digital library. 2016, s. 15-21; p-ISSN: 2473-2001. DOI: 10.1109/BGC. Geomatics. 2016.
- Błażek M., Bobkowska K., Kaźmierczak M., **Janowski A.**, Przyborski M., Szulwic J. 2016. The impact of emotions on changes in the correlation coefficient between digital images of the human face. Geomatic. 2016.
- Bobkowska K., **Janowski A.**, Przyborski M., Szulwic J. 2016. A new method of persons identification based on comparative analysis of 3D face models. 6th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2016 : Informatics, Geoinformatics and Remote Sensing : Conference proceedings, Book 2, Vol. 2. Albena : STEF92 Technology Ltd, 2016, s. 767-774 ; Seria: International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM, 1314-2704. p-ISBN: 978-619-7105-59-9 (Web of Science Core Collection)
- Bobkowska K., **Janowski A.**, Przyborowski M. 2015. Image correlation as a tool for tracking facial changes causing by external stimuli. 15th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2015 : Informatics, geoinformatics and remote sensing : Conference proceedings, Book 2, Vol. 1 STEF92 Technology Ltd, 2015, s. 1089-1096 ; DOI: 10.5593/SGEM2015/B21/S10.139 (Web of Science Core Collection).
- Błażek M., Kaźmierczak M., **Janowski A.**, Moskwa K., Przyborski M., Szulwic J. 2014. An unorthodox view on the problem of tracking facial expressions. Proceedings of the 2014 Federated Conference on Computer Science and Information Systems : Federated Conference on Computer Science and Information Systems / M. Ganzha, L. Maciaszek, M. Paprzycki (eds). New York : IEEE, 2014, s. 85-91 . Seria: ACSIS-Annals of Computer Science and Information Systems, 2300-5963 ; Vol. 2. p-ISBN: 978-83-60810-58-3 . (Web of Science Core Collection)
- Bobkowska K., **Janowski A.**, Przyborski M., Szulwic J. 2014. Koncepcja analizy stanów emocjonalnych użytkowników w kontekście systemów zabezpieczeń transportowych. Logistyka. 2014 (6), s. 2062-2067.

Wdrożenia prezentowanych rozwiązań pozwoliły na ocenę ich użyteczności, efektywności, ale i także wskazanie ograniczeń w aplikacyjności w rozwiązaniach geoinformatycznych. Wyniki testów oraz wyciągnięte z nich wnioski mogą posłużyć do poszerzenia o nowe rozwiązania podejść klasycznych w ramach przetwarzania numerycznego danych np. zmian strukturalnych zachodzących w krótkich następujących po sobie epokach pomiarowych (w tym wykorzystanie zobrazowań wykonanych przy użyciu szybkich kamer).

W kolejnych publikacjach wskazano użyteczność pomiarów geodezyjnych w ocenie elementów środowiska przyrodniczego. Rezultatem przeprowadzonych badań były m.in. następujące publikacje:

- Bobkowska K., **Janowski A.**, Jasińska K., Kowal P., Przyborski M. 2016. Light pollution in the context of threats to the wildlife corridors. 16th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2016 : Nano, Bio and Green - Technologies for a

- Sustainable Future : Conference proceedings, Book 6, Vol. 3. Albena : STEF92 Technology Ltd, 2016, s. 665-670 (Web of Science Core Collection)
- Szulwic J., Serafin M., **Janowski A.**, Przyborski M. 2015. The use of morphological filters and granulometric method to analyze the movement of the molecules in the sea water of the southern Baltic sea. 15th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2015 : Informatics, geoinformatics and remote sensing : Conference proceedings, Book 2, Vol. 1. Albena : STEF92 Technology Ltd, 2015, s. 1195-1202 ; DOI: 10.5593/SGEM2015/B21/S10.152 (Web of Science Core Collection).
 - Dziurdzikowski J., **Janowski A.**, Przyborski M., Szulwic J. 2014. Satellite imaging in the analyses of light pollution. APCBEE Procedia. 2014, [7 s.]. 6th International Conference on Chemical, Biological and Environmental Engineering, ICBEE 2014: September, Paris, France; p-ISSN: 2212-6708
 - Przyborski M., Pырchła J., Serafin M., **Janowski A.** 2014. Rola GIS w badaniach środowiska morskiego. (The role of GIS in the analysis of sea environment). Logistyka. 2014 (3), s. 5330-5337 ; ISSN: 1231-5478
 - **Janowski A.**, Kowalewski M., Pырchła J., Szulwic J. 2014. System informacji przestrzennej dla morskich rejonów przybrzeżnych. Logistyka i obronność. (Spatial information system for marine coastal areas. Logistics and defense.) Logistyka. 2014 (6), s. 4830-4837 ; ISSN: 1231-5478
 - **Janowski A.**, Szulwic J., Wróblewska D. 2005. SIP i systemy ekspertowe w zarządzaniu hałasem. Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej Nr 114 Konferencje nr 45, 2005 ISSN 0324-9670
 - **Janowski A.**, Szulwic J. 2004. Współczesne narzędzia programistyczne na usługach fotogrametrii i SIP . czas. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji. wyd Zarząd Główny Stowarzyszenia Geodetów Polskich. 2004. Vol. 14. 1—12.

Przedstawione badania wskazywały na wysoką skuteczność oraz wiarygodność realizacji badań elementów związanych ze środowiskiem naturalnym i jego ochroną pojmowaną wg definicji sozologii. Jako istotne osiągnięcie prezentowanych opracowań można wskazać ustalenie istnienia hierarchicznych relacji pomiędzy indykatorami stanu środowiska naturalnego np. ruchu cząsteczek wody, natężenia hałasu, natężenia sztucznych źródeł światła o zdefiniowanej lokalizacji przestrzennej.

Szybki dostęp do danych składowanych w odpowiednio przygotowanych strukturach, zapewniających utrzymanie ich integralności oraz odpowiednie przetworzenie informacji staje się też wymogiem dziedziny wiedzy związanej z gospodarką nieruchomościami. Aplikacyjność poparta założeniami technologicznymi wzbogacona wstępnymi wdrożeniami została opisana w publikacjach zestawionych poniżej:

- Żróbek S., Cellmer R., **Janowski A.**, Kuryj J. 2006. Propozycja technologii opracowania mapy wartości gruntów dla miasta Olsztyna. Przegląd Geodezyjny. 2006 (nr 10), 3-9.
- Kamiński W., Bojarowski K., Mroczkowski K., **Janowski A.**, Wilde K. 2013. Measurement and load testing analysis of the roof of the Opera Lesna in Sopot (rozd. w mon.). Monografia pt.: GIS and its implementations / edited by Ryszard Żróbek, Davorin Kereković. Zagreb, Croatian Information Technology Society, GIS Forum, 2013, s. 87-94; ISBN: 978-953-6129-35-5
- **Janowski A.**, Szulwic J., 2014. Determination of the city centre. Study for the trójmiasto agglomeration. 7th International Conference of Education, Research and Innovation. Seville, Spain . ISBN: 978-84-617-2484-0, str. 1665. (Web of Science Core Collection).

Autor w prezentowanych artykułach zastosował procedury normalizacyjne systemów bazodanowych co pozwoliło na zapewnienie ich integralności, uproszczenie i zwiększenie efektywności realizacji procedur istotnych z punktu widzenia gospodarki nieruchomościami.

Autor Autoreferatu w swoich badaniach zajmował się także zagadnieniami związanymi z procesem kształcenia, dydaktyką ujętą szczególnie w ramy nauk ogólnogeoinformatycznych. Wyraz przemysłów związanych z tą tematyką, propozycje realizacji oraz praktyczne dokonania opisał w następujących publikacjach:

- Wróblewska D., Okraszewska R., **Janowski A.** 2014. An application of blended and collaborative learning in spatial planning course. EDULEARN 14 : Proceedings : 6th International conference on education and new learning technologies Barcelona, Spain, 7-9 July, 2014 / edited by Louis Gomez-Chova, A. Lopez-Martinez, I. Candel-Torres Adres wydawniczy, liczba stron: Barcelona : IATED Academy, 2014, s. 1164-1171 ; p-ISBN: 978-84-617-0557-3. (Web of Science Core Collection).
- **Janowski A.**, Jurkowska A., Przyborski M., Sobieraj A., Szulwic J., Wróblewska D., Wieczorek B. 2014. Improving the quality of education through the implementation of the diplomas and group projects during engineering studies in cooperation with employers. Proceedings : 6th International conference on education and new learning technologies Barcelona, Spain, 7-9 July, 2014 / edited by Louis Gomez-Chova, A. Lopez-Martinez, I. Candel-Torres. Barcelona : IATED Academy, 2014, s. 1837-1843. EDULEARN Proceedings, 2340-1117. (Web of Science Core Collection).
- **Janowski A.**, Sobieraj A., Szulwic J., Wróblewska D. 2014. Proprietary software in technical higher education. 6th International conference on education and new learning technologies Barcelona, Spain, 7-9 July, 2014 / edited by Louis Gomez-Chova, A. Lopez-Martinez, I. Candel-Torres. Barcelona : IATED Academy, 2014, s. 1941-1949 ; Seria: EDULEARN Proceedings, 2340-1117. (Web of Science Core Collection).
- Błażek M., **Janowski A.**, Kaźmierczak M., Przyborski M., Szulwic J. 2014. Web-cam as a means of information about emotional attempt of students in the process of distant learning. Proceedings of ICERI2014 Conference 17th-19th November 2014, Seville, Spain. ISBN: 978-84-617-2484-0

Dostosowanie rozwoju wiedzy geoinformacyjnej do coraz większej rzeszy codziennych jej użytkowników uwidacznia się we współczesnym świecie. Szczególnie dostrzegalne jest to w przypadku zagadnień nawigacyjnych. Nauka, w której określenie położenia oraz optymalnej z punktu widzenia kosztu czy bezpieczeństwa drogi poruszania się są najistotniejszymi elementami, staje się narzędziem masowego odbiorcy współczesnych technologii. Stąd stała dbałość i stymulacja w poszukiwaniu metod zwiększania jej niezawodności, dokładności oraz rozszerzanie dostępności. Potwierdzają to też publikacje autora Autoreferatu, ukazujące propozycje rozwiązań czy ich ulepszenia w odniesieniu do kluczowych zagadnień nawigacyjnych. Autor podejmował też próby oceny procesu nawigacyjnego w zależności od uwarunkowań terenowych, czasowych czy posiadanej infrastruktury pomiarowej:

- Burdziakowski P., **Janowski A.**, Przyborski M., Szulwic J. 2016. A modern approach to an unmanned vehicle navigation. 16th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2016 : Informatics, Geoinformatics and Remote Sensing : Conference proceedings, Book 2, Vol. 2. Albena : STEF92 Technology Ltd, 2016, s. 747-758 ; p-ISBN: 978-619-7105-59-9 (Web of Science Core Collection)
- **Janowski A.**, Bednarczyk M. 2016. Considerations on indoor navigation based on cheap mobile devices. Baltic Geodetic Congress. 2016, s. 78-84 ; Baltic Geodetic Congress ; Association of Polish Surveyors in Gdansk, Gdansk University of Technology -

Department of Geodesy and IEEE. p-ISBN: 978-1-5090-2421-6 (Web of Science Core Collection)

- **Janowski A.**, Nowak A., Przyborski M., Szulwic J. 2014. Mobile indicators in GIS and GPS positioning accuracy in cities. Rough Sets and Intelligent Systems Paradigms : Second International Conference, RSEISP 2014, Granada and Madrid, Spain, July 9-13, 2014. Proceedings / Editors: Kryszkiewicz, M., Cornelis, C., Ciucci, D., Medina-Moreno, J., Motoda, H., Raś, Z. Berlin : Springer-Verlag, 2014, s. 309-318 ; seria: Lecture Notes in Artificial Intelligence, 0302-9743 ; vol. 8537, 2nd International Conference on Rough Sets and Emerging Intelligent Systems Paradigms ; (Web of Science Core Collection)
- **Janowski A.**, Szulwic J. 2014. Indykatory mobilne GIS w analizie ruchu miejskiego. (Mobile GIS transport indicators used to monitor urban traffic). Logistyka. 2014 (3), s. 2531-2538 ; p-ISSN: 1231-5478

Fotogrametria jest nauką, która utrzymuje swoją aktualność i „atrakcyjność” aplikacyjną w rozwiązaniach geodezji inżynierskiej, dzięki ciągłemu podążaniu z duchem nowoczesnych rozwiązań technologicznych. Utrzymuje tym samym podobny rozwój zarówno co do szybkości, efektywności jak i dokładności realizowanych pomiarów co klasyczne metody bezpośredniego pomiaru obiektów czy zjawisk przestrzennych. Zdalna obserwacja i natychmiastowa akwizycja obserwacji wymaga zaawansowanego procesu obliczeniowego w tzw. postprocessingu co przy rosnącym zapotrzebowaniu na opracowania fotogrametryczne i teledetekcyjne potrzebuje doskonalenia klasycznych algorytmów przetwarzania danych obrazów tak zarówno pod względem wydajnościowym jak i precyzyjności ekstrakcji danych. Artykułami zajmującymi się tą tematyką są między innymi:

- **Janowski A.**, Nagrodzka-Godycka K., Szulwic J., Ziółkowski A. 2016. Remote sensing and photogrammetry techniques in diagnostics of concrete structure. Computers and Concrete. 2016, 18 (3), s. 405-420; p-ISSN: 1598-8198. DOI: 10.12989/cac.2016.18.3.000 (**Lista A**)
- **Barbasiewicz A.**, Bobkowska K., Bujala P., **Janowski A.**, Przyborski M. 2016. A proposal for one-image photogrammetry system for measuring the clearance distance. Case study. 16th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2016 : Informatics, Geoinformatics and Remote Sensing : Conference proceedings, Book 2, Vol. 2. Albena : STEF92 Technology Ltd, 2016, s. 775-782 ; International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM, 1314-2704. p-ISBN: 978-619-7105-59-9 (Web of Science Core Collection)
- **Janowski A.**, Jasionowska A., Karpińska D., Szulwic J., Ziółkowski P. 2016. Synchro-photogrammetry in the measurement of objects in motion - the case study. 16th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2016 : Informatics, Geoinformatics and Remote Sensing : Conference proceedings, Book 2, Vol. 2. Albena : STEF92 Technology Ltd, 2016, s. 1011-1018 ; (Web of Science Core Collection)
- **Janowski A.**, Szulwic J. 2014. Synchronic digital stereophotography and photogrammetric analyses in monitoring the flow of liquids in open channels. 9th International Conference Environmental Engineering (9th ICEE) - Selected papers / edited by Donatas Cygas, Tomaz Tollazzi. Vilnius : Vilnius Gediminas Technical University Press Technika, 2014, [8 s.] ; Proceedings paper. Environmental Engineering, 2029-7092. (Web of Science Core Collection).
- **Janowski A.**, Nagrodzka-Godycka K., Szulwic J., Ziółkowski P. 2014. Teledetekcyjne badanie konstrukcyjnych elementów żelbetowych z użyciem naziemnego skaningu laserowego. (Remote sensing study of structural reinforced concrete elements with the use of terrestrial laser scanning). Logistyka. 2014 (6), s. 4822-4829 ; ISSN: 1231-5478

- **Janowski, A.** Sawicki, P. Szulwic J, 2006. Koncepcja bazy danych fotogrametrycznych bliskiego zasięgu. Roczniki Geomatyki. T. 4, z. 3 str. 103-108
- **Janowski, A.** Sawicki, P. Szulwic, J. 2006. Metoda wizualizacji 3D w standardzie OpenGL obiektów bliskiego zasięgu. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji. Vol. 16 str. 239-247
- **Janowski, A.** Sawicki, P. Szulwic, J. 2006. Baza danych fotogrametrycznych bliskiego zasięgu jako aplikacja sieciowa. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji. Vol. 16 str 227-237
- **Janowski, A.** , Sawicki, P. , Szulwic, J. 2004.. Wizualizacja 3D w standardzie OpenGL obiektu architektonicznego na podstawie danych fotogrametrycznych. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji Vol. 14 str 1-6
- **Janowski, A.**, Paszotta, Z., Szulwic, J. 2004. Podstawy technologiczne systemu internetowych pomiarów obrazów fotogrametrycznych . Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji. Vol. 14 .str. 1--10
- **Janowski A.**, Nagrodzka-Godycka K., Szulwic J., Ziółkowski P. 2014. Modes of Failure Analysis in Reinforced Concrete Beam Using Laser Scanning and Synchro-Photogrammetry. How to apply optical technologies in the diagnosis of reinforced concrete elements? 2014 Proceedings of the International Conference on Advances in Civil, Structural and Environmental Engineering / Ed. Rakesh Kumar. New York : Institute of Research Engineers and Doctors, 2014, s. 16-20.

Jako podsumowanie prowadzonych i udokumentowanych badań (załącznik nr 3) możliwym jest wskazanie ich utylitarne znaczenia w postaci licznych realizacji i wdrożeń komercyjnych, które zarówno stymulowały poszukiwanie adekwatnych do postawionych problemów rozwiązań jak i też sama wiedza autora dawała często możliwość bezpośredniej realizacji stawianego przed nim problemu (przez użytkowników zarówno sfery naukowej jak i produkcyjnej) geodezji inżynierskiej.

6. Bibliografia

- Akkiraju N., Edelsbrunner H., Facello M., P. Fu, Mucke E. P., and Varela C., "Alpha shapes definition and softwar," in Internat.Comput. Geom. Software Workshop 1995, 1995.).
- Argialas, D., & Campus, Z. (2000). Comparison of edge detection and hough transform techniques for the extraction of geologic features. Image Rochester NY, 34(XXX), 790–795.
- Axelsson, P. 2000. "DEM Generation from Laser Scanner Data Using Adaptive TIN Models." International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing 35 (Part B4/1): 236–241.
- Axelsson, P. 1999. "Processing of Laser Scanner Data – Algorithms and Applications." ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 54 (2–3): 138–147. doi:10.1016/S0924-2716(99)00008-8
- Barber D., Mills J., Smith-Voysey S.. Geometric validation of a ground-based mobile laser scanning system ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 63 (1), 128 (2008)
- Barnes, J. O. E. L., et al. "A positioning technology for classically difficult GNSS environments from Locata." Position, Location, And Navigation Symposium, 2006 IEEE/ION. IEEE, 2006.
- Błaszczak-Bąk, W., A. Janowski, W. Kamiński, and J. Rapiński. 2011. "Optimization Algorithm and Filtration Using the Adaptive TIN Model at the Stage of Initial Processing of the ALS Point Cloud." Canadian Journal of Remote Sensing 37 (6): 583–589. doi:10.5589/m12-001.

- Cao T., Xiao A., Wu L., Mao L.. Automatic fracture detection based on Terrestrial Laser Scanning data: A new method and case study *Computers & Geosciences* 106, 209 (2017)
- David i in. 2005. *Hand David, Mannila Heikki, Smyth Padhraic, Eksploracja danych*, WNT, Warszawa 2005, ISBN 83-204-3053-4,
- Duchnowski R., Wiśniowski Z. Msplit and MP estimation. A wider range of robustness, Conference: the 10th International Conference "Environmental Engineering". Conference will be held in Vilnius, Lithuania, 27–28 April 2017.
- Elmqvist, M. 2002. "Ground Surface Estimation from Airborne Laser Scanner Data Using Active Shape Models." In *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Commission III, September 9–13, Vol. 34*, 114–118. Graz: ISPRS.
- Felski A., et al. "Tendencje rozwoju systemów wspomaganie pilota morskiego." *Logistyka* 6 (2014): 3544-3551.).
- Gharghan, S.K., Rosdiadee, N., Mahamod,I., "A Wireless Sensor Network with Soft Computing Localization Techniques for Track Cycling Applications." *Sensors* 16.8 (2016): 1043.)
- Gotlib, D., et al. "Numeryczny model terenu–podstawy budowy i wykorzystanie." (2007).
- Hejmanowska, Beata, Natalia Borowiec, and Monika Badurska. "Przetwarzanie lotniczych danych lidarowych dla potrzeb generowania NMT i NMPT." *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji* 18 (2008): 151-161.
- Janowski, A., et al., *Mobile indicators in GIS and GPS positioning accuracy in cities.*>> *International Conference on Rough Sets and Intelligent Systems Paradigms*. Springer International Publishing, 2014.),
- Janowski A., Szulwic J., Żuk M.. 3D modelling of liquid fuels base infrastructure for the purpose of visualization and geometrical analysis. *SGEM2015 Conference Proceedings* 1, 753 (2015)
- Kass, M., A. Witkin, and D. Terzopoulos. 1988. "Snakes: Active Contour Models." *International Journal of Computer Vision* 1: 321–331. doi:10.1007/BF00133570.
- Kaur, J.P.,Kaur,R., Mann,G.P., „Performance Analysis of ZigBee Mesh Networks Under Nodes Failure.” *Proceedings of the International Conference on Recent Cognizance in Wireless Communication & Image Processing*. Springer India, 2016..
- Kobryń A. 2014. *Wielokryterialne wspomaganie decyzji w gospodarowaniu przestrzenią*. Wyd. Difin, Warszawa,
- Kraus, K., and N. Pfeifer. 1998. "Determination of Terrain Models in Wooded Areas with Airborne Laser Scanner Data." *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 53: 193–203. doi:10.1016/S0924-2716(98)00009-4.
- Larose D. T., *Odkrywanie wiedzy z danych*, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa 2006, ISBN 83-01-14836-5,
- Morzy T., 2007. *Eksploracja danych* NAUKA 3/2007 str. 83-104,
- Matheron, G. (1960) "Krigeage d'un Panneau Rectangulaire par sa Périphérie", *Note Géostatistique* No 28.
- Meng, X., N. Currit, and K. Zhao. 2010. "Ground Filtering Algorithms for Airborne Lidar Data: A Review of Critical Issues." *Remote Sensing* 2 (3): 833–860. doi:10.3390/rs2030833,
- Nowak, A., „Dynamic GNSS Mission Planning Using DTM for Precise Navigation of Autonomous Vehicles." *The Journal of Navigation* (2016): 1-22).
- Polkowski L. 2010. *Reductive Reasoning Rough and Fuzzy Sets as Frameworks for Reductive Reasoning. Approximate reasoning by parts: an introduction to rough mereology*. Book Series: *Intelligent Systems Reference Library*, Vol. 20, Pages: 145-190,

- Rapiński, Cellmer, Analysis of Range Based Indoor Positioning Techniques for Personal Communication Networks, Mobile Networks and Applications, DOI: 10.1007/s11036-015-0646-8, 2016,
- Roggero, M. 2002. "Object Segmentation with Region Growing and Principal Component Analysis." *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing* 34 (Part 3A): 289–294.
- Rzepecka, Zofia, Alojzy Wasilewski, and Sławomir Cellmer. "Integration of GPS and Pseudolites—Effect on the Positioning Accuracy." *Technical Science, Olsztyn* (49-64) (2005).
- Rzepecka, Z., Wasilewski, A., Cellmer, S., & Rapiński, J. Integration of GPS and Pseudolites—Effect on Height Determination Accuracy. In *FIG Symposium on Deformation Measurements, Baden, Austria*, (2006)
- Rzepecka, Z., & Wasilewski, A. Wpływ dołączenia pseudosatelity na wyznaczenia GPS w warunkach zasłon sfery niebieskiej. *Geomatics and Environmental Engineering*, 1(1/1), 177-189, (2007)
- Sithole, G. 2005. "Segmentation and classification of airborne laser scanner data." PhD thesis, TU Delft.
- Schut, G. H. 1976. "Review of Interpolation Methods for Digital Terrain Models." Paper Presented at the XIIth Congress of the International Society for Photogrammetry 40 (5): 389–412
- Tóvári, D., and N. Pfeifer. 2005. "Segmentation Based Robust Interpolation – A New Approach to Laser Data Filtering." *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 36 (Part 3/W19): 79–84.
- Wang C., Hsu P. Adaptive building edge detection by combining LiDAR data and aerial images . *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 12(4), 365 (2007)
- Wiśniewski Z.. Estimation of Parameters in a Split Functional Model of Geodetic Observations (M_{split} Estimation). *Journal of Geodesy* 83, 105 (2009) 18. Z. Wiśniewski. Msplit(Q) Estimation: Estimation of Parameters in a Multisplit Functional Model of Geodetic Observations. *Journal of Geodesy* 84, 355 (2010)).
- Vosselman, G., and H. Maas. 2001. "Adjustment and Filtering of Raw Laser Altimetry Data." In Paper presented at OEEPE Workshop on Airborne Laser Scanning and Interferometric SAR for Detailed Digital Elevation Models, Publication No. 40 (CD-ROM), 62–72. Stockholm: OEEPEZhang et al. 2002),
- Xiong X., Adan A., Akinci B., and Huber D., "Automatic creation of semantically rich 3D building models from laser scanner data," *Autom. Constr.*, vol. 31, pp. 325–337, 2013.
- Yong, L. I., & Huayi, W. U. (2007). Adaptive building edge detection by combining LiDAR data and aerial images. *International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Science*, 37(part B1), 197–202.
- Yunlong,T.,Wang,J., "Some remarks on PDOP and TDOP for multi-GNSS constellations." *Journal of Navigation* 69.01 (2016): 145-155,
- Zavadskas E. and Turskis Z. 2011. Multiple criteria decision making (MCDM) methods in economics: an overview, *Technological and economic development of economy*, Volume: 17 Issue: 2 Pages: 397-427,
- Zheng J., Mccarthy J., T., Fotheringham A. S., Yan L.. Linear feature extraction of buildings from terrestrial lidar data with morphological techniques. *International Archives of the Photogrammetry Remote* 37(B), 241 (2008)
- Zhang, K., S. Chen, D. Whitman, M.-L. Shyu, J. Yan, and C. Zhang. 2003. "A Progressive Morphological Filter for Removing Nonground Measurements from Airborne Lidar Data." *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 41 (4): 872–882. doi:10.1109/TGRS.2003.810682.

7. Podsumowanie dorobku i osiągnięć naukowych, popularyzatorskich, organizacyjnych i dydaktycznych

Poniżej przedstawiono wybrane wskaźniki dotyczące osiągnięć naukowych, popularyzatorskich, organizacyjnych i dydaktycznych. Szczegółowy wykaz osiągnięć przedstawia Załącznik nr 3.

Tabela 6. Zestawienie wskaźników dotyczących osiągnięć naukowo-badawczych.

L.p.	Wskaźnik	Wartość
1	Autorstwo lub współautorstwo publikacji naukowych w czasopismach znajdujących się w wykazie Ministerstwa i bazie Journal Citation Reports (JCR)	11
2	Autorstwo lub współautorstwo monografii, publikacji naukowych w czasopismach międzynarodowych lub krajowych:	4
	• Rozdziały w monografii	19
	• Publikacje naukowe w czasopismach nieposiadających współczynnika wpływu Impact Factor	27
3	• Publikacje w materiałach z konferencji międzynarodowych uwzględnionych w uznanej bazie publikacji o zasięgu międzynarodowym (WoS)	4,55
3	Sumaryczny Impact Factor publikacji naukowych tworzących monotematyczny cykl według listy Journal Citation Reports (JCR), zgodnie z rokiem opublikowania	9,81
4	Sumaryczny Impact Factor wszystkich publikacji naukowych według listy Journal Citation Reports (JCR), zgodnie z rokiem opublikowania	319
5	Liczba cytowań według bazy Web of Science	11
6	Indeks Hirscha według bazy Web of Science	432
7	Liczba cytowań według Publish or Perish	11
8	Indeks Hirscha według Publish or Perish	100
9	Liczba punktów publikacji tworzących monotematyczny cykl zgodnie z rokiem opublikowania	746
10	Liczba punktów wszystkich publikacji zgodnie z rokiem opublikowania	8
11	Kierowanie międzynarodowymi i krajowymi projektami badawczymi oraz udział w takich projektach	11
12	Autorstwo lub współautorstwo odpowiednio dla danego obszaru opracowań zbiorowych, katalogów zbiorów, dokumentacji prac badawczych, ekspertyz, utworów i dzieł artystycznych	2
13	Międzynarodowe i krajowe nagrody za działalność naukową	

Tabela 7. Zestawienie wskaźników dotyczących dorobku dydaktycznego i popularyzatorskiego oraz współpracy krajowej i międzynarodowej, uzyskanego po otrzymaniu stopnia doktora.

L.p.	Wskaźnik	Wartość
1	Udział w komitetach organizacyjnych międzynarodowych i krajowych konferencji naukowych	3
2	Otrzymane nagrody i wyróżnienia inne niż naukowe	2

3	Udział w konsorcjach i sieciach badawczych	4
4	Kierowanie lub udział w projektach realizowanych we współpracy z naukowcami z innych ośrodków polskich i zagranicznych oraz we współpracy z przedsiębiorcami, innymi niż wymienione w tabeli 6	13
5	Udział w komitetach redakcyjnych i radach naukowych czasopism	1
6	Członkostwo w międzynarodowych i krajowych organizacjach oraz towarzystwach naukowych	6
7	Osiągnięcia dydaktyczne i w zakresie popularyzacji nauki lub sztuki (Opiekun naukowy i merytoryczny 5 studentów w ramach indywidualnego programu studiów powołany przez Dziekana WILiŚ PG od 2018)	1
8	Opieka naukowa nad doktorantami w charakterze opiekuna naukowego lub promotora pomocniczego	1
9	Wykonane wdrożenia na zamówienie	13
10	Recenzowanie publikacji w czasopismach międzynarodowych i krajowych: Czasopisma z IF Czasopisma bez IF Monografie i rozdziały w monografiach Materiały konferencyjne (WoS) Pozostałe materiały konferencyjne	5 30
11	Prowadzenie sesji podczas międzynarodowych i krajowych konferencji naukowych	2
12	Krajowe i zagraniczne staże naukowe	3
13	Promotor prac dyplomowych: magisterskich i inżynierskich	40

Artur Jonowski