

KHOLODKOV Artem<sup>1</sup>  
MATYSIK Krzysztof<sup>1</sup>  
MATYSIK Maciej<sup>1</sup>  
SZULWIC Jakub<sup>2</sup>  
TYSIĄC Paweł<sup>1,2</sup>  
WOJTOWICZ Aleksander<sup>1,2</sup>

## Morski skaning laserowy infrastruktury portowej na przykładzie portu we Władysławowie

### WSTĘP

Infrastruktura portowa i jej inwentaryzacja jest jednym z ważniejszych elementów w zakresie logistyki i magazynowania. Możliwość pozyskania szybkiej informacji geoprzestrzennej i obrazowej o porcie i sąsiadujących z nim wybrzeży ma znaczenie także dla bezpieczeństwa. Wykorzystanie w tym procesie skaningu laserowego, a w tym przypadku skaningu morskiego (MLS, ang. *Marine Laser Scanning*) daje dodatkowe możliwości umożliwiające weryfikację i uzupełnienie informacji.

Wykorzystywany jest do wydajnego, szybkiego i w dużej mierze kompleksowego pozyskania danych wysokiej jakości w rozumieniu oczekiwanej dokładności. Dane pozyskane ze skaningu mogą być łączone z wynikami pomiarów pozyskiwanymi w innych technologiach pomiarowych (pomiaru batymetryczne, obrazowania fotogrametryczne, analizy środowiskowe) i poprzez odniesienie do jednorodnego systemu odniesień przestrzennych w sposób kompleksowy mogą zasilać systemy informacyjne (w tym systemy informacji przestrzennej) wykorzystywane w transporcie morskim i nautyce.

Skaning laserowy może być doskonałym dodatkiem do stosowanych dotychczas w środowisku nawigatorów morskich czy pilotów map elektronicznych (ang. *Electronic Nautical Charts* – jednostki pływające; ang. *Flight Management System – Navigation Display* – statki powietrzne). W odpowiednio przetworzonej formie dane ze skaningu laserowego (pozyskane z mobilnych platform lądowych, lotniczych i morskich), mogła być podstawą do stworzenia wysoce wiarygodnej rozszerzonej rzeczywistości (ang. *Augmented Reality*), ułatwiającej osobom odpowiedzialnym za sterowanie jednostkami, poruszanie się w warunkach pogorszonej widoczności, w nocy czy jakichkolwiek innych sytuacjach, w których standardowy znacznik odnoszący się do pozycji ich jednostki pływającej na elektronicznej mapie mógłby nie być wystarczający.

W celu przetestowania technologii skaningu mobilnego z jednostki pływającej, zarówno w warunkach portowych (port morski we Władysławowie), jak i strefie przybrzeżnej (fragment wybrzeża od portu we Władysławowie do Jastrzębiej Góry), Zakład Usług Inżynierskich Apeks Sp. z o.o. w Gdańsku, we współpracy z Urzędem Morskim (UM) w Gdyni, a także zespołem z Katedry Geodezji Wydziału Inżynierii Lądowej i Środowiska Politechniki Gdańskiej, przeprowadził pomiar z wykorzystaniem systemu VMZ-400 firmy Riegl. Platformą dla systemu był użyczony, dzięki uprzejmości UM w Gdyni, statek K/H Tucana.

Pomiar wykonany wspólnie z UM w Gdyni odbył się dnia 22 sierpnia 2014 roku. Rozpoczęcie prac zaplanowano po godz. 10:00. Czas skanowania brzegu wraz z pomiarem basenu portowego i drogą powrotną zajął około trzech godzin.

Przedstawione opracowanie dotyczy części pomiarów, tj. prac związanych z inwentaryzacją portu we Władysławowie.

<sup>1</sup> ZUI Apeks Sp. z o.o., ul. Jaśkowa Dolina 81, 80-286 Gdańsk, tel. 58 340 10 00, e-mail m.matysik@apeks.com.pl, a.wojtowicz@apeks.com.pl, tysiacy.pawel@gmail.com

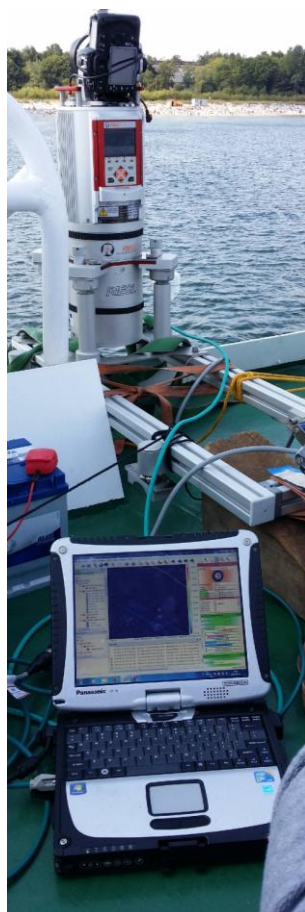
<sup>2</sup> Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Katedra Geodezji, ul. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk, tel. 58 347 10 12, e-mail szulwic@pg.gda.pl

## 1 DOBÓR SYSTEMU POMIAROWEGO

U założenia metody pomiarowej było wykorzystanie dostępnego dla zespołu testującego systemu skanowania mobilnego, który wcześniej i standardowo był już wykorzystywany przez autorów w skaningu z platformy samochodowej i lotniczej [20].



Rys. 1. Widok na port we Władysławowie od strony Bałtyku.



Rys. 2. Zestaw pomiarowy: skaner VZ-400 z osprzętem podczas pracy na Morzu Bałtyckim.

### 1.1 Platforma nośna

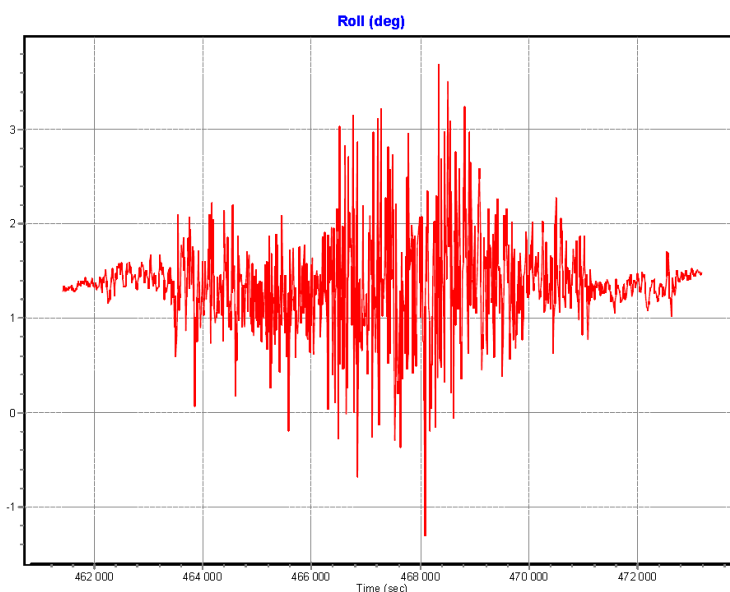
Wykorzystana jako platforma nośna systemu obrazującego jednostka K/H Tucana, sklasyfikowana w Polskim Rejestrze Statków jako stawiacz pław o długości całkowitej 21,87 m, szerokości 5,70 m, zanurzeniu 1,75 m i wyporności maksymalnej 80 GT (ang. *Gross Tonnage*), charakteryzuje się dużą statecznością wzdłużną i poprzeczną. Ma to niebagatelny wpływ na stabilność pomiaru, jednorodność otrzymanej “chmury punktów” (ang. *cloud point*), jak i późniejsze wyrównanie trajektorii ruchu skanera. Parametrem, który jako jedyny wpłynął negatywnie na warunki pomiaru, było zanurzenie jednostki. W związku z łagodnie opadającym w tym obszarze dnem morskim, licznymi sieciami



rybackimi zastawianymi w rejonie Chłapowa, a także lokalnie występującymi wypłyceńiami, ze względów bezpieczeństwa, kapitan jednostki zdecydował się zachować odległość od brzegu na poziomie 350 do 500 metrów. Obostrzenia te nie obowiązywały w rejonie Portu Władysławowo; ani w basenie portowym, ani na torze podejścia. Dzięki wysokiej manewrowości jednostki oraz doświadczeniu kapitana możliwe było wpłynięcie pomiędzy wszystkie nabrzeża i pirsy.

Rozwiązanie usytuowania skanera zostało wybrane ze względu na wysokość górnego pokładu nad lustrem wody uwzględniając fakt, iż skaner nie jest odporny na działanie wody słonej. Atutem była lepsza geometria pomiarów przy pozyskiwaniu poziomych elementów nabrzeża, ale zwiększał się wpływ kołysania jednostki pływającej na położenie skanera (rysunek 1 i 2).

Stanowisko platformy montażowej skanera umiejscowione było na górnym pokładzie, na lewej burcie, tuż przed zrzutnią tratwy ratunkowej. Platforma została przymocowana na sztywno do dostępnych, stałych punktów pokładu. Sposób zamocowania oraz charakterystyczna budowa górnego pokładu wymusiły stałe nachylenie wokół osi poprzecznej i podłużnej jednostki pływającej (ang. *pitch, roll*) [1,3,15,16,18], co przedstawione zostało na rysunku 3 dla wartości *roll*.



Rys. 3. Zmiana wartości parametru *roll* w czasie trwania pomiarów.

## 1.2 Skaner

Do pozyskania skanu infrastruktury wykorzystany został system do skanowania mobilnego VMZ-400 firmy Riegl GmbH. Oparty jest on o konstrukcję z profili aluminiowych z wyraźnym, wysuniętym do przodu punktem mocowania anteny GNSS (ang. *Global Navigation Satellite System*). System składa się z opracowanego pierwotnie do celów skaningu stacjonarnego, niezawodnego skanera VZ-400 oraz wieloczęstotliwościowego i wielosystemowego odbiornika GNSS sprzężonego z jednostką IMU (ang. *Inertial Measurement Unit*), która odpowiada za precyzyjne wyznaczenie ruchu platformy. Dzięki zewnętrznemu zasilaniu z akumulatora 12V o wysokiej pojemności, kilkugodzinne sesje pomiarowe nie stanowią większego problemu w szerokim zakresie parametrów skanowania i umiarkowanych warunków atmosferycznych. Firma ZUI Apeks pełniła rolę jednego z kilku *Launch Customer* tego systemu w skali świata, a doświadczenie to przydało się w czasie planowania skaningu morskiego. Skaner VMZ-400 jest urządzeniem dosyć często testowanym w rozwiązaniach mobilnych [2,4,6,7], a także z rzek lub kanałów [9,17], aczkolwiek skanowanie z otwartego morza jest nadal rozwiązaniem innowacyjnym i problematycznym.

Skaner VZ-400/VMZ-400 jest zdolny operować w dowolnym pochyleniu, co czyni go użytecznym w trudnych lub nietypowych warunkach takich jak chociażby warunki morskie. Proces skanowania może odbywać się w jednym z dwóch wybranych trybów *Long Range (LR)* oraz *High Speed (HS)*. Różnią się one maksymalnym zasięgiem oraz co za tym idzie szybkością pomiaru punktów. Program *LR* rejestruje do 42 tys. pkt/s do maksymalnej odległości 600 m w przypadku uzyskania odbicia



wiązki lasera na poziomie 90%. Program *HS* pozwala natomiast na rejestrację z prędkością 122 tys. pkt/s, przy czym zasięg maksymalny spada do 350 m. Są to oczywiście wartości występujące przy skanowaniu w warunkach optymalnej wilgotności, temperatury i ciśnienia przy widzialności ok. 20 km.

### 1.3 Warunki hydrometeorologiczne

Warunki meteorologiczne odgrywają bardzo ważną rolę w przypadku skaningu laserowego. W przypadku wykorzystania systemu mobilnego na morzu, należy się także liczyć z wpływami środowiska morskiego. Te można podzielić na dwie umowne podgrupy: czynniki modyfikujące warunki meteorologiczne oraz czynniki wpływające na zachowanie się w skanera w przestrzeni (kinematyka i dynamika bryły sztywnej). Jeśli chodzi o modyfikację warunków meteorologicznych, należy zwrócić uwagę na podwyższoną wilgotność, a co za tym idzie nie tylko zmianę poprawki atmosferycznej, ale także wykorzystanie sprzętu pomiarowego, który ma podwyższony stopień odporności na wilgoć. W przypadku VZ-400 nie ma takiego problemu ze względu na stopień ochrony IP64, czyli całkowita ochrona przed wnikaniem pyłu i ochrona przed kroplami padającymi pod dowolnym kątem, ze wszystkich stron; aczkolwiek – jak wspomniano – nie jest on odporny na wodę słoną, przez co konieczne było odsunięcie urządzenia od powierzchni morza. Pozostałymi dwoma czynnikami są temperatura i ciśnienie atmosferyczne. W kontekście temperatury trzeba brać pod uwagę głównie różnice temperatury na drodze przebiegu wiązki lasera; podobnie w odniesieniu do ciśnienia atmosferycznego.

Dodatkowym czynnikiem, choć często pomijanym w przypadku skanowania laserowego, a tak często brany pod uwagę w przypadku klasycznych pomiarów geodezyjnych jest nasłonecznienie. Bardziej wiarygodne, ujednoczone warunki otrzymamy w przypadku skanowania z całkowitym zachmurzeniem lub w nocy niż w przypadku pełnego nasłonecznienia.

Druga podgrupa czynników odnosi się głównie do dwóch parametrów fali: jej okresu, długości i wysokości. Celowo należy pominąć taki parametr jak stromość fali, z takiej racji, że pomiar przestaje mieć sens powyżej pewnego stwierdzonego z zapasem rozsądku stanu morza. Kierując się wyłącznie kryterium wysokości fali, przedział od 0,5 m do 1,25 m powinien być zakresem maksymalnym, co odpowiada stanowi morza 3.

Mając natomiast na uwadze jakość pomiaru, jego gęstość, równomierne rozłożenie punktów (więcej kryteria podobne jak przy skaningu lotniczym), należy odnieść się do tych parametrów, które utrudniają spokojny jednostajny ruch jednostki po wodzie – im fala niższa i dłuższa tym kołysanie kadłuba, przenoszące się na sztywno zamocowaną platformę ze skanerem jest mniejsze. Występowanie fali krótkiej, szarpiającej kadłub, należy wiązać z tym, że w obszarze opracowania powstaną pasy, gdzie w momencie chwilowego spowolnienia ruchu postępowego będziemy mieli większą gęstość, natomiast tam gdzie ruch fali ponownie przyspieszy jednostkę pływającą, gęstość punktów będzie znacznie mniejsza.

Posiłkując się danymi meteorologicznymi, zdjęciami wykonanymi w czasie pomiaru oraz obserwacjami własnymi, warunki pogodowe na tamten czas można opisać następująco: temperatura na czas pomiaru podniosła się stopniowo z 10°C do około 20°C i utrzymała się do końca jego trwania, temperatura wody utrzymywała się na stałym poziomie ok. 18°C. W związku z podwyższeniem się temperatury znacznie spadła wilgotność powietrza do poziomu 60-65% wilgotności względnej. Prędkość wiatru ustabilizowała się na poziomie 2 m/s (3,88 węzła) w porywach do 10 m/s. Wysokość fali była stała i wynosiła 80-100cm, natomiast okres fali oscylował w granicach 5 s. Zachmurzenie zmienne od 1/8 do 3/8 pod koniec trwania pomiaru nie miało wpływu na warunki skanowania. Bez znaczenia w tym przypadku była średnia wysokość morza, wyższa od średniego poziomu o ok. 30-35 cm.

## 2 RELIAZACJA EKSPERYMENTU POMIAROWEGO

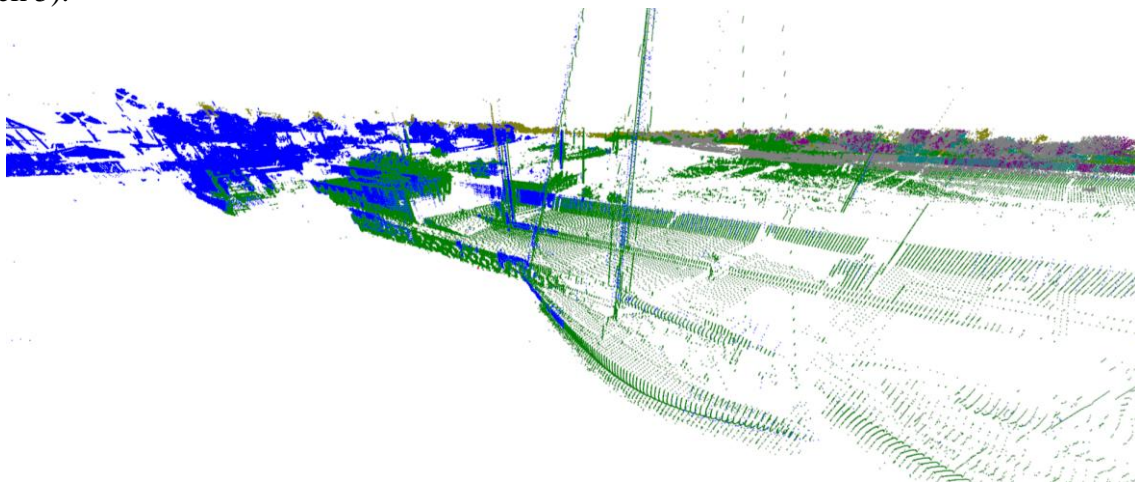
Po inicjalizacji parametrów systemu IMU/GNSS oraz skanera przystąpiono do rejestracji danych na komputerze przenośnym (o zwiększonej odporności na warunki atmosferyczne), który był jedną z części segmentu użytkownika, kontrolującego pracę skanera hybrydowego. Mimo dobrych



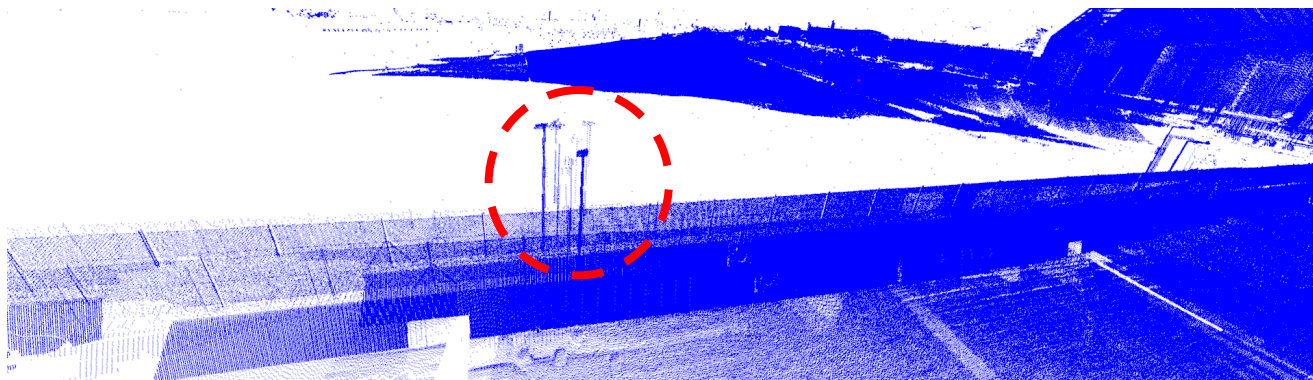
warunków geometrycznych satelitów GNSS, pojawiły się błędy pomiaru kąta *yaw* (wokół osi Z, prostopadłej do płaszczyzny pokładu jednostki pływającej) ze względu na brak jego stabilności. Stabilność tą można uzyskać wyłącznie poprzez tzw. *dynamic alignment*. W skanowaniu mobilnym polega on na naprzemiennym przyspieszaniu i zwalnianiu oraz gwałtownych zmianach kierunku ruchu. O ile jest to łatwo osiągalne w warunkach ruchu drogowego, o tyle w przypadku ruchu systemu skanującego na wodzie metoda ta nie może być wykorzystana w zadowalający sposób. Mała prędkość jednostki, która w jednym przypadku była wadą, stawała się także zaletą w rozumieniu gęstości rejestrowanych punktów. Do pozyskania danych wykorzystano programy *LV POS view* oraz *RiAcquire*, dostarczonym przez firmę Riegl GmbH. W skanowaniu mobilnym przy użyciu skanera VZ-400 wykorzystuje się informację na temat ruchu samochodu – stwierdzając jego aktywność, dzięki urządzeniu DMI (ang. *Distance Measurement Indicator*). W przypadku skanowania z morza nie ma takiej możliwości, co uniemożliwia automatyzację wykrycia ruchu, istotną w przypadku wolnych manewrów portowych przy nieustabilizowanych parametrach IMU. Stąd morski skaning laserowy cechuje się dodatkowym wpływem błędów nieoznaczoności tego parametru. Można jednak liczyć, że rozwój technologii pozycjonowania będzie miał wpływ na eliminację tego zjawiska [1,15,18].

Rozpoznając ograniczenia wynikające ze znacznej odległości od brzegu, zespół pomiarowy w czasie pomiaru wybrzeża morskiego zdecydowała się na użycie programu *LR*, który pomimo pracy na granicy własnego zasięgu zapewnił wystarczającą liczbę punktów na jednostkę powierzchni, przez co uzyskano zadowalającą informację przestrzenną na temat skanowanego odcinka. W czasie skanowania falochronu i obszaru basenu portowego przywrócono standardowy program *HS* w celu dalszej optymalizacji pokrycia. Według producenta, skany pochodzące z różnych ścieżek, najlepiej dowiązać między sobą używając narzędzia *Riprecision*. Poprawne działanie, zapewniające pełne pokrycie skanów między sobą, uzyskuje się dzięki tzw. *radar mode*, w którym skaner obraca się według własnych osi, zbierając informację w sposób ciągły, na temat skanowanego obiektu, aż do momentu przerwania przez operatora. *Radar mode* jest także prostym sposobem na zagęszczenie “chmury punktów” podczas postoju, na zasadzie stanowiska *Stop n’ Go*. Ze względu na umieszczenie skanera oraz elementów stale zamontowanych na górnym pokładzie użycie wspomnianego programu rejestrującego dane było bezcelowe, dlatego zespół pomiarowy zrezygnował z tego typu zbierania informacji.

W celu pozyskania pełnej informacji przestrzennej na temat portu, kapitan jednostki pływającej wpływał między nabrzeża i pirsy, a następnie zawracał. Mimo zapewnienia kompletności zebranych danych, narodziły się pewne błędy. Podczas manewrów miała miejsce sytuacja, gdzie jeden obiekt został zeskanowany dwa razy w tym samym rekordzie zapisu. Nałożone błędy kątów wychylenia skanera, o których wspomniano powyżej, spowodowało niedopasowanie tego samego obiektu bez możliwości jego wyrównania (rysunek 4). Pojawiło się też zjawisko echa, które może występować w technologii skaningu mobilnego i lotniczego także przy pojedynczym skanowaniu (rysunek 5).




Rys. 4. Widok połączenia skanów z dwóch sesji skanowania



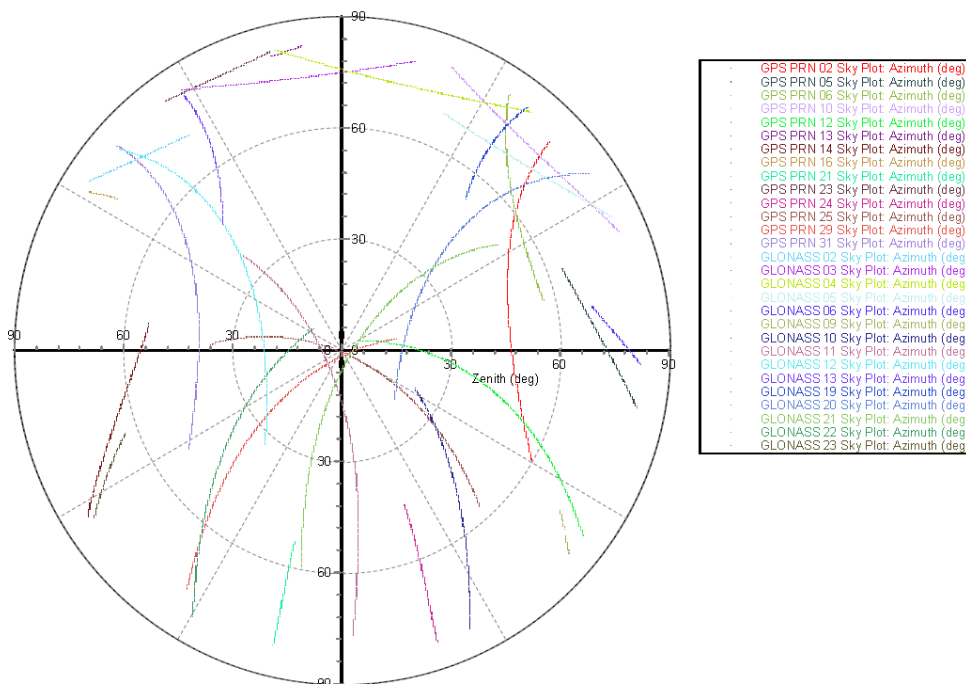
Rys. 5. Widok z pojedynczego skanu wraz z efektem echa na latarniach portowych

### 3 OPRACOWANIE I WYNIK SKANINGU

Post-processing, czyli opracowanie danych, jest standardową procedurą składającą się z wyrównania trajektorii ruchu skanera (rysunek 6) i przypisania do niej kolejnych rekordów skanu. W wyniku wyrównania wyłącznie z użyciem stacji referencyjnych ASG-EUPOS (aktywna sieć geodezyjna, podstawowa osnowa geodezyjna) spodziewana dokładność pozycjonowania jest submetrowa. W przypadku użycia punktów i płaszczyzn referencyjnych pomierzonych instrumentami geodezyjnymi i odbiornikami GNSS w oparciu o osnowę geodezyjną, a następnie dołączeniu ich do pomiarów, błędy rzędu 0,1-0,2 m dla pozycjonowania trajektorii są osiągalne. Atutem w pomiarach z morza jest otwarty horyzont, dzięki czemu uzyskujemy bardzo dobre współczynniki dla pomiarów GNSS i dużą liczbę satelitów wykorzystanych do pozycjonowania (rysunek 7).

 <b>RIEGL</b> <b>RiPRECISION Report</b> wladyslawowo																																															
Date/Time:	2014-11-15 10:50:50																																														
Software:	RiPROCESS 1.6.1, RiPRECISION 1.0.1 (4002)																																														
Project:	wladyslawowo																																														
Results:	<p>Adjustment:</p> <table border="1"> <tr> <td>Processing Mode:</td> <td>Mobile Laser Scanning</td> </tr> <tr> <td>Adjustment executed in:</td> <td>00:01:51</td> </tr> <tr> <td>Trajectory adjusted on:</td> <td>4.46 %</td> </tr> </table> <p>Trajectory: sbet_Mission 1_ok (1)</p> <p>Statistics of Position Corrections</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>abs mean [m]</th> <th>rms [m]</th> <th>max [m]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Along-Track:</td> <td>0.0268</td> <td>0.0534</td> <td>0.4024</td> </tr> <tr> <td>Cross-Track:</td> <td>0.0207</td> <td>0.0534</td> <td>0.4749</td> </tr> <tr> <td>Height:</td> <td>0.0109</td> <td>0.0174</td> <td>0.0876</td> </tr> <tr> <td><b>Total Positional Deviation:</b></td> <td><b>0.0424</b></td> <td><b>0.0775</b></td> <td><b>0.4864</b></td> </tr> </tbody> </table> <p>Statistics of Orientation Corrections</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>abs mean [deg]</th> <th>rms [deg]</th> <th>max [deg]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Roll Angle:</td> <td>0.00334</td> <td>0.01604</td> <td>0.16692</td> </tr> <tr> <td>Pitch Angle:</td> <td>0.00439</td> <td>0.01187</td> <td>0.07907</td> </tr> <tr> <td>Yaw Angle:</td> <td>0.14855</td> <td>0.35749</td> <td>2.79574</td> </tr> <tr> <td><b>Total Angular Deviation:</b></td> <td><b>0.14910</b></td> <td><b>0.35804</b></td> <td><b>2.80090</b></td> </tr> </tbody> </table>	Processing Mode:	Mobile Laser Scanning	Adjustment executed in:	00:01:51	Trajectory adjusted on:	4.46 %		abs mean [m]	rms [m]	max [m]	Along-Track:	0.0268	0.0534	0.4024	Cross-Track:	0.0207	0.0534	0.4749	Height:	0.0109	0.0174	0.0876	<b>Total Positional Deviation:</b>	<b>0.0424</b>	<b>0.0775</b>	<b>0.4864</b>		abs mean [deg]	rms [deg]	max [deg]	Roll Angle:	0.00334	0.01604	0.16692	Pitch Angle:	0.00439	0.01187	0.07907	Yaw Angle:	0.14855	0.35749	2.79574	<b>Total Angular Deviation:</b>	<b>0.14910</b>	<b>0.35804</b>	<b>2.80090</b>
Processing Mode:	Mobile Laser Scanning																																														
Adjustment executed in:	00:01:51																																														
Trajectory adjusted on:	4.46 %																																														
	abs mean [m]	rms [m]	max [m]																																												
Along-Track:	0.0268	0.0534	0.4024																																												
Cross-Track:	0.0207	0.0534	0.4749																																												
Height:	0.0109	0.0174	0.0876																																												
<b>Total Positional Deviation:</b>	<b>0.0424</b>	<b>0.0775</b>	<b>0.4864</b>																																												
	abs mean [deg]	rms [deg]	max [deg]																																												
Roll Angle:	0.00334	0.01604	0.16692																																												
Pitch Angle:	0.00439	0.01187	0.07907																																												
Yaw Angle:	0.14855	0.35749	2.79574																																												
<b>Total Angular Deviation:</b>	<b>0.14910</b>	<b>0.35804</b>	<b>2.80090</b>																																												

Rys. 6. Fragment z raportu wyrównania trajektorii ruchu jednostki skanującej

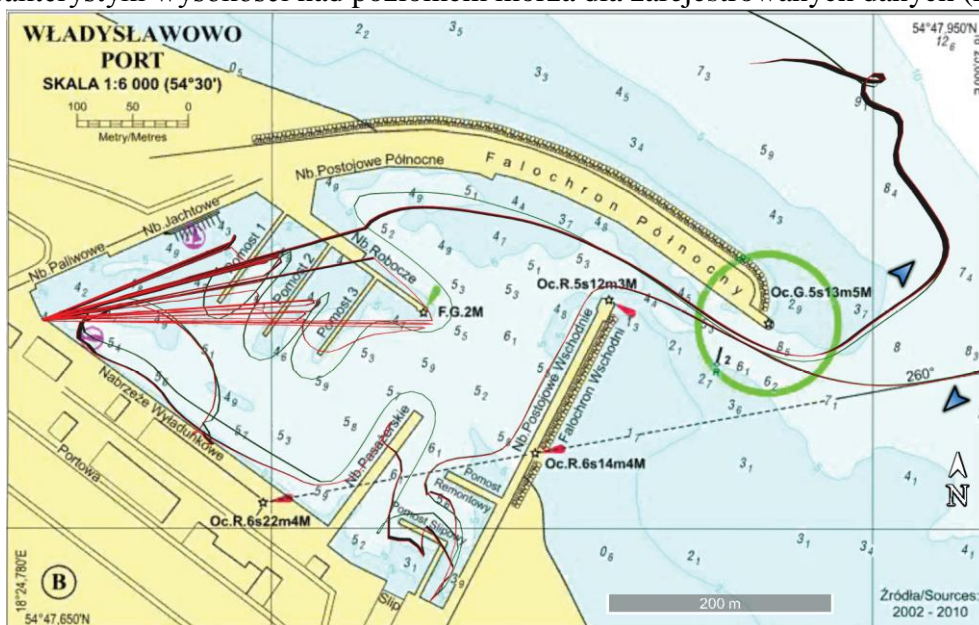


Rys. 7. Dostępność satelitów GNSS w czasie pomiarów z morza.

Opracowanie trajektorii pozwoliło na ulokowanie jej na planie portu (rysunek 8), a także na zapis w formacie .kml, który można importować do popularnych systemów mapowych (rysunek 9).

W wyniku opracowania uzyskano chmurę punktów, na której można identyfikować infrastrukturę portową oraz jednostki cumujące w porcie (rysunek 10). Stosując analizy związane z charakterystyką chmury punktów możliwe stało się określenie gęstości chmury punktów dla poszczególnych fragmentów portu wraz z oceną błędów pozyskanych danych (rysunek 11 i 12). Szczególne znaczenie dla jakości skanu ma parametr przedstawiony na rysunku 9; im wyższa jego wartość, tym wyższa niepewność pomiaru danego punktu na skanie. Można zauważyć prawidłowość, wg której parametr ten wzrasta na obszarach, gdzie wiązka lasera pada pod niewielkim kątem („ślizga się”), załamuje i odbija się z uwzględnieniem zmiany gęstości ośrodka (np. w płytkiej wodzie).

W eksperymencie zastosowano geodezyjny system odniesień przestrzennych, co umożliwiło podanie charakterystyki wysokości nad poziomem morza dla zarejestrowanych danych (rysunek 13).



Rys. 8. Trajektorie ruchu jednostki skanującej na tle planu portu we Władysławowie wg [8] z zaznaczeniem trasy przed i po wyrównaniu

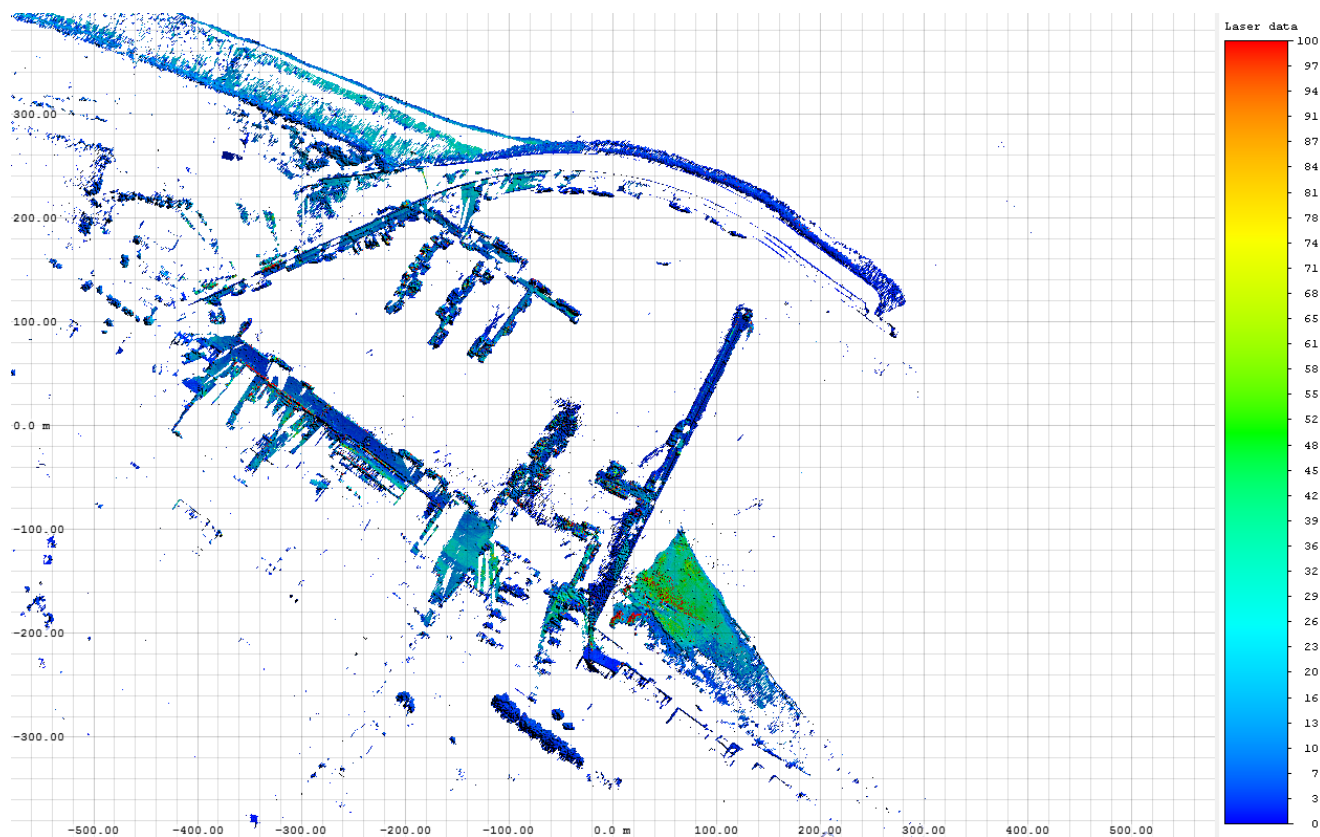


Rys. 9. Wizualizacja trajektorii ruchu jednostki skanującej zaimplementowanego do Google Earth™ w postaci pliku .kml

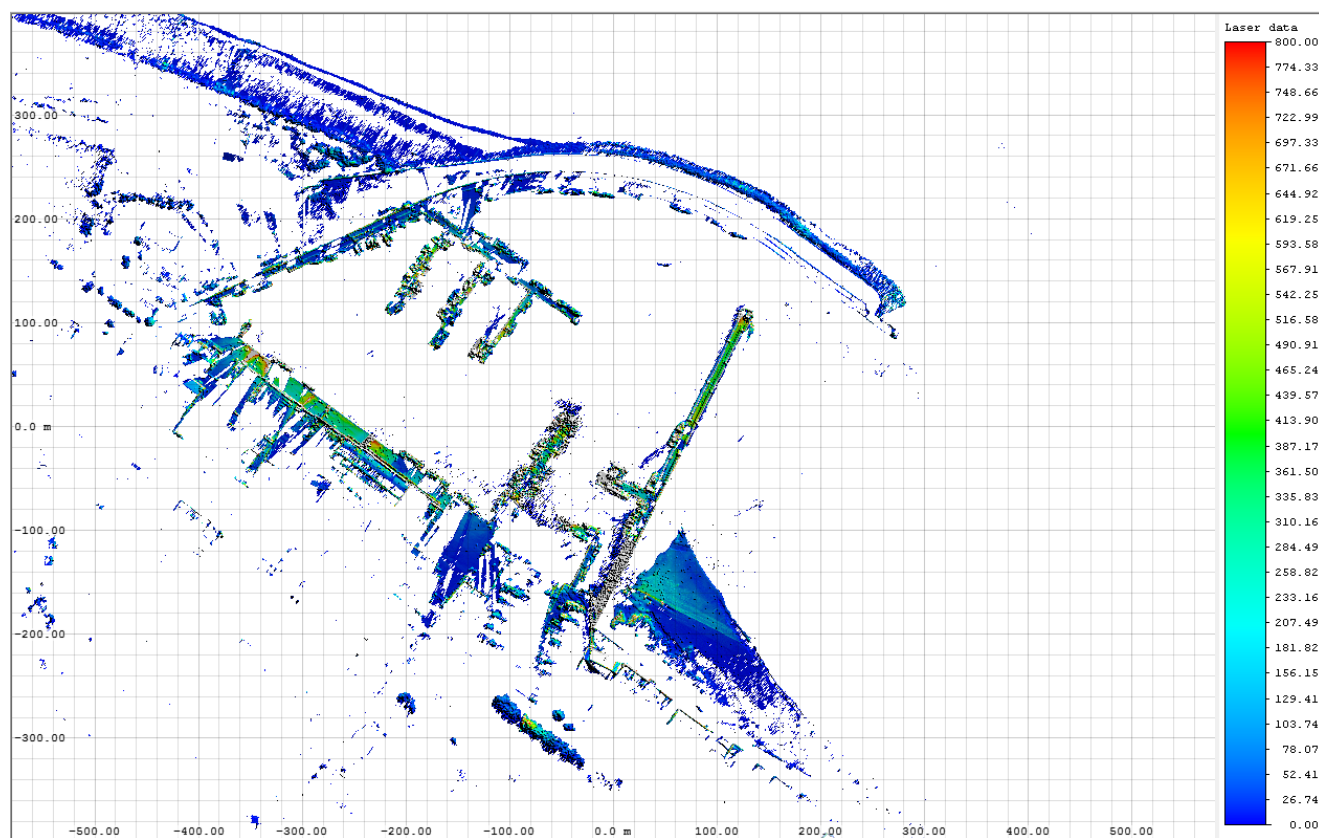


Rys. 10. Fragment skanu portu z widocznymi jednostkami pływającymi, nabrzeżami portowymi i budynkami; obraz przedstawia intensywność odbicia

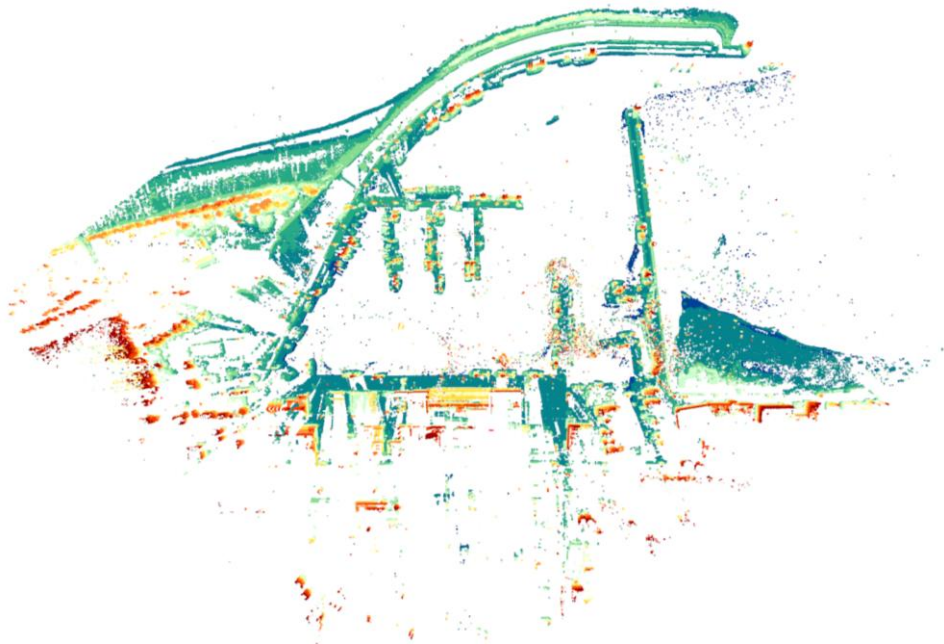




Rys. 11. Efekt przetworzenia danych ze skaningu morskiego i wizualizacją podstawowego parametru jakości skanu – deviation



Rys. 12. Efekt przetworzenia danych ze skaningu morskiego i wizualizacją gęstości chmury punktów (liczba punktów na metr kwadratowy)



**Rys. 13.** Efekt przetworzenia danych ze skaningu morskiego i wizualizacją parametru wysokości punktów nad geodezyjnym poziomem odniesienia

## WNIOSKI

Wyniki przeprowadzonego eksperymentu wskazują, że morski skaningu laserowy, wykonany przy użyciu systemów pracujących na platformach mobilnych (drogowych, lotniczych) daje wyniki przydatne do tworzenia map podejść do portów oraz wybrzeży z zadowalającą dokładnością. Wyniki oraz modele uzyskane w ramach opracowania mogą stanowić źródło zasilania systemów map morskich w informacje oparte na wizualizacjach oraz prezentacjach 3D. Doświadczenia realizowane przez innych autorów wskazują, że zastosowanie map 3D poprawia jakość nawigacji [5,9,11,14], a może też przyczynić się do poprawy bezpieczeństwa jednostek pływających oraz ochrony akwenów morskich przed niebezpieczeństwem [11,12]. Trzeba mieć też na uwadze, że łatwość pozyskania danych przestrzennych oraz technologiczne możliwości skaningu pozwalają oceniać przedstawione rozwiązanie jako technologię, która w bliskiej perspektywie roku-dwóch stanie się standardową metodą pozyskiwania informacji o wybrzeżu wód morskich i śródlądowych. Połączenie danych ze skaningu morskiego ze skanowaniem naziemnym i fotogrametrią (szczególnie dla elementów wymagających wysokiej precyzji obrazowania – np. znaki nawigacyjne) oraz ze skanowaniem lotniczym (szczególnie dla powierzchni poziomych oraz stoków o niewielkim kącie nachylenia) pozwoli na budowę zadowalającego modelu 3D do zasilania systemów informacji przestrzennej oraz uzupełniania map nautycznych i elektronicznych systemów nawigacyjnych na jednostkach pływających.

## Streszczenie

Technologia skaningu laserowego rozwinęła się współcześnie do etapu, w którym skaningu mobilny jest swobodnie wykorzystywany na platformach pojazdów drogowych i szynowych oraz statków powietrznych. Do szczególnych rozwiązań skaningu mobilnego zalicza się skaningu morski.

Użycie tego rozwiązania stanowi nowe rozwiązanie dla problematyki inwentaryzacji infrastruktury portowej w sytuacji dużego ruchu morskiego lub rozległych basenów portowych, gdy użycie skaningu naziemnego (TLS) nie może być skutecznie zastosowane. W ramach prac eksperymentalnych autorzy wskazują przykład niedużego portu we Władysławowie, który został w całości poddany procesowi skanowania z morza. W efekcie uzyskano obraz portu w postaci chmury punktów, która może być skutecznie wykorzystana do budowania dokumentacji portowej oraz locji jako elementu nawigacji polskiego wybrzeża morskiego.

W artykule autorzy prezentują procedurę skaningu oraz sygnalizują problemy związane z przetworzeniem danych i ich wykorzystaniem w kontekście logistyki portów morskich.



## Marine laser scanning of the harbour infrastructure on the example of the harbour in Władysławowo

### Abstract

Laser scanning technology has evolved to the today stage in which scanning is freely used on platforms of road and rail vehicles and aircrafts. Marine scanning is one of the special solutions of the mobile scanning.

The use of this solution constitutes a new solution for the problems of harbour infrastructure inventory under the conditions of heavy maritime traffic or extensive harbour basins when the use of terrestrial laser scanning (TLS) can not be effectively applied. As a part of the experimental works, the authors point an example of a small harbour in Władysławowo, which was subjected to the process of scanning from the sea. The result is a picture of the harbour in form of a points cloud which can be effectively used to build the harbour documentation and sailing directions as the element of navigation for Polish sea coast.

In this paper, authors present a scanning procedure and signal problems connected with the processing of data and their use in the context of sea harbours logistics.

### BIBLIOGRAFIA

1. Bieda, R., Wyznaczanie orientacji IMU w przestrzeni 3D z wykorzystaniem macierzy tensora rotacji oraz niestacjonarnego filtru Kalmana. Vol. 89(12), 2013, s.s. 68-78.
2. Borrmanna D., Nüchtera A., Đakulovićb M., Maurovićb I., Petrovićb I., Osmankovićc D., Velagićc J., A mobile robot based system for fully automated thermal 3D mapping. *Advanced Engineering Informatics*. Vol. 28(4), s.s. 425-440, 2014. DOI:10.1016/j.aei.2014.06.002.
3. Byoung-Guk Min, Hee-ja Jeong, Tae-Jin Ha, Joon-Seub Cha, Nam-Ho Kim, Implementation of Navigation System Available for Marine Leisure Ship. *International Journal of Control and Automation*. Vol.7(3), s.s.29-36, 2014. DOI: 10.14257/ijca.2014.7.3.04
4. Chanjun Chen, Hua Liu, Yong Liu, Xiangyu Zhuo, High accuracy calibration for vehicle-based laser scanning and urban panoramic imaging and surveying system. *SPIE 8917, MIPPR 2013: Multispectral Image Acquisition, Processing, and Analysis, 89170Y, 2013*. DOI: 10.1117/12.2031466
5. Dong-Taur S., Lo D.C., Cheng-Wu C., Yi-Chang H., The integration of nautical charts to reconstruct 3D harbor area models and apply assisted navigation. *Natural Hazards*. Vol. 66(2), s.s. 1135-1151, Springer Netherlands 2013. DOI: 10.1007/s11069-012-0516-7
6. Elseberg J. Borrmann D., Nüchter A., Algorithmic Solutions for Computing Precise Maximum Likelihood 3D Point Clouds from Mobile Laser Scanning Platforms. *Remote Sensing*. Vol. 5(11), s.s. 5871-5906, 2013. DOI: 10.3390/rs5115871
7. Elseberg J. Borrmann D., Nüchter A., Automatic and Full Calibration of Mobile Laser Scanning Systems. *Experimental Robotics. Springer Tracts in Advanced Robotics*. Vol. 88, s.s. 907-917, 2013. DOI: 10.1007/978-3-319-00065-7\_60
8. Gęstwicki J., Kowalski A., Mordako W., Nowakowski Z., *Locja Bałtyku. Wybrzeże Polskie (502)*. Biuro Hydrograficzne Marynarki Wojennej, ISBN 83-905872-8-9, Gdynia 2001.
9. Hohenthal J., Alho P., Hyypä J., Hyypä H., Laser scanning applications in fluvial studies *Progress in Physical Geography*. Vol. 35(6), s.s. 782-809. DOI: 10.1177/0309133311414605
10. Łubczonek J., *Morska mapa nawigacyjna z trójwymiarowym zobrazowaniem informacji nawigacyjnej, tom II, Roczniki Geomatyki, III Ogólnopolskie Sympozjum Geoinformacyjne, Warszawa 2005*.
11. Łubczonek, J. Trojanowski, J. Włodarczyk-Sielicka, M.: Zastosowanie trójwymiarowego zobrazowania informacji nawigacyjnej w mapach elektronicznych dla żeglugi śródlądowej. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*. Vol. 23, 2012, s.s. 261-269.
12. Przyborski M., Pyrchla J., Serafin M., Janowski A., Rola GIS w badaniach środowiska morskiego, *Logistyka* 2014, nr 3.
13. Pyrchla J., Kowalewski M., Leyk M., Przyborski M., Siedlik J., Zieliński M., Sieciocentryczny system informacji geograficznej Zatoki Gdańskiej wspomagania działań operacyjnych morskich

- służb państwowych. Red. Janowski A., ISBN 978-83-934609-8-4, Gdańsk 2014.  
<http://www.geomatyka.eu/publikacje/isbn9788393460984/isbn9788393460984.pdf>
14. Sheng Jia-Liang, Hao Duo-Hu, He Quan, Lv Tie-Ying, Zhang Chao, Research of Analysis and Three Dimensional Display on International Standard Chart. *Geomatics & Spatial Information Technology*, ISSN 1672-5867, 2014.
  15. Sørensen A. J., A survey of dynamic positioning control systems. *Annual Reviews in Control*. Vol. 35(1), s.s.123-136, 2011. DOI: 10.1016/j.arcontrol.2011.03.008
  16. Sørensen A. J., Dynamic Positioning Control Systems for Ships and Underwater Vehicles. *Encyclopedia of Systems and Control*, s.s. 1-10, 2014. DOI: 10.1007/978-1-4471-5102-9\_122-1
  17. Studnicka N., Zach G.: Mobile Laser Scanning in Venice: Grand Canal in scan and image data. *GIM international*, Vol. 25(4) , 2011, s.s. 20-23.
  18. Śmierzchalski R., Automation of ship and control. *Zeszyty Naukowe – Akademia Morska w Szczecinie*. Vol. 30(102) , 2012 s.s. 132-137.
  19. Townsend N. C., Shenoi R. A., Control Strategies for Marine Gyrostabilizers. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*. Vol. 39 (2) , 2013, s.s. 243-255. DOI: 10.1109/JOE.2013.2254591
  20. Tysiąc P., Przydatność mobilnego i lotniczego skaningu laserowego do monitorowania klifów morskich. Praca dyplomowa; promotor Szulwic J., Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska Politechniki Gdańskiej, 2014.