

**WYKORZYSTANIE DANYCH LOTNICZEGO SKANINGU
LASEROWEGO W METODYCE BADAWCZEJ ZESPOŁÓW
FORTYFIKACJI NOWSZEJ W POLSCE**

**UTILIZATION OF AERIAL LASER SCANNING DATA IN
INVESTIGATIONS OF MODERN FORTIFICATIONS
COMPLEXES IN POLAND**

Dorota Zawieska¹, Wojciech Ostrowski¹, Michał Antoszewski²

¹Zakład Fotogrametrii, Teledetekcji i Systemów Informacji Przestrzennej,
Politechnika Warszawska

²Zakład Konserwacji Zabytków, Wydział Architektury, Politechnika Warszawska

SŁOWA KLUCZOWE: lotniczy skaningu laserowy, fortyfikacje, klasyfikacja chmur punktów

STRESZCZENIE: Z uwagi na burzliwą historię, na obszarze Polski znajduje się niezwykle bogaty i unikatowy w swojej różnorodności zbiór obiektów architektury militarnej (zespołów fortyfikacji nowszej). Artykuł prezentuje wyniki analiz wykorzystania danych z lotniczego skaningu laserowego do identyfikacji i wizualizacji fortów w Polsce. W tym celu wykorzystano chmurę punktów dla standardu I i II z projektu ISOK (Informatyczny System Osłony Kraju). Przeprowadzono badania pod kątem jakości klasyfikacji geoprzestrzeniach danych w aspekcie późniejszych analiz topografii fortyfikacji. Badania przeprowadzono na czterech polach testowych, po dwa pola z każdego standardu. Obiekty dobrano tak by fortyfikacje cechowały się wystarczającym stopniem zachowania oraz żeby w każdym ze standardów, znalazł się przynajmniej jeden położony w lesie i jeden odkryty. Wstępną weryfikację poprawności klasyfikacji wykonano w programie ArcGIS 10.1 w oparciu o cieniowany Numeryczny Model Terenu (NMT) i Numeryczny Model Fortyfikacji (NMF), ortofotomapę oraz analizę przekrojów przestrzennej chmury punktów. Zmianę klasyfikacji chmur punktów przeprowadzono z wykorzystaniem oprogramowania TerraSolid. Na podstawie przeprowadzonych analiz wykryto dwie grupy błędów klasyfikacji chmury punktów. W pierwszej z nich błędnie sklasyfikowane są fragmenty urządzeń fortu, w drugiej błędnie sklasyfikowane lub nieklasyfikowane pozostają całe jego elementy. Najczęściej występujący z błędów pierwszego rodzaju powoduje błędy w lokalizacji rzędu 2-4 m oraz kilku metrowe (max. do 14 m) różnice w wysokości tych fragmentów w NMF. Obecnie fortyfikacje pokryte są częściowo lub w całości lasami lub roślinnością inwazyjną. Dlatego też w ocenie potencjału danych z ISOK do celów badania topografii fortyfikacji, należy uwzględnić również wpływ pokrycia oraz nachylenie terenu na jakość NMT uzyskiwanego z LiDAR. Przeprowadzone eksperymenty wykazały dużą przydatność wykorzystania danych ze skaningu laserowego z projektu ISOK do identyfikacji form fortyfikacji oraz wizualizacji tych obiektów. W przeciwieństwie do tradycyjnych metod pozyskiwania informacji (inventaryzacje terenowe w zestawieniu z dokumentacją historyczną), dane ze skaningu laserowego stanowią nową generację danych geoprzestrzennych. Stwarzają możliwość opracowania nowej technologii wykorzystywanej w ochronie i inventaryzacji architektury militarnej w Polsce.

1. WPROWADZENIE

Wraz ze wzrostem znaczenia fotografii cyfrowej, na rynku pojawiły się również techniki pozwalające na precyzyjne pozyskiwanie informacji o wyglądzie i kształcie terenu bez konieczności bezpośredniego kontaktu z opracowywanym obiektem. Jedną z technologii jest Lotniczy Skaniny Laserowy (ALS – *Airborne Laser Scanning*). Rozwój metod pozyskiwania oraz przetwarzania informacji przestrzennej oraz ciągłe udoskonalanie technologii informatycznych przyczyniły się do upowszechnienia i większej dostępności systemów danych z informacjami o powierzchni geograficznej terenu. Technika skanowania lotniczego bardzo szybko rozwija się, znajduje nowe zastosowania, a w zakresie budowy precyzyjnych numerycznych modeli terenu wypiera tradycyjną fotogrametrię. Rozwój obserwowany jest zarówno na etapie samego skaningu, jak i obróbki „chmur punktów” (Kurczyński, 2010). Obecnie, dane otrzymane w wyniku skaningu laserowego są wykorzystywane głównie do tworzenia NMT oraz NMPT.

W prezentowanym artykule przeanalizowano możliwości wykorzystania danych z projektu ISOK (Informatyczny System Osłony Kraju) w metodyce badawczej architektury militarnej w Polsce (zespołów fortyfikacji nowszej). Projekt ISOK poprzez swoją innowacyjność technologiczną, zasięg obszarowy, złożoność organizacyjną i zaangażowane środki finansowe daleko wykracza poza zadania związane z zarządzaniem kryzysowym. Kierując się tymi przesłankami wykonano próby wykorzystania tych danych dla stworzenia spójnej dokumentacji obejmującej różne formy fortyfikacji w Polsce.

2. CHARAKTERYSTYKA DANYCH ŹRÓDŁOWYCH

2.1. Zespoły fortyfikacji nowszej

W stosunku do szerokiej grupy obiektów zaliczanych do *architecturae militaris*, po II wojnie światowej wprowadzono podział obiektów obronnych, na fortyfikację nowszą (od połowy XVIII wieku do lat pięćdziesiątych XX wieku) i fortyfikację najnowszą (po latach pięćdziesiątych XX wieku). Podział obejmuje „poziomy formułowania wniosków i wytycznych konserwatorskich dla zespołów obronnych” na czterech poziomach szczegółowości. Umożliwia to jednolite podejście do badań i tworzenia dokumentacji historyczno-architektonicznej. Obecnie tradycyjnymi narzędziami w badaniach fortyfikacji są przede wszystkim podkłady geodezyjne i dokumentacja historyczna i projektowa oraz archiwalne fotografie, teksty pisane oraz zdjęcia lotnicze (Molski, 2007).

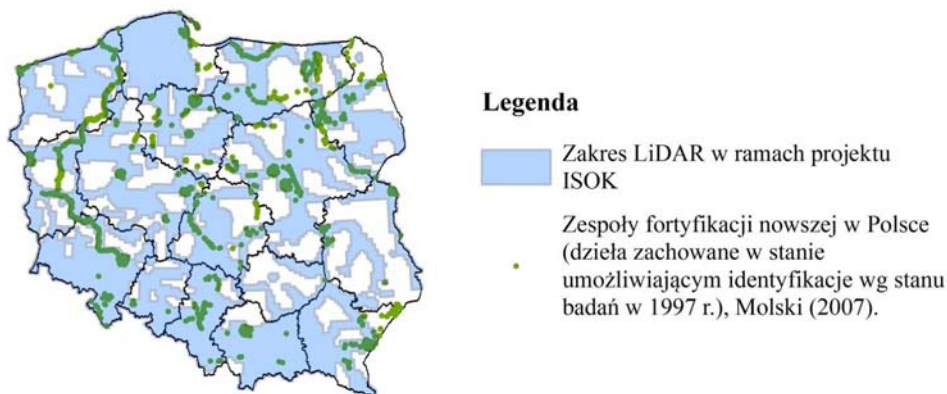
2.2. Informatyczny system osłony kraju przed nadzwyczajnymi zagrożeniami – ISOK

Do spełnienia przez Polskę wymagań tzw. Dyrektywy Powodziowej - 2007/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie oceny ryzyka powodziowego i zarządzania nim, powstał projekt „Informatyczny System Osłony Kraju przed nadzwyczajnymi zagrożeniami”, określane skrótem ISOK. W ramach tego projektu, GUGiK prowadzi kilka kluczowych zadań: opracowanie precyzyjnego NMT dla 60% powierzchni kraju na podstawie danych LiDAR, wraz z systemem zarządzania danymi wysokościowymi w CODGiK, opracowanie wysokorozdzielczej ortofotomapy dla ponad 200 miast, opracowanie elementów BDOT, kluczowych dla realizacji działań przeciwpowodziowych.

Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej (KZGW) wytypował obszary zagrożenia powodziowego na podstawie danych historycznych. Granice obszarów opracowania poprowadzono po granicach „ćwiartek” sekcji mapy topograficznej w skali 1:10 000. Łącznie, obszar opracowania obejmuje 191 000 km² (rys. 1). W opracowaniu wyróżnia się dwa rodzaje obszarów, pokrywanych przez produkty o różnych standardach: standard II: łącznie około 13 769 km². Stanowią go obszary 94 miast o zaludnieniu powyżej 50 tys. mieszkańców. Dla tych obszarów przewiduje się skaningu laserowy o zwiększonej gęstości (12 punktów/m²); standard I: pozostałe obszary, pokrywane skanowaniem laserowym o podstawowej gęstości (4 punkty/m²). Naloty LiDAR i opracowanie produktów trwa od wczesniej wiosny 2011 r. i potrwa do końca 2013 r. (Jarząbek *et al.*, 2011). W wyniku opracowania powstaną następujące produkty:

- sklasyfikowane „kolorowe” chmury punktów (każdy punkt ma atrybuty RGB).
- NMT w strukturze GRID o „oczku” 1 m.
- NMPT w strukturze GRID o „oczku” 1 m dla Standardu I i 0.5 m dla Standardu II.

Dokładność wysokościowa wynikowego NMT (błąd średni wysokości) ocenia się na 0.15 m dla powierzchni odkrytych, utwardzonych i 0.25÷0.30 m dla powierzchni zalesionych.



Rys. 1. Zakres obszarowy opracowania danych geoprzestrzennych w Projekcie ISOK oraz położenie obiektów fortyfikacji nowszej na terenie Polski (Molski, 2007)

2.3. Charakterystyka obszarów testowych

Badania przeprowadzono na czterech polach testowych, po dwa pola z każdego standardu. Obszary dobrano w ten sposób, by dane pozyskane były przez dwie różne firmy. Obiekty dobrano tak, by fortyfikacje cechowały się wystarczającym stopniem zachowania oraz żeby w każdym ze standardów znalazł się przynajmniej jeden położony w lesie i jeden odkryty (tabela 1).

Obszar Łomży został objęty skanowaniem w II standardzie. Nalot w lipcu 2011 r. wykonała firma GEOPOLIS Sp. z o.o. w ramach bloku 3047. Pole testowe, składające się z 8 arkuszy w skali 1:1250, obejmuje Fort II (Twierdzy Łomża) wraz z zapolem i fragmentami wałów łączącymi go z Fortem I i III.

Twierdza Zegrze leży w bloku nr 3019 należącym do I standardu. Skaningu tego

obszaru przeprowadziła w kwietniu 2011 r. firma GEOPOLIS Sp. z o.o. z wykorzystaniem skanera ALS60. Pole testowe, obejmujące swym zasięgiem centralną część twierdzy, składa się z 8 arkuszy w skali 1:2 500.

Miasto Nysa zostało objęte skanowaniem w II standardzie. Skanowanie dla bloku 6003 wykonała firma MGGP Aero Sp. z o.o. w sierpniu 2011 r. z wykorzystaniem skanera LiteMapper 6800i. Pole testowe, składające się z 4 arkuszy, obejmuje dwa obiekty obronne,

skanowanie obszaru obejmującego miasto Dęblin zostało wykonane przez firmę MGGP Aero Sp. z o.o. w ramach bloku 6022. Dane w standardzie I pozyskano w październiku 2011 r. za pomocą skanera LiteMapper 6800i. Cztery arkusze w skali 1:2500, które składają się na pole testowe obejmują fort Mierzwiączka (Twierdza Dęblin - Iwanogród).

Tabela 1. Zestawienie parametrów pól testowych dla 4-ch twierdz

l.p.	Twierdza	Obiekt	Standard	Wykonawca	Data Nalotu	Pokrycie terenu
1	Nysa	Fort Prusy Fort II	II	MGGP Aero	14 VIII 2011	Las Odkryty
2	Dęblin	Fort Mierzwiączka	I	MGGP Aero	16 X 2011	Odkryty
3	Łomża	Fort II (Piątница)	II	GEOPOLIS	24 VII 2011	Zróżnicowany
4	Zegrze	Umocnienie Duże Umocnienie Małe	I	GEOPOLIS	22 IV 2011	Zróżnicowany Las

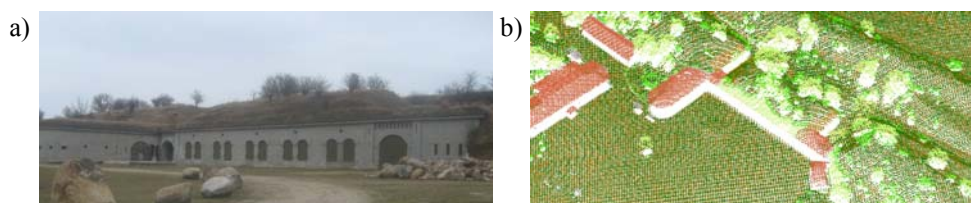
3. ANALIZA PRZESTRZENNYCH DANYCH LIDAR Z PROJEKTU ISOK

Elementy obronne dzielą się na dwie kategorie: ziemne i kubaturowe. W drugiej z nich możemy wyróżnić trzy typy: naziemne odkryte, naziemne zakryte i podziemne. Przykładem obiektu naziemnego zakrytego mogą być koszary szyjowe wraz z broniącymi ich kojcem w Forcie II (Łomża), (rys. 2), za obiekty podziemne uznaje się te, które w całości znajdują się pod ziemią, np. schron główny w Forcie Mierzwiączka (Dęblin).

Podstawowa definicja powierzchni gruntu określona jest jako: „powierzchnia rozgraniczająca pomiędzy stałym gruntem i atmosferą lub obiektami znajdującymi się na nim” (Vosselman, Mass, 2010). Niestety taka definicja zawodzi w konfrontacji z budowlami naziemnymi zakrytymi, ponieważ w ich przypadku można wyróżnić dwie powierzchnie gruntu.

Dlatego też na potrzeby modelowania fortyfikacji, podzielono obiekty na dwie kategorie. Pierwszą z nich stanowią te wszystkie struktury, które w przypadku modelowania powinny być docelowo reprezentowane przez siatkę, budowaną w oparciu o chmurę punktów. Do grupy tej, klasyfikowanej jako grunt (klasa 2), zaliczać się będą: obiekty ziemne, kubaturowe naziemne zakryte i podziemne. W drugiej kategorii, klasyfikowanej jako budowle (klasa 6), znajdą się obiekty kubaturowe naziemne odkryte, ponieważ docelowo powinny one zostać zastąpione modelami bryłowymi.

Przynależność elementów fortyfikacji do dwóch klas, wymaga do celów analitycznych budowy zubożonego Numerycznego Modelu Pokrycia Terenu - zbudowanego jedynie w oparciu o klasy 2 (grunt) i 6 (budowle) z chmury punktów. Taki model będziemy dalej nazywać Numerycznym Modelem Fortyfikacji (NMF).



Rys. 2. a) Zdjęcie twierdzy Łomża, Fort II; koszary szyjowe z kojcem - przykład obiektu kubaturowego pokrytego ziemią (fot. J. P. Romatowski). b) dane z ISOK dla tego obszaru

3.1. Przyjęta metodyka opracowania

Wstępną weryfikację poprawności klasyfikacji wykonano w programie ArcGIS 10.1 w oparciu o cieniowane NMT i NMF, ortofotomapę oraz analizę przekrojów przez chmurę punktów. Najnowsza wersja oprogramowania firmy ESRI umożliwia pracę z plikami LAS poprzez tworzenie specjalnych zbiorów danych, dzięki którym można wyświetlać wybrane klasy z pliku, w postaci chmury punktów lub zbudowanego na niej modelu TIN. Program ArcMap pozwala również wykonywać przekroje przez chmurę punktów i wyświetlać ją w 2D i 3D (ArcScene umożliwia prezentację punktów w barwach rzeczywistych). Możliwe jest również filtrowanie chmury w oparciu o numer odbicia, liczenie statystyk dla pliku i prezentowanie ich w postaci rastrowej, np. mapy gęstości punktów.

Pomimo, że ArcMap umożliwia zmianę klasyfikacji chmur punktów, proces ten przeprowadzono z wykorzystaniem oprogramowania TerraSolid. W ocenie autorów posiada ono znacznie skuteczniejsze narzędzia do tego celu. Przeklasyfikowanie przeprowadzono manualnie, pracując na przekrojach przez chmury punktów, z podglądem budowanego NMF i wykorzystaniem dokumentacji archiwalnej.

3.2. Błędy w klasyfikacji chmury punktów

Jedną z podstawowych zalet chmury punktów udostępnianej z zasobu jest to, że została ona podzielona na klasy. Analizy przeprowadzone na polach testowych wykazały, że w przypadku obiektów o tak złożonym charakterze jak fortyfikacje, występują pewne charakterystyczne błędy w klasyfikacji, które przedstawiono w tabeli 2.

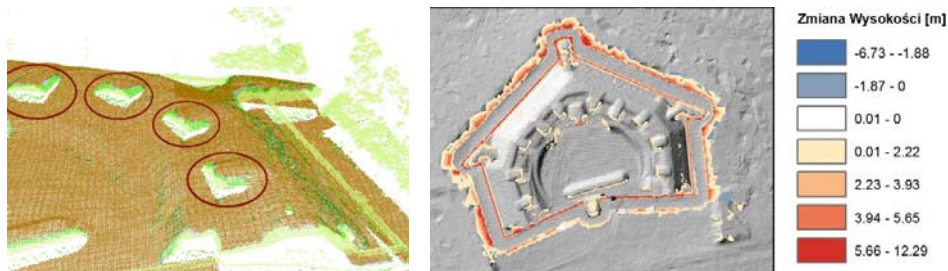
Tabela 2. Wpływ korekty klasyfikacji na poszczególnych polach testowych

Pole Testowe	Obiekt	Pow. (ha)	Suma pkt.	pkt/m ²	Wpływ reklasyfikacji			Max. ΔH w NMF (m)
					obiekt	klasa 2	klasa 6	
Nysa	Fort II (Regulicki)	4.2	797362	19.0	5.63%	9%	739%	12.3
Dęblin	Fort Mierzwiączka	9.7	579867	6.0	1.74%	2%	178%	7.0
Łomża	Fort II (Piątница)	3.8	364030	9.7	2.34%	7%	-56%	5.5
Zegrze	Umocnienie Duże	33.0	1351687	4.1	0.36%	1%	1%	8.7

Występujące błędy można podzielić na dwie grupy: w pierwszej z nich błędnie sklasyfikowane są fragmenty urządzeń fortu, w drugiej błędnie sklasyfikowane lub nieklasyfikowane pozostają całe jego elementy lub urządzenia.

Najczęściej występującym błędem pierwszego rodzaju jest klasyfikowanie krawędzi

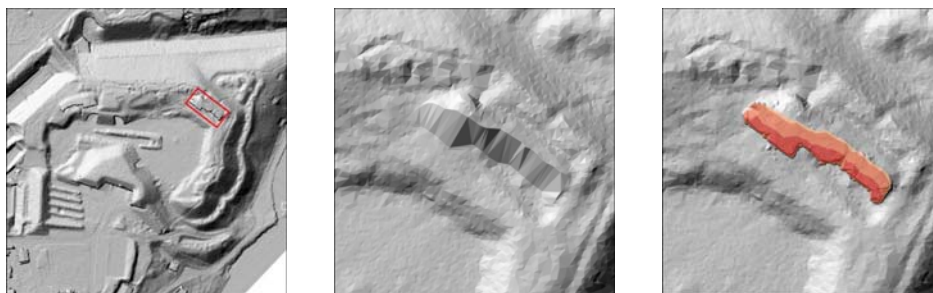
nasypów nad urządzeniami obronnymi jako roślinności (rys. 3). Występuje on na każdym z pól testowych i praktycznie na każdym z nasypów. Ze względu na przyjętą metodykę klasyfikacji, za niepoprawne można uznać również sklasyfikowanie jako budowli (rys. 2) fragmentu kojca szyjowego Fortu II (Łomża).



Rys. 3. Błędy w klasyfikacji - klasyfikowanie krawędzi nasypów jako roślinności.
Wpływ reklasyfikacji na NMF na przykładzie Fortu II (Twierdza Nysa)

Błędy pierwszego rodzaju nie mają bezpośredniego wpływu na proces samej identyfikacji. Jednak w znacznym stopniu wpływają one na dokładność zbudowanego modelu a tym samym na dokładność identyfikacji i rejestracji obiektu obronnego. Najczęściej występujący z błędów pierwszego rodzaju, tj. sklasyfikowanie krawędzi nasypu jako roślinności, powoduje przeciętnie 2÷4 metrowe błędy w lokalizacji tej krawędzi (maksymalnie ponad 9 m na polu testowym Nysa) oraz kilku metrowe (maksymalnie do 14 m), różnice w wysokości tych fragmentów w NMF (rys. 3).

Błędy drugiego rodzaju stwierdzono na 3. z 4. pól testowych. Na polu testowym Zegrze błędnie sklasyfikowano punkty na jednym ze urządzeń znajdujących się wale artyleryjskim Umocnienia Małego (rys. 4). W forcie Mierzwiączka (Dęblin) bramę fortu sklasyfikowano jako roślinność. Najwięcej błędów drugiego rodzaju znaleziono na obszarze pola testowego Nysa, w Forcie II mur Carnota sklasyfikowano jako roślinność. Podobnie w forcie Prusy jako roślinność zostały sklasyfikowane dwie budowle kubaturowe zakryte.



Rys. 4. Przykład błędu drugiego rodzaju. Umocnienie Małe (Twierdza Zegrze)

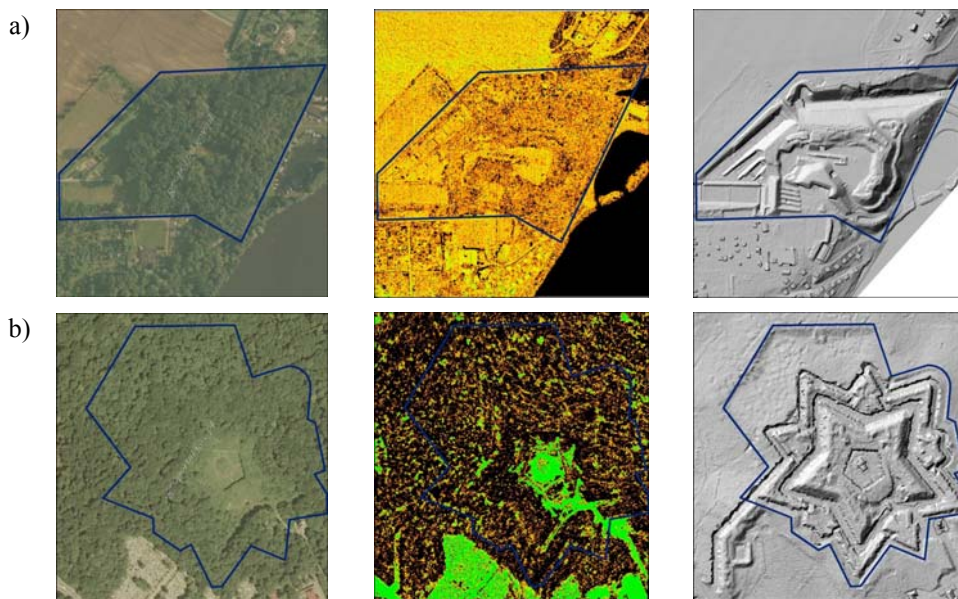
W przeciwieństwie do błędów pierwszego typu błędy drugiego rodzaju mają bezpośredni wpływ na proces identyfikacji i mogą one prowadzić do wyciągnięcia błędnych wniosków o stanie obiektu. Dlatego też nie mogą one zostać zaniedbane, a ich usunięcie wymaga wykorzystania dokumentacji dotyczącej obiektu lub wiedzy eksperckiej.

3.3. Wpływ pokrycia terenu

Jak zaznaczono we wcześniejszych rozdziałach, fortyfikacje w czasach dzisiejszych często pokryte są lasami lub roślinnością inwazyjną (częściowo lub w całości). Dlatego też w ocenie potencjału, jaki niosą dane z ISOK, do celów badania fortyfikacji należy uwzględnić wpływ pokrycia terenu na jakość NMT uzyskiwanego z LiDAR.

Badania (Stephen *et al.*, 2003) wykazały, że pokrycie terenu gęstym 70-cio letnim lasem, w którym nie są prowadzone wycinki, może skutkować dwukrotnym spadkiem dokładności zbudowanego NMT w stosunku do terenu odkrytego. Drugim z czynników, który ma wpływ na jakość budowanego modelu jest nachylenie terenu (Hyypä *et al.*, 2005). Błędy wysokości wzrastają istotnie przy nachyleniu terenu porośniętego lasem większym niż 15 stopni. Wpływ drugiego czynnika jest o tyle istotny, że w przypadku zespołów fortyfikacji nowszej, część terenu stanowią skarpy o znacznym nachyleniu.

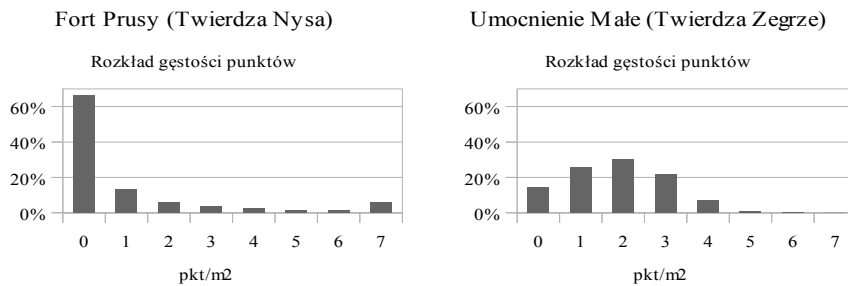
Jednakże porównanie danych dla pola testowego Nysa (Fort Prusy) oraz Zegrze (Umocnienie Małe) pokazuje, iż czynnikiem, który może mieć znacznie większy wpływ na jakość budowanego modelu jest termin wykonania nalotu. Czynnikiem ten nie polega jedynie na wzroście błędów przypadkowych, jak wykazują badania (Hyypä *et al.*, 2005). Znacznie większym problemem jest gęstość punktów reprezentujących teren lub fortyfikacje. Rysunek 5 pokazuje kolejno ortofotomapę (geoportal.gov.pl), mapę gęstości punktów w klasach 2 i 6 oraz cieniowany NMF dla obszaru obu fortyfikacji.



Rys. 5. Ortofotomapa - mapa gęstości punktów w klasach 2 i 6 oraz cieniowany NMF dla obszaru: a) Umocnienie Małego (Twierdza Zegrze), b) Fort Prusy (Twierdza Nysa)

Sposobem, by zwiększyć liczbę punktów na gruncie, jest wykonywanie nalotu w okresie bez wegetacji roślin, alternatywą jest zwiększenie gęstości skaningu. Skaningu

w II standardzie, często pozyskiwany był w okresie występowania liści. Analiza liczby punktów/m² wykazuje, iż mimo skanowania w II standardzie, liczba punktów wchodzących w NMF jest znacznie mniejsza dla Fortu Prusy (średnio 1.0 pkt/m²) niż dla Umocnienia Małego Twierdzy Zegrze (średnio 1.8 pkt/m²). Jako, że obie fortyfikacje w podobnym stopniu pokryte są roślinnością, przyczyn tak dużych różnic, jakie są widoczne na rysunku 6, należy doszukiwać się w innym okresie nalotu. Dla Twierdzy Nysa nalot wykonany był sierpniu dla Twierdzy Zegrze w kwietniu.



Rys. 6. Rozkład gęstości punktów w klasach 2 i 6 w przeliczeniu na m² dla obszarów Fortu Prusy (Twierdza Nysa) i Umocnienia Małego (Twierdza Zegrze)

4. IDENTYFIKACJA I WIZUALIZACJA FORTÓW

Przydatność wykorzystania danych z lotniczego skaningu laserowo wiąże się z wykorzystaniem tych danych do analiz przestrzennych. W niniejszym rozdziale przedstawiono dwie przykładowe analizy wykonane z wykorzystaniem danych z ISOK.

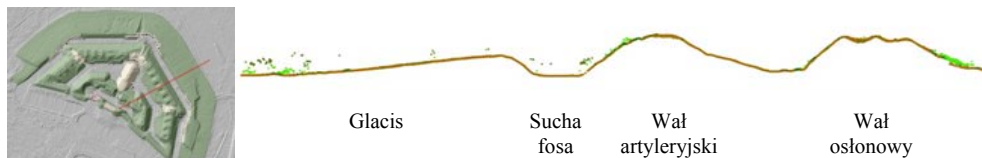
4.1. Identyfikacja formy fortyfikacji (Fort Mierzwiączka, Dęblin)

Identyfikacja formy fortyfikacji może mieć wielorakie zastosowanie, ma ona na celu ocenę stanu obiektu. Poprzedza ona wizję lokalną przed przystąpieniem do prac badawczych czy procesu inwestycyjnego. Identyfikacja urządzeń i elementów obiektu obronnego wykonywana jest w oparciu o dokumentację projektową, dokumentację badawczą i zapisy historyczne. Na podstawie zebranych materiałów przystępuje się do identyfikacji urządzeń, opierając się o cieniowany NMF, przekroje i widoki 3D, oraz mapy i plany archiwalne. Kolejnym etapem, jest wyodrębnienie z urządzeń ich elementów.

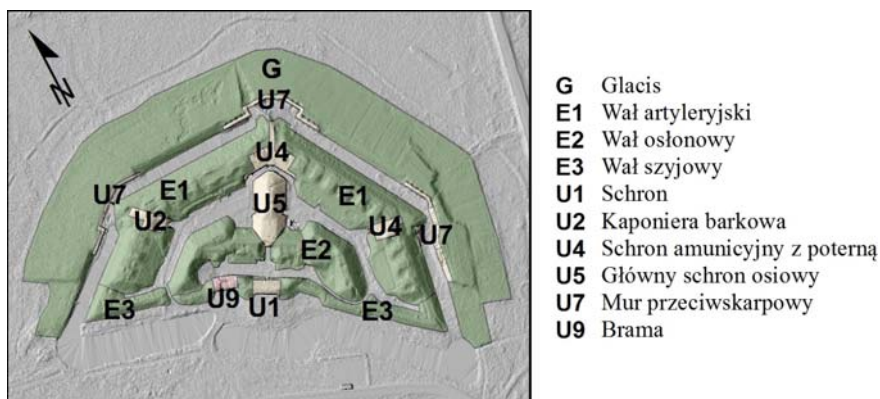
Do identyfikacji fortu Mierzwiączka została wykorzystana dokumentacja w postaci mapy inwentaryzacyjnej stanu zachowania oraz opracowania tekstowe (Michalska, Michalski, 1997). Plany archiwalne, którym nadano georeferencję w oparciu o NMF, umożliwiły odczytanie obszarów urządzeń. Ważnym narzędziem są przekroje na podstawie, których możliwe jest wykrycie form terenowych, np. końca obszaru *glacis* (rys. 7).

Na podstawie dokumentacji fortu udało się zidentyfikować zdecydowaną większość elementów obiektu (rys. 8). Ponadto zostały znalezione elementy nie opisywane w dokumentacji źródłowej i nie zaznaczone na mapie, konieczne do terenowej weryfikacji.

Na podstawie NMF udało się określić ubytki w północnej części obszaru *glacis*, co w przypadku badań terenowych byłoby trudne do stwierdzenia.



Rys. 7. Przekrój przez fortyfikację i wykryte formy terenowe

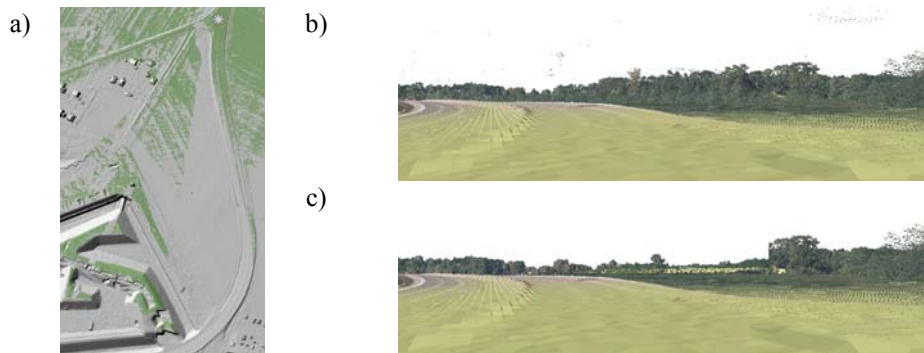


Rys. 8. Fort Mierzwiączka - rozpoznane elementy obiektu na pocieniowanym NMF

4.2. Otwarcia widokowe i wizualizacje 3D (Umocnienie Duże, Twierdza Zegrze)

Otwarcia widokowe z jednych obiektów na inne w obrębie twierdzy, umożliwiają zrozumienie charakteru fortyfikacji i zależności pomiędzy jej elementami. Innym rodzajem widoków komponowanych są widoki „na” twierdzę, które służą uczytelnieniu obiektu z, np. drogi czy punktu widokowego. Otwarcia widokowe na dużej części twierdz w Polsce są zatarte lub nieobecne, przez działanie wysokiej roślinności inwazyjnej.

Analizy widokowe wymagają przeprowadzenia procesu badawczego na obiekcie. Przy użyciu tradycyjnych metod, takie opracowania wykonywane były z wykorzystaniem map, a ich weryfikacja oparta była na wizjach lokalnych. Proponowana metoda wykorzystuje NMF i chmury punktów, jako danych wejściowych do 4. etapowego procesu projektowania otwarć widokowych: 1. Określenie widoczności - zakres widoczności bez uwzględnienia roślinności (rys. 9 a), 2. Określenie otwarcia, 3. Określenie obszarów koniecznej wycinki, 4. Weryfikacja otwarcia *in silico* – wizualizacja (rys. 9 b, 9 c).



Rys. 9. Zegrze Umocnienie Duże - maksymalna widoczność z punktu na drodze (a); widok na NMF i chmurę punktów przed otwarciem (b) i po usunięciu części roślinności (c)

5. WNIOSKI

Uzyskane wyniki przeprowadzonych analiz pozwalają na stwierdzenie, że zastosowanie danych z ISOK może być wykorzystane do analizy topografii zespołów fortyfikacji. Geoprzestrzenne dane mogą być użyte na wielu poziomach dokładności, zachowując jednocześnie bardzo dużą czytelność i wysoką szczegółowość, w przeciwieństwie do tradycyjnych podkładów geodezyjnych (map zasadniczych i topograficznych). Dzięki temu mogą być wykorzystywane na trzech z czterech poziomów szczegółowości (rozd. 2.1), od poziomu zespołu do poziom elementu obiektu obronnego.

Analizując chmury punktów, znajdujące się w Państwowym Zasobie Geodezyjnym i Kartograficznym, stwierdzono błędy w ich klasyfikacji. Błędy dotyczyły zarówno źle sklasyfikowanych fragmentów umocnień jak i całych obiektów. Dlatego też niezbędna jest korekta klasyfikacji, zwłaszcza w zastosowaniach na wyższych poziomach szczegółowości. Błędna klasyfikacja całych obiektów ziemnych ogranicza możliwość bezpośredniego wykorzystania NMT, z ISOK. W badaniach fortyfikacji należy wykorzystywać dane pomiarowe w postaci chmur punktów, sprawdzając poprawność ich klasyfikacji.

Należy pokreślić, że chmury punktów pozwalają przeprowadzić identyfikację fortyfikacji, jak i inne analizy przestrzenne w znacznie prostszy sposób, niż tradycyjne opracowania kartograficzne. Dokładność danych pozyskiwanych na potrzeby projektu ISOK (rozd. 2.2) umożliwia wykorzystywanie NMF jako podkładu do projektowania i analiz przestrzennych, gdzie nie jest konieczne wykorzystanie mapy do celów projektowych, czyli tam, gdzie dotychczas korzystano głównie z map topograficznych.

Zastosowanie danych z ISOK na wyższych poziomach dokładności wymaga dalszej weryfikacji danych, ze uwzględnieniem wpływu pokrycia terenu i terminu wykonania nalotu. Zaletą korzystania z tych danych jest łatwość połączenia wykonywanych analiz w ramach systemów GIS w spójny i łatwo dostępny system informacji o obiekcie.

6. PODZIĘKOWANIA

Autorzy składają serdeczne podziękowania prof. Piotrowi Molskiemu, dr. Marcinowi Górskiemu i dr. Cezaremu Głuszkowi za konsultacje w sprawach merytorycznych i udostępnienie materiałów archiwalnych oraz p. Piotrowi Woźniakowi, kierownikowi projektu ISOK (GUGiK), za udostępnienie projektu zasięgu terenowego ISOK.

7. BIBLIOGRAFIA

- Hyypä, H., Yu, X., Hyypä, J., Kaartinen, H., Honkavaara, E., Rönnholm P., 2005. Factors affecting the quality of DTM generation in forested areas. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVI, s. 85-90.
- Jarząbek J., Kurczyński Z., Woźniak P., 2011. Informatyczny System Osłony Kraju przed nadzwyczajnymi zagrożeniami. *GEODETA* nr 5 (192), maj 2011, s. 12-17.
- Kurczyński Z., 2010. Trendy w pozyskiwaniu danych lotniczych. XII Konferencja Ośrodki Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej "Na progu nowej legislacji", Elbląg, 22-23 Kwietnia 2010, Materiały Konferencyjne, s. 114-123.
- Kurczyński Z., 2012. Metodyka tworzenia map powodziowych. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 23, s. 209-211.
- Michalska G. i Michalski Ł., 1997. *Twierdza Dęblin Iwanogród; Fort II Mierzwiczka; Studium ochrony i zagospodarowania obiektów i terenów po-fortecznych*, Lublin.
- Molski P., 2007. Ochrona i zagospodarowanie wybranych zespołów fortyfikacji nowszej w Polsce. Seria Architektura, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej; s. 5-30; 85-91.
- Reutebuch, S.E., McGaughey R.J., Andersen H.-E., Carson W.W., 2003. Accuracy of a high-resolution LIDAR terrain model under a conifer forest canopy. *Canadian Journal of Remote Sensing* 29(5), s. 527-53.
- Vosselman G., Mass H.-G., 2010. *Airborne and Terrestrial Laser Scanning*. Whittles Publishing, s. 137-166.

UTILIZATION OF AERIAL LASER SCANNING DATA IN INVESTIGATIONS OF MODERN FORTIFICATIONS COMPLEXES IN POLAND

KEY WORDS: aerial laser scanning, fortifications, point cloud classification

Summary

Due to the turbulent history extremely reach and unique resources of military architectural objects (modern fortification complexes) are located in Poland. The paper presents results of analysis of utilization of aerial laser scanning data for identification and visualization of forts in Poland. A cloud of point from the ISOK Projects has been utilized for that purpose. Two types of areas are distinguished in this Project, covered by products of diversified standards: standards II - laser scanning of the increased density (12 points per sq.m.), standard I - laser scanning of the basic density (4 points per sq.m.).

Investigations were carried out concerning the quality of geospatial data classification with respect to further topographic analysis of fortifications. These investigations were performed for four test sites, two test sites for each standard. Objects were selected in such a way that fortifications were characterized by the sufficient level of restoration and that at least one point located in forest and one

point located in an open area could be located for each standard. The preliminary verification of the classification correctness was performed with the use of ArcGIS 10.1 software package, basing on the shaded Digital Elevation Model (DEM) and the Digital Fortification Model (DFM), an orthophotomap and the analysis of sections of the spatial cloud of points. Changes of classification of point clouds were introduced with the use of TerraSolid software package. Basing on the performed analysis two groups of errors of point cloud classification were detected. In the first group fragments of fortification facilities were classified with errors; in the case of the second group - entire elements of fortifications were classified with errors or they remained unclassified. The first type error, which occurs in the majority of cases, results in errors of 2÷4 meters in object locations and variations of elevations of those fragments of DFM, which achieve up to 14 m.

At present, fortifications are partially or entirely covered with forests or invasive vegetation. Therefore, the influence of the land cover and the terrain slope on the DEM quality, obtained from Lidar data, should be considered in evaluation of the ISOK data potential for topographic investigations of fortifications. Investigations performed in the world proved that if the area is covered by dense, 70 year old forests, where forest clearance is not performed, this may result in double decrease of the created DTM. (comparing to the open area). In the summary it may be stressed that performed experimental works proved the high usefulness of ISOK laser scanning data for identification of forms of fortifications and for their visualization. As opposed to conventional information acquisition methods (field inventory together with historical documents), laser scanning data is the new generation of geospatial data. They create the possibility to develop the new technology, to be utilized in protection and inventory of military architectural objects in Poland.

Dane autorów:

Dr inż. Dorota Zawieska
e-mail: dorotaz8@wp.pl
telefon: +48 22 234 76 94

Inż. Wojciech Ostrowski
e-mail: w.ostrowski@vp.pl

Inż. arch. Michał Antoszewski
e-mail: michalantoszewski@gmail.com