

Ryszard Preuss

KAMERALNE ZAGĘSZCZENIE OSNOWY POŁOWEJ DLA BLOKU ZDJĘĆ O MINIMALNYM POKRYCIU

Streszczenie:

Obecnie cyfrowa ortofotomapa staje się jednym z podstawowych produktów fotogrametrycznych. Jest ona wykorzystywana do aktualizacji mapy topograficznej, tworzenia wtórnych opracowań tematycznych lub wręcz może stanowić odrębną warstwę w systemach GIS. Jednocześnie tworzone są bazy danych w postaci numerycznej. Przykładem takiej bazy, która docelowo ma pokrywać obszar całego kraju, jest Topograficzna Baza Danych. Mając do dyspozycji na obszarze generowania cyfrowej ortofotomapy NMT możemy wdrażać do praktyki produkcyjnej rozwiązania technologiczne bazujące na zdjęciach celowanych wykonywanych przy pokryciu podłużnym i poprzecznym jedynie 20% gwarantującym ciągłość pokrycia terenu. W niniejszym referacie są omówione aspekty technologiczne, dokładnościowe i ekonomiczne wykonania aerotriangulacji dla takiej geometrii zdjęć w bloku.

1. Wprowadzenie

Technologia kameralnego zagęszczenia osnowy połowej zwana aerotriangulacją przyczyniła się w sposób istotny do zwiększenia efektywności opracowań realizowanych metodami fotogrametrycznymi. Dzięki niej do minimum ograniczono prace terenowe uzyskując jednocześnie spójność i jednorodność opracowania na dużych obszarach objętych blokiem jednocześnie wyrównywanych zdjęć lotniczych. Obecnie aerotriangulacja w dalszym ciągu stanowi istotny etap opracowań fotogrametrycznych mimo, że na świecie są prowadzone już rejestracje bezpośrednio elementów orientacji zewnętrznej wykonywanych zdjęć poprzez zastosowanie sprzęgniętych z kamerą lotniczą systemów GPS i INS. W praktyce jednak pomiary tych systemów są obciążone błędami systematycznymi, które są skutecznie wyznaczone i korygowane dopiero w procesie aerotriangulacji. Tak więc proces aerotriangulacji będzie dalej stosowany pomimo, że zmienia się jego funkcja. Niestety te nowinki techniczne (systemy GPS i INS) nie są stosowane w krajowym wykonawstwie zdjęć lotniczych. W ostatnich latach były wykonane jedynie kilkakrotnie rejestracje środków rzutów z zastosowaniem techniki GPS z wykorzystaniem sprzętu firm zagranicznych do przeprowadzenia nalotów fotogrametrycznych. Obecny stan posiadania firm krajowych w sprzęt do wykonywania zdjęć lotniczych (kamery lotnicze, samoloty fotogrametryczne) jednoznacznie wskazuje, że w praktyce jesteśmy zdani na korzystanie z usługi firm zagranicznych w zakresie nalotów fotogrametrycznych. Myślę, że dzięki temu stanie się norma

zamawianie i stosowanie w praktyce produkcyjnej zdjęć lotniczych wykonywanych przy wspomaganie techniką GPS w zakresie nawigacji i precyzyjnego wyznaczenia środków rzutów. Należy podkreślić, że wykonanie dodatkowych pomiarów GPS podnosi koszty wykonania zdjęć w maksymalnym przypadku jedynie o 20% co w niewielkim stopniu wpływa na łączne koszty opracowania fotogrametrycznego. Do opracowań fotogrametrycznych będziemy więc dysponowali zdjęciami celowanymi oraz dodatkowymi obserwacjami środków rzutów do uwzględnienia w procesie aerotriangulacji. Jeżeli będziemy w sposób rutynowy uzyskiwać takie zdjęcia możemy pomyśleć o modernizacji technologii fotogrametrycznych w zakresie znacznie szerszym niż modyfikacja jedynie samego procesu aerotriangulacji. W niniejszym artykule jest przedstawiona koncepcja sporządzania cyfrowych ortofotomap na podstawie zdjęć lotniczych wykonanych przy minimalnym pokryciu podłużnym i poprzecznym oraz dostępnego archiwalnego Numerycznego Modelu Rzeźby Terenu. Koncepcja ta jest zweryfikowana poprzez praktyczne wykonanie aerotriangulacji dla takiej konfiguracji zdjęć. Uzyskane dokładności w zakresie wyznaczenia elementów orientacji zewnętrznej zdjęć wskazuje, że stosowanie zaproponowanego rozwiązania gwarantuje poprawność generowania cyfrowej ortofotomapy przy minimalnych nakładach finansowych z jednoczesnym wykorzystaniem produktów numerycznych dostępnych docelowo w TBD, a obecnie pilotowo realizowanych na obiektach pilotowych nadzorowanych przez GUGiK.

2. Propozycja technologii aerotriangulacji ze zdjęć lotniczych o minimalnym pokryciu.

Tradycyjnie dla potrzeb aerotriangulacji są wykonywane bloki zdjęć lotniczych o pokryciu podłużnym 60% i poprzecznym 20÷30%. Zdjęcia takie pozwalają nie tylko na wykonanie prawidłowo aerotriangulacji, ale również na przestrzenne opracowanie sytuacyjno-wysokościowe treści zdjęć lotniczych. Obecnie obserwujemy tendencję do zastępowania opracowania autogrametrycznego pomiarem na ortofotografii (technika Monoplotingu) szczególnie dotyczy to średnich skal opracowania. Do takiego podejścia wystarczyłoby wykonanie zdjęć lotniczych przy pokryciach podłużnym i poprzecznym 20% gwarantujących jedynie ciągłość pokrycia terenu. Oczywiście to rozwiązanie może być stosowane gdy do dyspozycji na obszar opracowania posiadamy Numeryczny Model Rzeźby Terenu. Pozostaje w dalszym ciągu problem określenia orientacji zewnętrznej zdjęć. Pomimo realizowanych już produkcyjnie w krajach zachodnich bezpośredniej rejestracji tej orientacji poprzez dodatkowe wykorzystanie systemów GPS i INS do tego celu należy wykorzystywać w dalszym ciągu aerotriangulację, która zapewni niezbędną spójność opracowania i wyeliminuje czynniki systematyczne obciążające pomiary GPS i INS. Oczywiście uwzględnienie tych pomiarów w procesie aerotriangulacji podniesie dokładność wyznaczenia szukanych parametrów orientacji zewnętrznej zdjęć. Rozwiązanie konfiguracji zdjęć lotniczych posiadających minimalne pokrycia podłużne i poprzeczne jest możliwe jedynie przy zastosowaniu metody analitycznej bazującej na równoczesnym wyrównaniu niezależnych wiązek w bloku zdjęć. Należy więc zastosować algorytm bazujący na warunku kolinearności ewentualnie rozszerzony o dodatkowe równania poprawek uwzględniające pomiary środków rzutów techniką GPS oraz pomiary zmian kątowych elementów orientacji przy pomocy techniki INS. Oprogramowanie do realizacji takiego zadania jest dostępne i w praktyce nie musi ono podlegać żadnej modyfikacji. Należy technicznie poprawnie zorganizować wyznaczenie współrzędnych tłowych punktów wyznaczanych i osnowy na zdjęciach wchodzący w skład wyrównywanego bloku. Stosowany tradycyjny sposób obserwacji

polegający na sekwencyjnym pomiarze kolejnych modeli w szeregach tutaj (ze względu na 20% pokrycie podłużne) nie może być zastosowany. W praktyce można zastosować następujące rozwiązanie procesu obserwacyjnego w zależności od stosowanego sprzętu:

- a) manualny pomiar monokularny punktów na autografie analitycznym po wcześniejszym kameralnym zamarkowaniu punktów wyznaczanych;
- b) automatyczny pomiar stereoskopowy na zeskanowanych zdjęciach lotniczych z wykorzystaniem procedur autokorelacji na fotogrametrycznych stacjach cyfrowych.

Rozmieszczenie punktów wyznaczanych winno być regularne i wynosić 3÷5 punktów w dowolnym pasie pokrycia zdjęć. Wymagania względem punktów osnowy polowej zostają zachowane takie same jak w przypadku wykonywania tradycyjnej aerotriangulacji.

Wyznaczone według jednego z proponowanych rozwiązań współrzędne tłowe stanowią dane inicjalne do zasadniczego wyrównania. Brak dodatkowych pomiarów GPS i INS w praktyce prowadzi do tego, że w procesie zasadniczego wyrównania są określane dopiero przybliżone wielkości wyznaczanych wielkości oraz wykrywane ewentualne błędy grube. Oczywiście bez tych dodatkowych pomiarów określana współrzędna Z punktów wyznaczanych jest mniej dokładna niż w tradycyjnej aerotriangulacji. Dodatkowym mankamentem jest również to, że większość punktów wyznaczanych jest obliczana jedynie z pary promieni homologicznych, co obniża detekcję błędów grubych.

Zaproponowane rozwiązanie technologiczne jest najkorzystniej stosować przy wykorzystaniu do obserwacji procedur „multi-foto” dostępnych w technice cyfrowej eliminujące potrzebę kameralnego nakłuwania punktów wyznaczanych.

3. Charakterystyka wykorzystywanych materiałów.

W maju 1995 roku po raz pierwszy w Polsce wykonano nalot fotogrametryczny bloku zdjęć lotniczych z jednoczesną precyzyjną rejestracją środków rzutów dla celów aerotriangulacji. Prace te wykonało Państwowe Przedsiębiorstwo Geodezyjno-Kartograficzne przy współpracy z niemiecką firmą S.I.G. AERIAL SURVEY. Zdjęcia panchromatyczne w skali 1:6250 były sporządzone dla potrzeb tworzenia numerycznej mapy miasta Poznania. Zdjęcia te zostały wykonane kamerą LMK 3000 zainstalowaną na samolocie Cessna TU 206G. Proces nalotu jak i momenty rejestracji były sterowane przy pomocy systemu nawigacyjnego CCNS 4 zgodnie z wcześniej zaprogramowanymi parametrami. Do rejestracji środków rzutów użyto systemu CCNS AEROcontrol pozwalającego na różnicowe wyznaczanie pozycji techniką GPS względem stacji naziemnej zlokalizowanej na punkcie osnowy geodezyjnej. W efekcie zarejestrowano blok 654 zdjęć rozmieszczonych w 22 szeregach.

Dzięki współpracy z firmą GEOPOZ realizującą mapę numeryczną m. Poznania na wydziale Geodezji i Kartografii P.W. przeprowadzono prace eksperymentalne weryfikujące efektywność w aerotriangulacji z wykorzystaniem środków rzutów określonych techniką GPS. W tym celu przeprowadzono pomiary terenowe punktów osnowy polowej również z zastosowaniem techniki GPS. Poniżej są przytoczone praktyczne rezultaty jakie uzyskano przy wykonaniu aerotriangulacji z wykorzystaniem środków rzutów określonych techniką GPS.

- lokalizacja i liczba wykorzystywanych punktów:

32 f-punktów, 10 z-punktów;

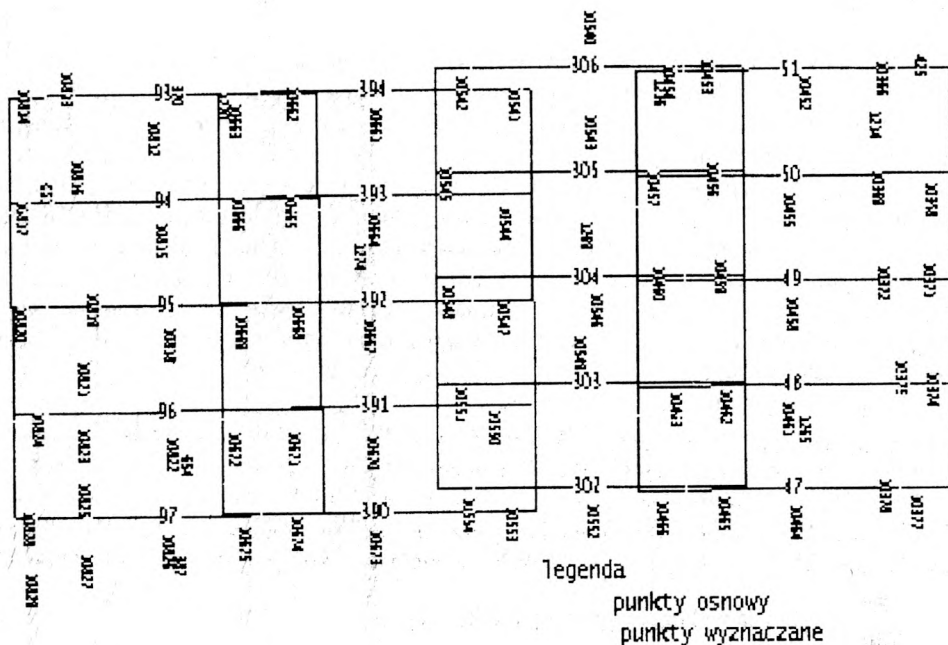
- obserwacje wykonane na autografie analitycznym P 3 z tolerancją 15 μm ;
- wyrównanie programem PAT B-GPS (metoda niezależnych wiązek z warunkami na obserwacje geodezyjne);
- uzyskane błędy wpasowania w osnowę terenową:

$$mp = \pm 5.1 \text{ cm}, mh = \pm 2.1 \text{ cm};$$

- dokładność określenia punktów nowo wyznaczanych (w skali zdjęć):

$$\sigma_0 = \pm 8.2 \mu\text{m}.$$

Cytowane prace wykazały, że dzięki zastosowaniu dodatkowych pomiarów geodezyjnych środków rzutów techniką GPS stało się możliwe w praktyce 7-krotne zmniejszenie liczby punktów osnowy terenowej przy zachowaniu niezmięnionej dokładności ostatecznych wyników. Szczegółowe rezultaty tego eksperymentu były omawiane przez autora wcześniej w innych publikacjach. Materiały źródłowe uzyskane w omówionym eksperymencie zostały wykorzystane do przeprowadzenia praktycznych obliczeń na bloku zdjęć o minimalnym pokryciu podłużnym i poprzecznym. Do tego celu z cytowanych 654 zdjęć wybrano regularny podblok (cztery szeregi po 5 zdjęć w szeregu) dla których sporządzono wtórne diapozytywy stanowiące podstawowy materiał zdjęciowy do badań testowych omówionych w kolejnych rozdziałach. Konfiguracja tak wybranego bloku zdjęć jest przedstawiona na rysunku nr 1.



Rys. 1. Konfiguracja bloku zdjęć z standardowym pokryciem $p=60\%$, $q=20\%$

4. Omówienie wyników prac testowych.

Dla wybranego podbloku zostały wykonane obserwacje na autografie analitycznym P 3 firmy Zeiss w układzie pojedynczych stereogramów wykorzystując wszystkie kolejne zdjęcia, a więc również standardowe 60% pokrycie podłużne. W czasie pomiaru były obserwowane wszystkie punkty pokazane na rysunku 1- czyli punkty wyznaczane oraz punkty osnowy polowej. Dla tego bloku testowego były dodatkowo znane współrzędne środków rzutów określone techniką GPS oraz współrzędne punktów osnowy polowej. Po zakończeniu pomiarów zdjęć zostały przygotowane pliki współrzędnych tłowych w postaci wymaganej do realizacji obliczeń programem PATB-GPS firmy INPHO Stuttgart. Oprogramowanie to wymaga jedynie dwóch plików inicjalnych tj. pliku współrzędnych tłowych i pliku współrzędnych punktów osnowy polowej. W wyniku obliczeń są wyznaczane współrzędne punktów nowych (wiązących), elementy orientacji zewnętrznej zdjęć oraz poprawki systematyczne dla obserwacji fotogrametrycznych i GPS (dryft i shift). W efekcie więc stosując cytowane oprogramowanie można było zrealizować wariantowe wyrównania wybranego bloku testowego i prześledzić w sposób empiryczny zaproponowane rozwiązanie aerotriangulacji bloku zdjęć z minimalnym pokryciem podłużnym i poprzecznym.

Dla przeprowadzenia właściwych analiz wykonano następujące obliczenia:

Wariant 1.

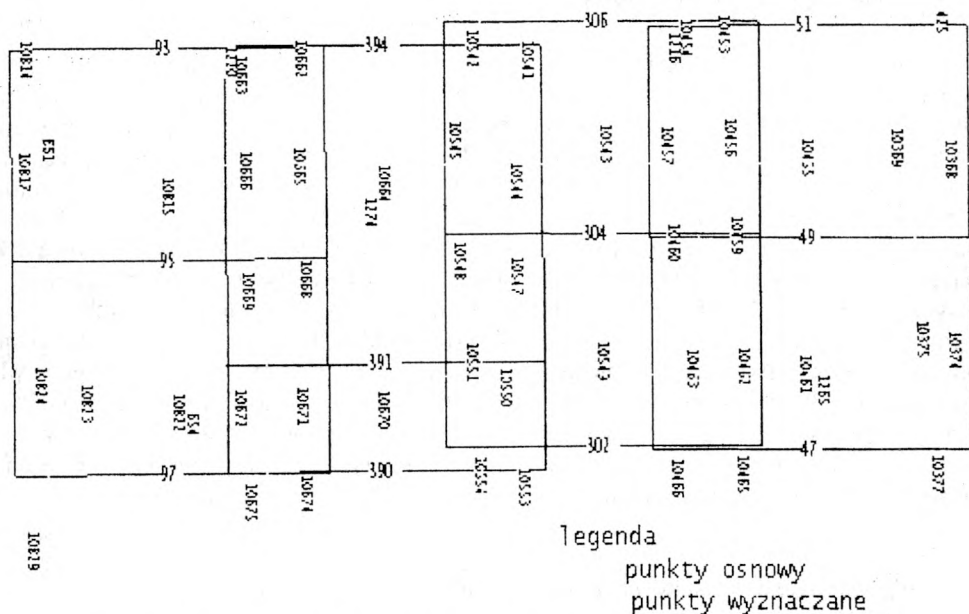
Wyrównanie standardowego bloku zdjęć (60% pokrycie podłużne i 20% pokrycie poprzeczne) w konfiguracji pokazanej na rysunku 1 wraz z uwzględnieniem dodatkowych pomiarów środków rzutów techniką GPS. Uzyskany w wyniku obliczeń plik punktów wyznaczanych w trakcie analiz był traktowany jako wzorcowy i umożliwił przeprowadzenie oceny numerycznej pozostałych wariantów wyrównywanego bloku testowego.

Wariant 2.

Wyrównanie bloku zdjęć z minimalnym pokryciem podłużnym 20% i poprzecznym 20%. Blok ten powstał w wyniku wykasowania obserwacji współrzędnych tłowych co drugiego zdjęcia w każdym szeregu. Uzyskany w wyniku tego zabiegu efekt jest pokazany na rysunku nr 2. Rozmieszczenie i liczba punktów osnowy polowej została zachowana z wariantu 1.

Wariant 3.

Wyrównanie bloku zdjęć z minimalnym pokryciem podłużnym 20% i poprzecznym 20% wraz z uwzględnieniem dodatkowych pomiarów środków rzutów wyznaczonych techniką GPS. Rozmieszczenie punktów wyznaczanych i osnowy polowej została zachowana z wariantu 2 i jest zgodna z pokazaną na rysunku 2.



Rys. 2.: Konfiguracja bloku zdjęć z standardowym pokryciem $p = 20\%$, $q = 20\%$

W poszczególnych wariantach wyrównania uzyskano zbliżoną statystyczną charakterystykę przeprowadzonego procesu i uzyskano średni błąd typowej obserwacji $\sigma_{m_0} \sim 6 \mu\text{m}$. Dla oceny wykonanych aerotriangulacji bloków zdjęć z minimalnym pokryciem podłużnym i poprzecznym dokonano numerycznego porównania wyników uzyskanych w wariantach 2 i 3 z wynikami wariantu 1. Jak już wcześniej wspomniano wyniki obliczeń w tym wariantcie zostały uznane jako wzorcowe. Na podstawie wszystkich różnic współrzędnych dla każdego punktu uzyskano następujące charakterystyki:

Wariant 2 – Wariant 1:

Średnie wartości różnic współrzędnych wynoszą odpowiednio:

$$\begin{aligned} mX &= 0.046 & mY &= 0.051 & mZ &= 0.195 \\ \text{Max } X &= -0.115 & \text{Max } Y &= -0.199 & \text{Max } Z &= 0.538 \end{aligned}$$

Przeciętne wartości różnic wynoszą:

$$\text{Przec } X = -0.001 \quad \text{Przec } Y = -0.017 \quad \text{Przec } Z = 0.073$$

Wariant 3 – Wariant 1:

Średnie wartości różnic współrzędnych wynoszą odpowiednio:

$$MX = 0.057 \quad mY = 0.020 \quad mZ = 0.139$$

$$\text{Max X} = -0.235 \quad \text{Max Y} = -0.050 \quad \text{Max Z} = -0.317$$

Przeciętne wartości różnic wynoszą:

$$\text{Przec X} = -0.026 \quad \text{Przec Y} = 0.003 \quad \text{Przec Z} = -0.092$$

Zestawione wartości różnic średnich i przeciętnych wskazują, że analizowane warianty wyrównania bloków zdjęć z minimalnym pokryciem gwarantują poprawne wyznaczenie współrzędnych sytuacyjnych natomiast współrzędne wysokościowe są obciążone czynnikiem systematycznym. Uwzględnienie dodatkowych obserwacji w postaci środków rzutów wyznaczonych techniką GPS wyraźnie zmniejsza ten systematyczny charakter. W zakresie błędów maksymalnych następuje 70% poprawa.

Dla zilustrowania szczegółowego charakteru błędów jakie są efektem zastosowanej konfiguracji zdjęć w wyrównanym bloku poniżej zamieszczono wykaz odchyłek uzyskany w wyniku porównania wariantu 3 z wariantem 1. W tym wykazie umieszczono jedynie odchyłki większe od 10 cm dla dowolnej porównywanej współrzędnej. Wartości różnic do 10 cm uznano jako granicznie dopuszczalne przy wykorzystaniu danej skali zdjęć.

Analiza szczegółowa maksymalnych odchyłek wysokościowych wskazuje, że posiadają one systematyczny charakter w funkcji lokalizacji punktów w bloku. Błędy te narastają w stosunku do środka bloku. Z tego wynika, że taki blok zdjęć należałoby również zabezpieczyć w Z-punkty rozmieszczone w środku bloku co powinno skutecznie ograniczyć i zmniejszyć czynnik systematyczny dla wyznaczanej współrzędnej Z.

Pomimo występujących systematycznych różnic w analizowanym bloku z minimalnym pokryciem zdjęć uzyskane wartości średnie wskazują, że zaproponowane rozwiązanie technologiczne w pełni gwarantuje uzyskiwanie dokładności zgodnych z wymogami instrukcji G 1.8.

WYKAZ UZYSKANYCH RÓŻNIC

NR	X	Y	Z
654			-0.169
661			-0.302
1265	-0.101		
1274			-0.200
10368			-0.296
10369			-0.240
10374	-0.235		
10375	-0.194		
10455			-0.170
10462			-0.104
10549			-0.119
10664			-0.165
10665			-0.210
10666			-0.239
10668			-0.149
10669			-0.230
10670			-0.102
10671			-0.170
10672			-0.208

WYKAZ UZYSKANYCH RÓŻNIC cd.

NR	X	Y	Z
10815			-0.290
10817			-0.317
10822			-0.184
10823			-0.221
10824			-0.251

5. Podsumowanie.

Omówione w niniejszym artykule eksperymenty numeryczne potwierdziły możliwość wykonywania aerotriangulacji dla bloku zdjęć z minimalnym pokryciem podłużnym i poprzecznym. W praktyce przy realizacji takiego rozwiązania możemy zachować warunki standardowej aerotriangulacji w zakresie lokalizacji i rozmieszczenia punktów wyznaczanych oraz punktów osnowy polowej. Zastosowanie na etapie pomiaru współrzędnych tłowych punktów stacji cyfrowych z procedurami autokorelacji znacznie zwiększa efektywność wykonywania aerotriangulacji według zaproponowanej koncepcji. Wykonywana przy tych warunkach aerotriangulacja charakteryzuje się niższą dokładnością wyznaczania współrzędnej Z. Poprawę dokładności wyznaczania tej współrzędnej możemy osiągnąć poprzez dodatkowe wykorzystanie środków rzutów określanych techniką GPS oraz dodanie z-punktów wewnątrz wyrównywanego bloku. Przeprowadzone badania wykazały więc, że dla celów sporządzania cyfrowych ortofotomap można projektować na obszarach o znanym NMT pokrycie pojedynczymi zdjęciami czyli wykonywać je z pokryciem podłużnym i poprzecznym jedynie 20%. Stosując dodatkowo do sporządzenia takich zdjęć kamery lotnicze ze stożkiem normalnokątnym ograniczymy wpływ błędów wysokościowych NMT i aerotriangulacji na kartometryczność finalnego produktu.

Recenzowała: dr inż. Regina Tokarczyk