



ZARZĄD DRÓG
WOJEWÓDZKICH W
KATOWICACH

Drony nad drogami



Przykłady zastosowania i ocena nowej techniki w pozyskiwaniu danych dotyczących dróg w zarządzie ZDW w Katowicach.



ZDW w Katowicach
Referat Geodezji
Bogdan Modrzewski

Program pilotażowy pozyskiwania danych dotyczących pasa drogowego metodami fotogrametrycznymi

ZDW w Katowicach zareagowało w 2014 roku na dynamiczny rozwój nowych technik fotolotniczych realizowanych przy pomocy latających systemów bezzałogowych tzw. dronów. Niskie koszty w stosunku do tradycyjnej fotogrametrii lotniczej skłoniły Zarząd do przeprowadzenia programu pilotażowego mającego wykazać przydatność opracowań powstałych przy pomocy rejestracji z bezzałogowych systemów fotolotniczych do zadań związanych z szeroko pojętą ewidencją dróg. I tak w drugiej połowie 2014 roku nad wybranymi odcinkami dróg pozostających w zarządzie ZDW w Katowicach pojawiły się obiekty latające nowej generacji...

Cel projektu:

- sprawdzenie przydatności zastosowania bezzałogowych systemów fotolotniczych dla ewidencji pasa drogowego w tym oznakowania pionowego i poziomego,
- uzupełnienie zasobów Elektronicznej Bazy Danych Przestrzennych ZDW w Katowicach o ortofotomapę wysokiej rozdzielczości dla obszarów o słabym bądź nieaktualnym pokryciu,
- poszerzenie zasobów EBDP o dane poszerzające zakres dostępnej informacji dotyczący parametrów pasa drogowego – profil podłużny i charakterystyczne przekroje poprzeczne oraz model 3d z możliwością generowania przekrojów.

Wybór odcinków dróg

Aby ocenić funkcjonalność i dokładność nowej metody pozyskiwania danych zróżnicowano realizowane odcinki pod wieloma kryteriami – wybrano odcinki o charakterze górskim i w terenie płaskim, odcinki zalesione, zabudowane i niezabudowane, odcinki niemodyfikowane oraz nowo zrealizowane. Nowe odcinki posiadające inwentaryzację powykonawczą zostały potraktowane jako realny test dokładności i wiarygodności opracowania. Do realizacji zadania wyłoniono wykonawcę – firmę **EUROSYSTEM S. A. z Chorzowa.**

Wytypowane odcinki:

1. Węzeł nad DK 1
Droga 2 jezdniowa – długość 1 km, szerokość pasa 150 m, obszar 15 ha
2. Obwodnica Pszczyny
Droga 1 jezdniowa – długość 4,5 km, szerokość pasa 70 m, obszar 32 ha
3. Obwodnica Żywca
Droga 1 jezdniowa – długość 2,2 km szerokość pasa 70 m, obszar 15,5 ha
4. Obwodnica Siewierza
Droga 1 jezdniowa – długość 1,3 km szerokość pasa 70 m, obszar 9 ha
5. DW 935 odc. Pszczyna – Żory
Droga 1 jezdniowa – długość 15 km szerokość pasa 70 m, obszar 105 ha
6. DW 908 odc. skrz. z DW 912 – Częstochowa
Droga 1 jezdniowa – długość 30,5 km szerokość pasa 70 m, obszar 213,5 ha

łącznie objęto projektem 55 km dróg wojewódzkich

Opis przedmiotu zlecenia:

Przedmiotem zlecenia była rejestracja pasa drogowego wybranych odcinków dróg wojewódzkich w pasie o szerokości 70 metrów przy użyciu bezzałogowego systemu lotniczego oraz opracowanie:

1. modelu 3D i wizualizacji 3D,
2. profilu podłużnego,
3. przekrojów poprzecznych (co 100m i w środku łuków),
4. ortofotomapy w układzie 2000 o rozdzielczości 2 lub 3cm,
5. porównania dokładności opracowanego profilu, przekrojów i wskazanych elementów z pomiarem powykonawczym,
6. inwentaryzacji oznakowania pionowego z jego lokalizacją.

Technologia fotolotnicza:

Do pozyskania zdjęć został wykorzystany bezzałogowy system fotolotniczy Bramor GEO. Cały system składa się z bezzałogowego statku latającego (samolotu) oraz naziemnej stacji kontroli służącej do obsługi statku w powietrzu. Lot odbywa się w sposób autonomiczny, zgodnie z przygotowanym wcześniej projektem lotu. Rejestracja zdjęć lotniczych odbywa się za pomocą aparatu SONY NEX-7 znajdującego się w kadłubie samolotu. Wykorzystany aparat należy do klasy bezlusterkowców, wyposażony jest w 24-megapikselową matrycę APS-C 'Exmor' HD CMOS oraz 30mm obiektyw.

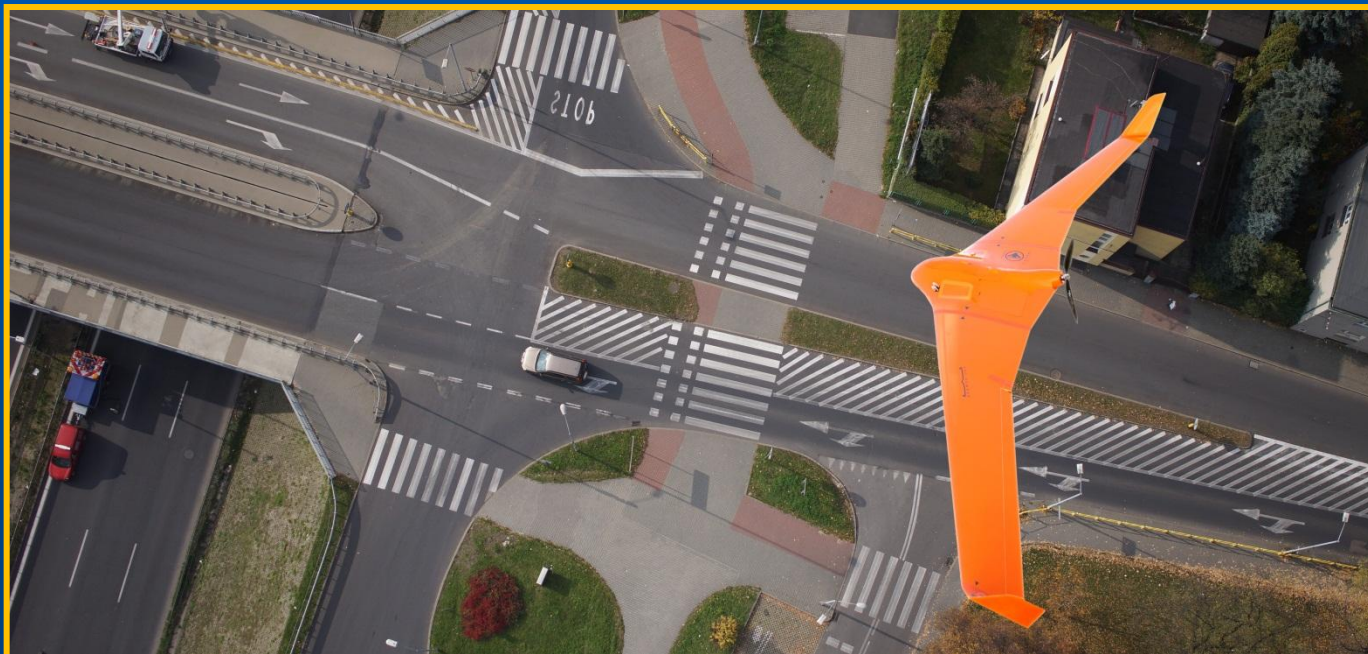


Technologia fotolotnicza:



Wykonywanie zdjęć:

Pozyskanie zdjęć odbywa się w sposób automatyczny zgodnie z projektem lotu i z ustalonym pokryciem podłużnym (wartością określającą procentowe nakładanie się na siebie sąsiadujących zdjęć). Podczas rejestracji każdego obrazu zapisywane są również elementy orientacji zewnętrznej zdjęć – współrzędne środka rzutu oraz trzy kąty określające nachylenie kamery i jej lokalizację w przestrzeni.



Szczegółowy opis prac

opis sporządzono na przykładzie opracowania tematu
północnej obwodnicy Żywca



Szczegółowy opis prac:

- **Prace przygotowawcze**
 - Analiza obszaru opracowania
 - Opracowanie projektu lotu fotogrametrycznego
- **Pomiary terenowe**
 - Stabilizacja i pomiar polowej osnowy fotogrametrycznej
 - Rejestracja zdjęć lotniczych

Analiza obszaru opracowania:

Pierwszym etapem prac była analiza opracowywanego terenu w oparciu o dostępne materiały kartograficzne. Sprawdzono ukształtowanie terenu (maksymalne przewyższenia), występowanie obiektów wysokich (np. kominów), a także przeanalizowano obowiązującą strefę lotniczą oraz występowanie lotnisk i lądowisk w sąsiedztwie obszaru opracowania. Obszar opracowania znajdował się w strefie lotniska niekontrolowanego w Międzybrodziu Żywieckim, dlatego konieczne było uzyskanie zgody na wykonanie lotu.

Projekt lotu fotogrametrycznego

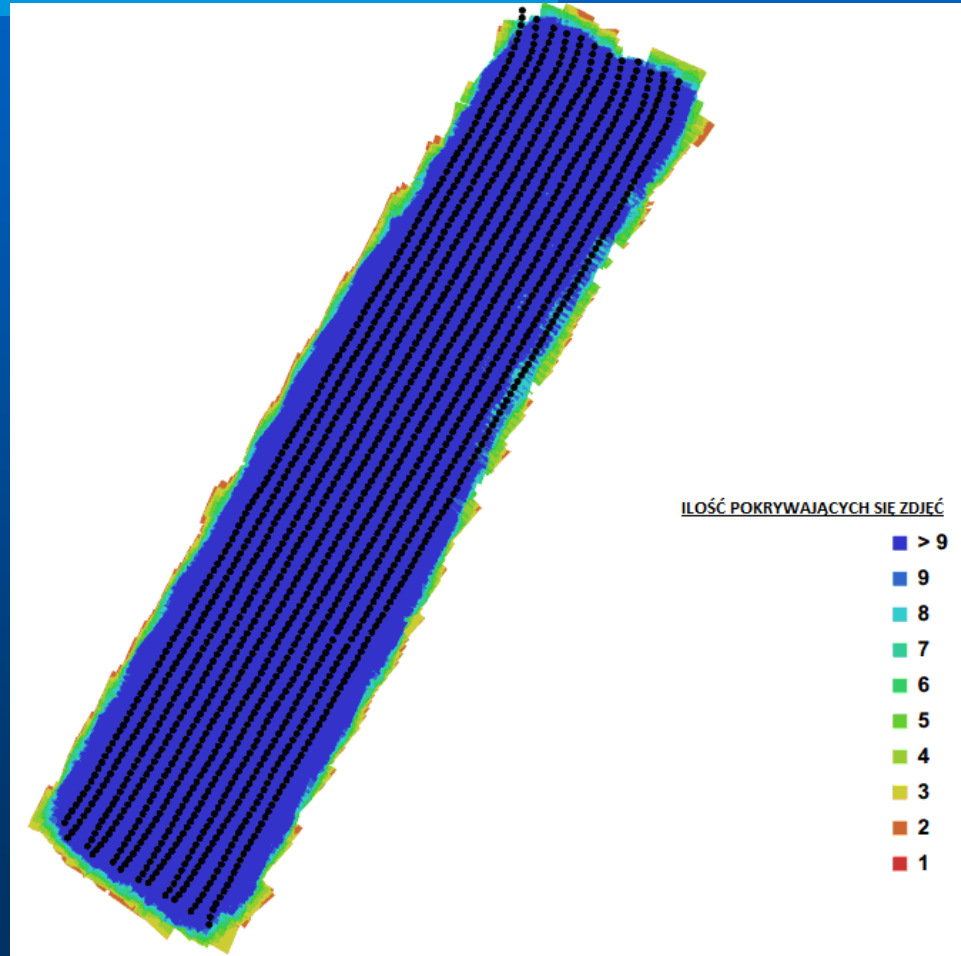
- Dane pozyskano podczas jednego nalotu



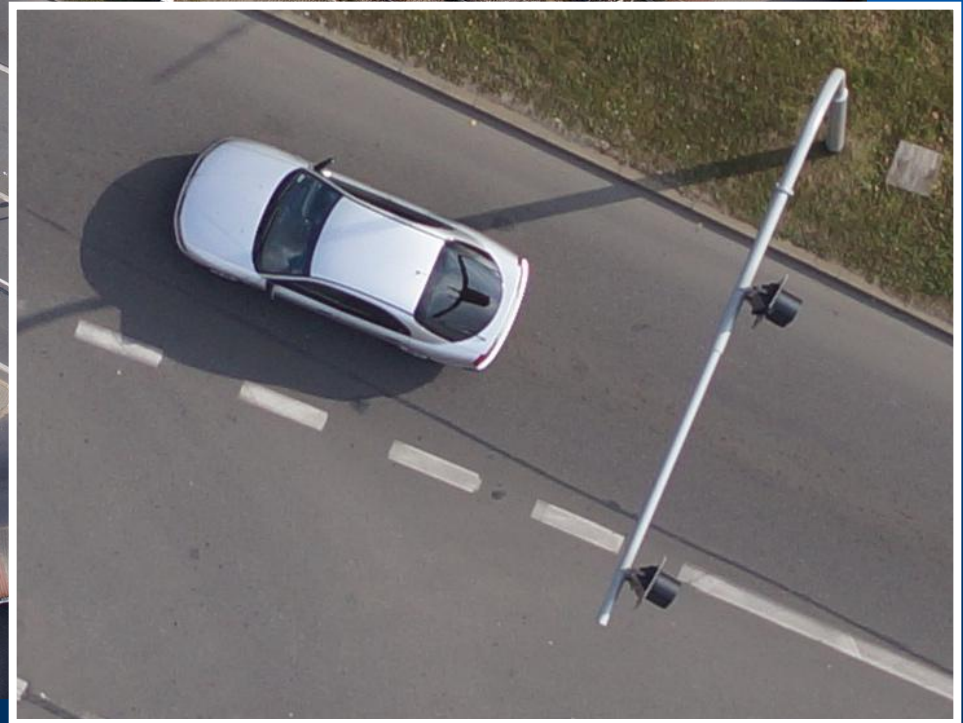
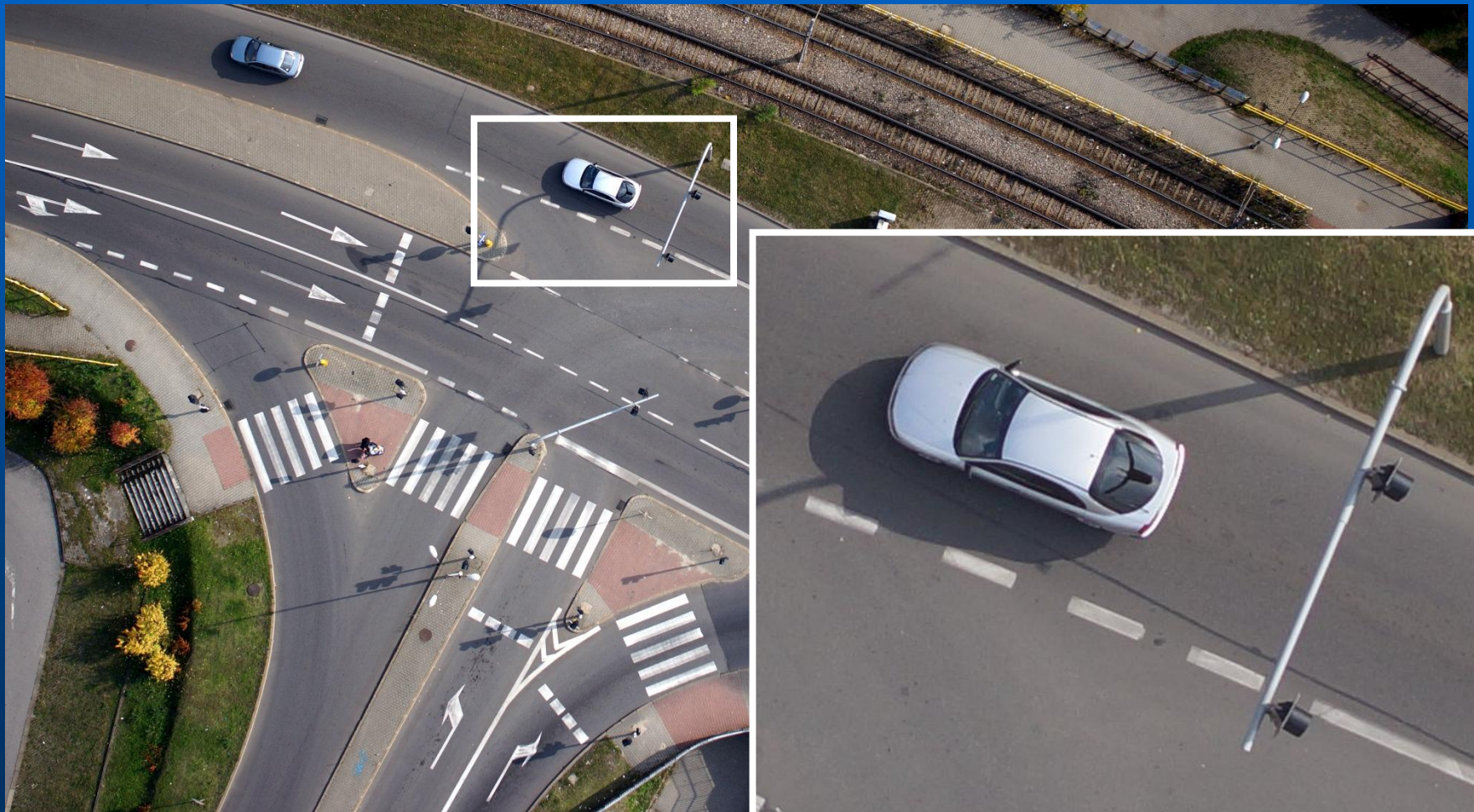
- Parametry lotu

Ilość zdjęć:	1615
Pokrycie podłużne	73%
Pokrycie poprzeczne	70%
Wysokość lotu:	210 m
Piksel terenowy:	0.027 m/piksel
Obszar objęty nalotem:	1.43 km ²

Wykonanie zdjęć



Zdjęcia lotnicze



Przetwarzanie danych

- **Aerotriangulacja**
- **Wygenerowanie modelu 3D**
- **Opracowanie ortofotomapy**
- **Opracowanie modelu 3D**
- **Opracowanie profilu podłużnego**
- **Opracowanie przekrojów poprzecznych**
- **Porównanie dokładności profilu, przekrojów i wskazanych elementów z pomiarem powykonawczym**
- **Inwentaryzacja oznakowania pionowego z jego lokalizacją**

Opracowanie modelu 3D

Po wyrównaniu aerotriangulacji i kontroli dokładności przeprowadzona została w sposób automatyczny dokładna rekonstrukcja powierzchni terenu. W tym celu została wykorzystana technika SfM (ang. *Structure from Motion*) wykorzystująca m.in. algorytm *feature matching* i *area based matching*, w wyniku której wygenerowana została barwna, gęsta chmura punktów o średniej gęstości 87.109 pkt/m². Wygenerowana chmura punktów (stanowiąca model 3D) posłużyła następnie do wygenerowania Numerycznego Modelu Pokrycia Terenu (NMPT) o rozdzielczości 10 cm, niezbędnego w procesie ortorektyfikacji.

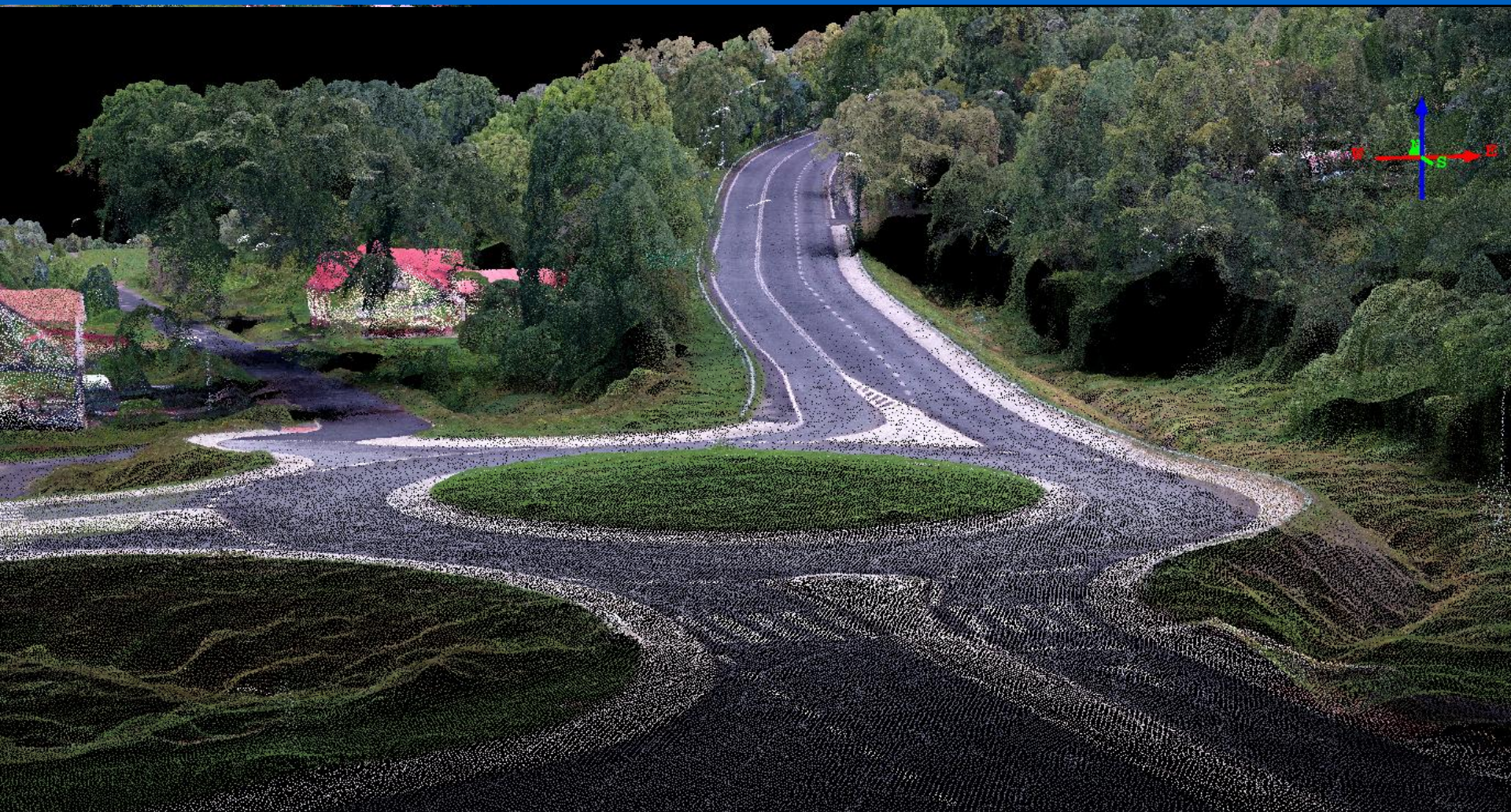
Wygenerowana gęsta chmura punktów jest produktem zbliżonym do chmury punktów ze skaningu laserowego, z tą różnicą, że powstaje wyłącznie na podstawie zdjęć, a nie penetracji terenu wiązką laserową. Różnica ta powoduje, że wygenerowana chmura punktów przedstawia wyłącznie obiekty widoczne na zdjęciu.

Numeryczny Model Pokrycia Terenu jest dyskretną (punktową) reprezentacją wysokości topograficznej powierzchni terenu oraz obiektów „wystających” ponad teren (np. obiektów urbanistycznych, roślinności).

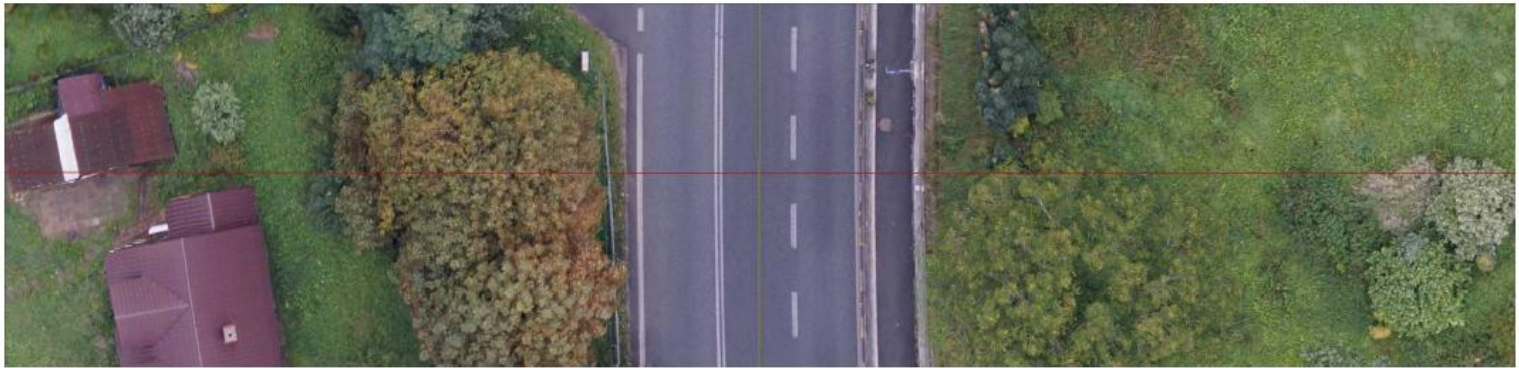
Wygenerowane produkty końcowe:

- model 3D (w postaci chmury punktów)
- wizualizacja
- ortofotomapa o pikselu 2 lub 3 cm
- przekrój podłużny drogi
- charakterystyczne przekroje poprzeczne
- inwentaryzacja oznakowania pionowego

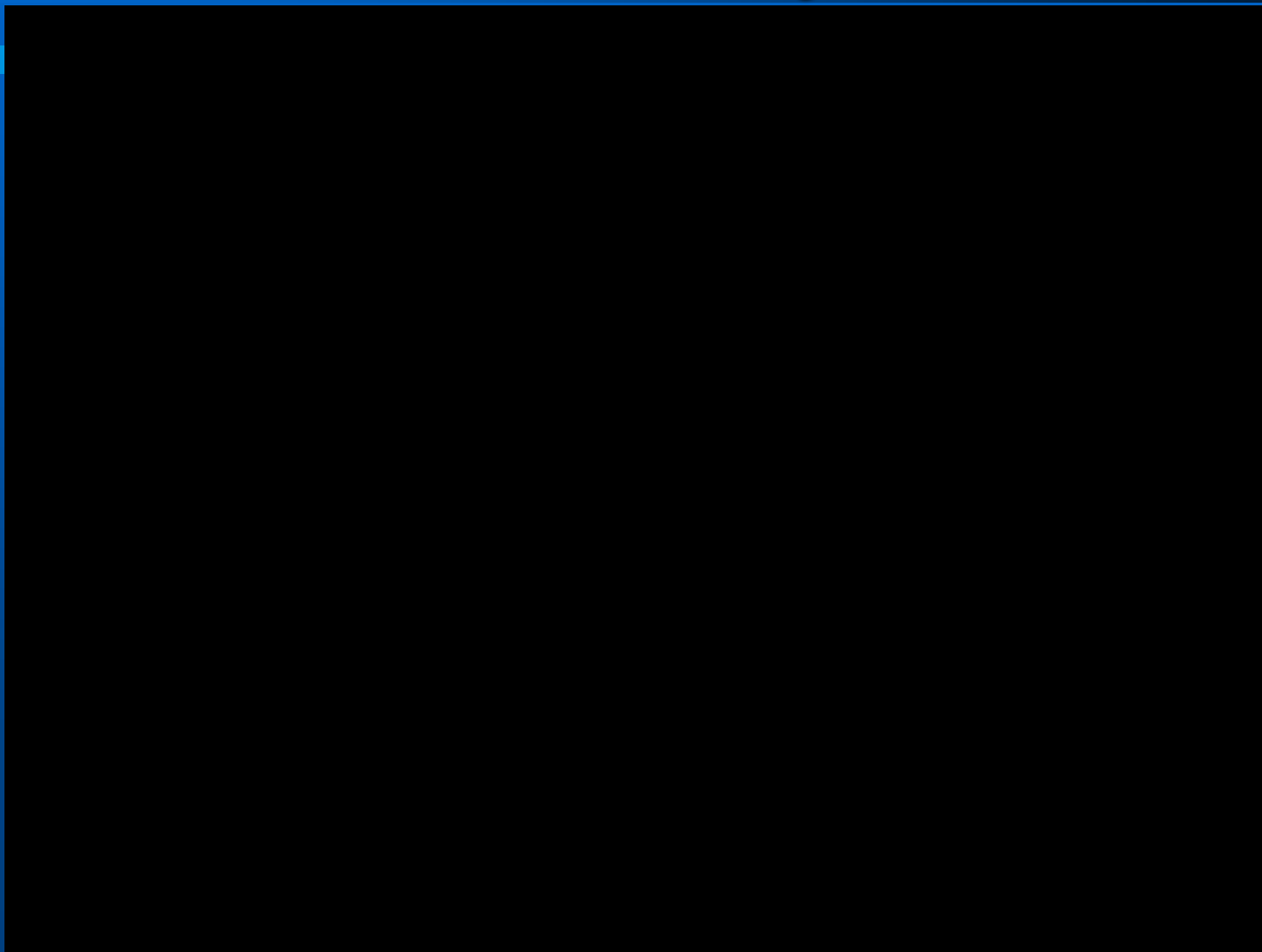
Model 3D



Model 3D

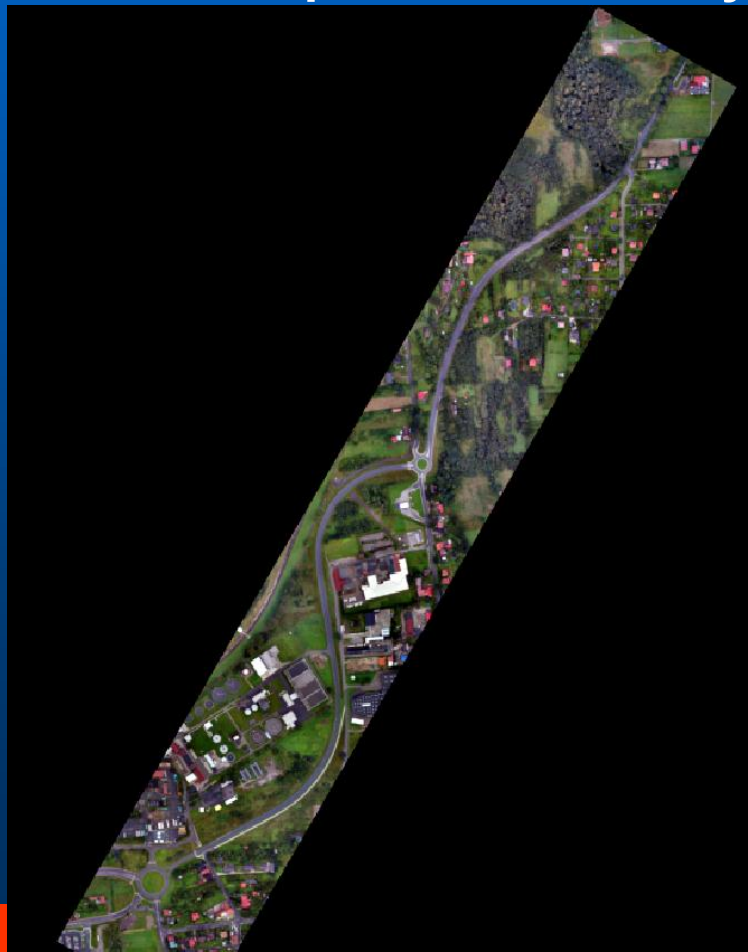


Wizualizacja 3D



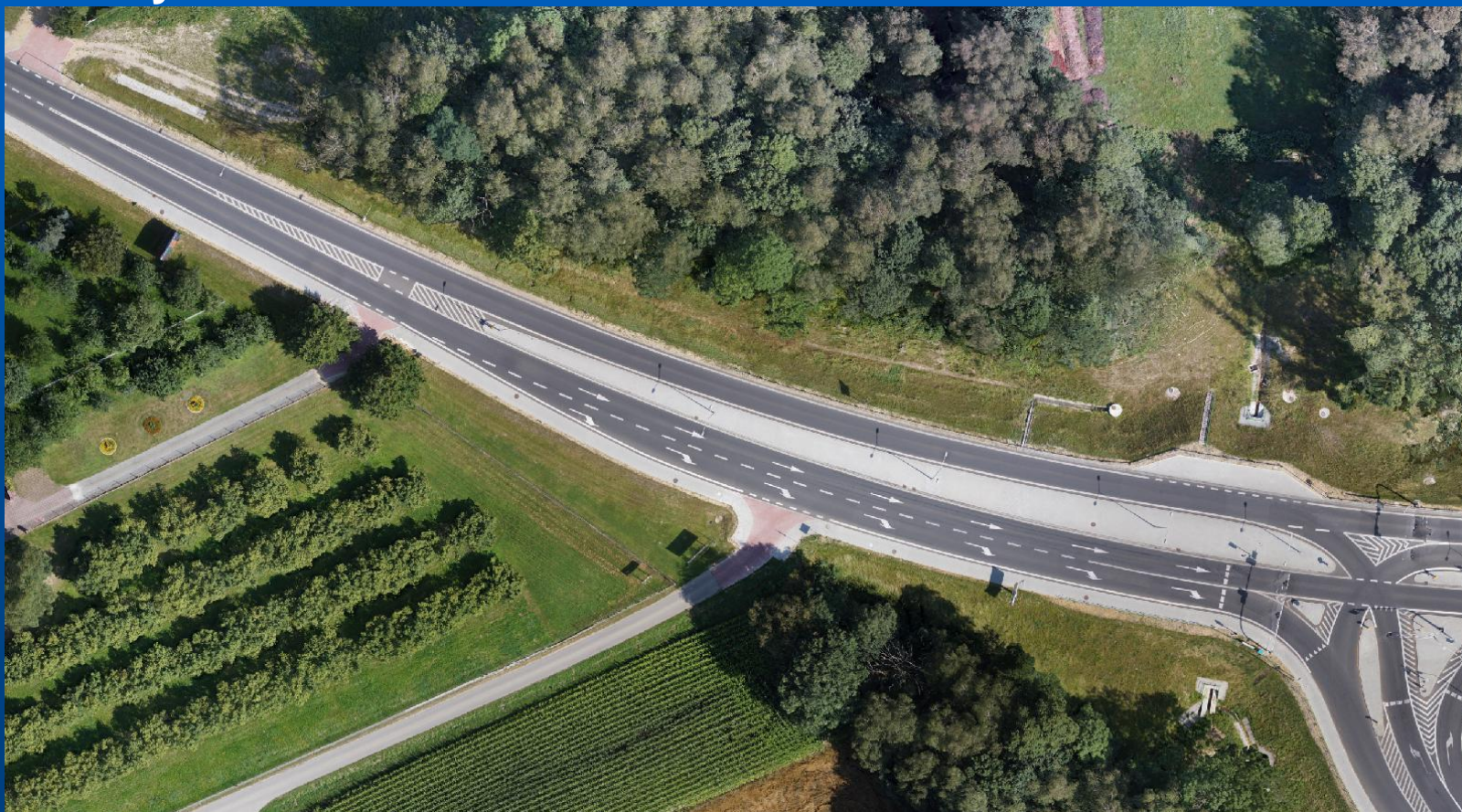
Ortofotomapa

- Opracowana ortofotomapa dla obwodnicy Żywca



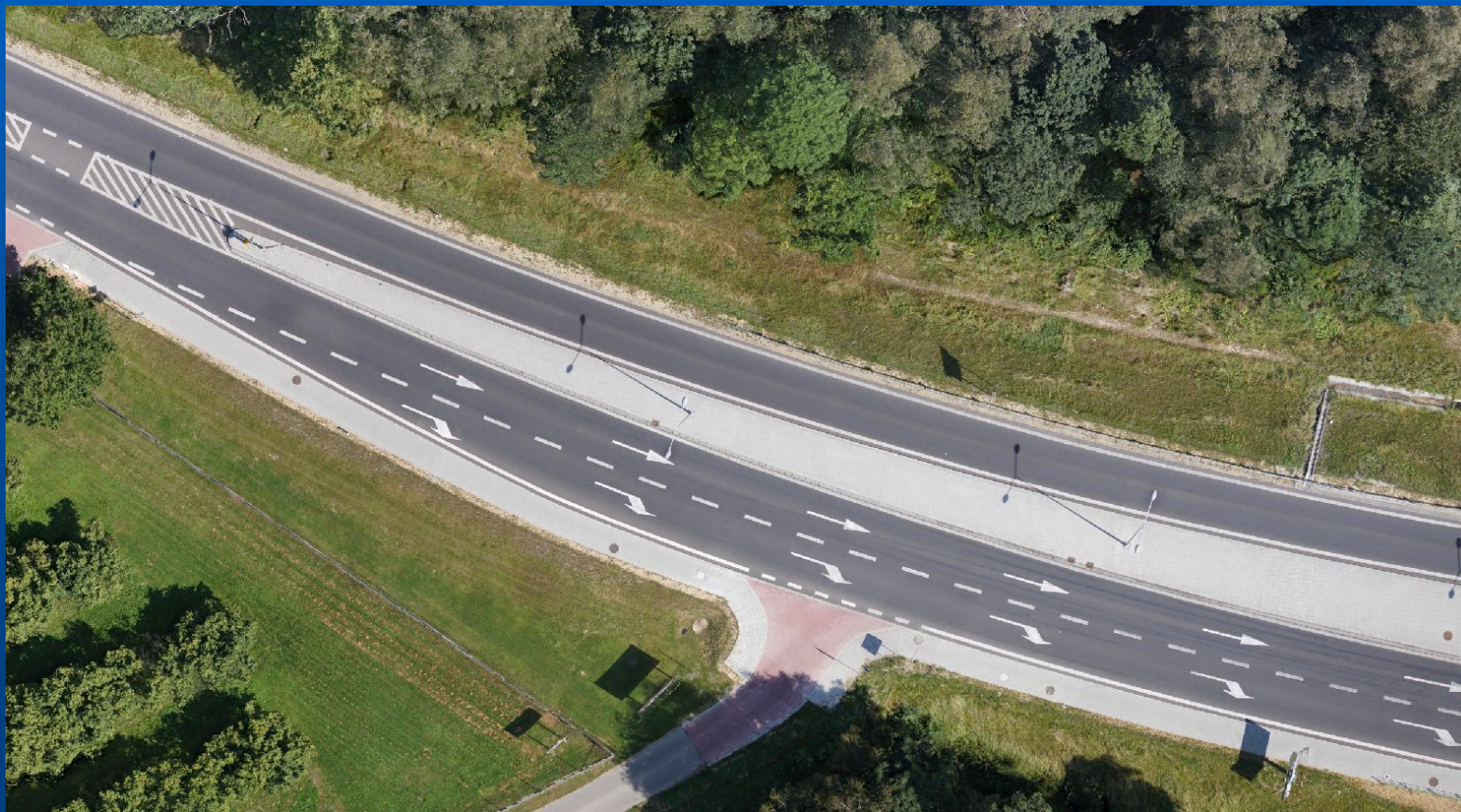
Ortofotomapa

- Przy skali 1: 500



Ortofotomapa

- Przy skali 1:250



Ortofotomapa

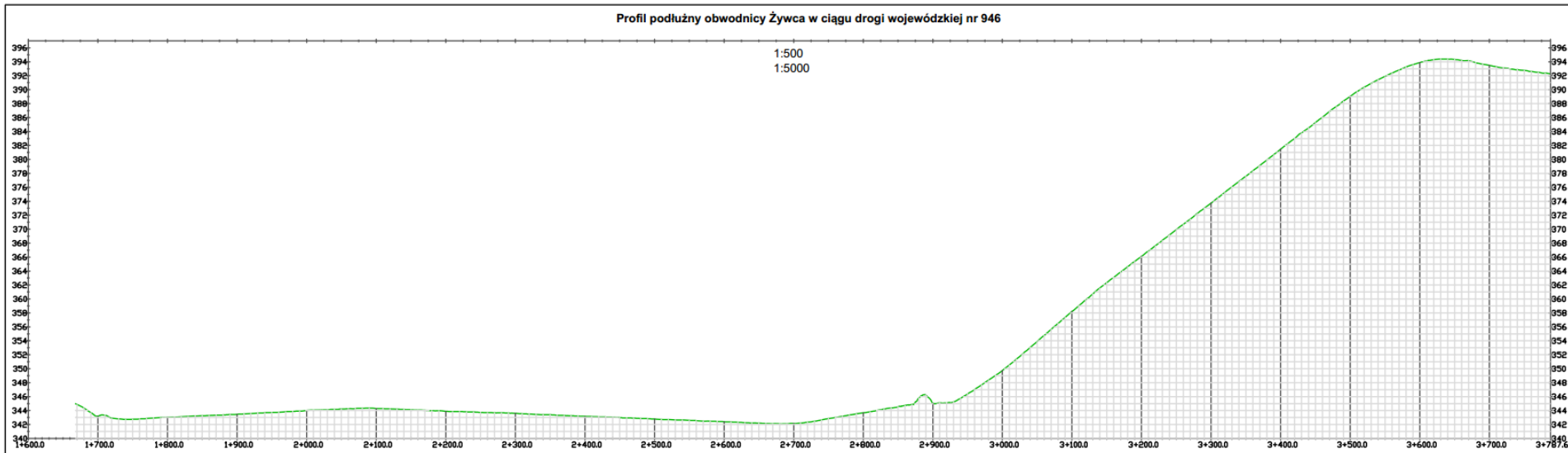
- Przy skali 1:100



Profil podłużny

Profil podłużny obwodnicy Żywca w ciągu drogi wojewódzkiej nr 946,
opracowany na podstawie danych pozyskanych przez bezzałogowy system fotolotniczy

Profil podłużny obwodnicy Żywca w ciągu drogi wojewódzkiej nr 946



Charakterystyczne przekroje poprzeczne

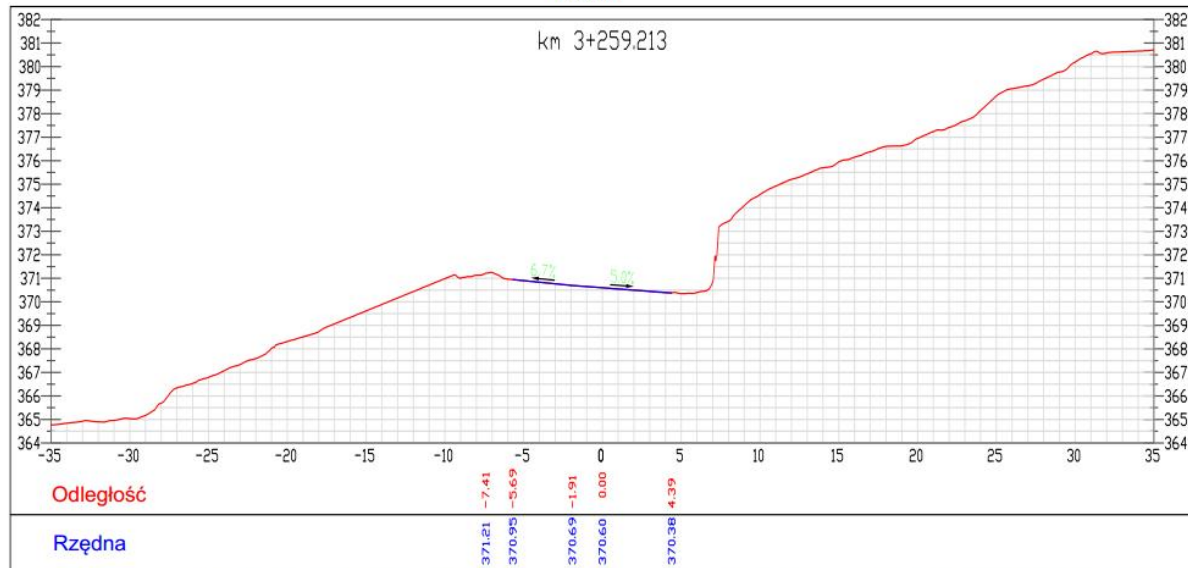


Przekrój poprzeczny

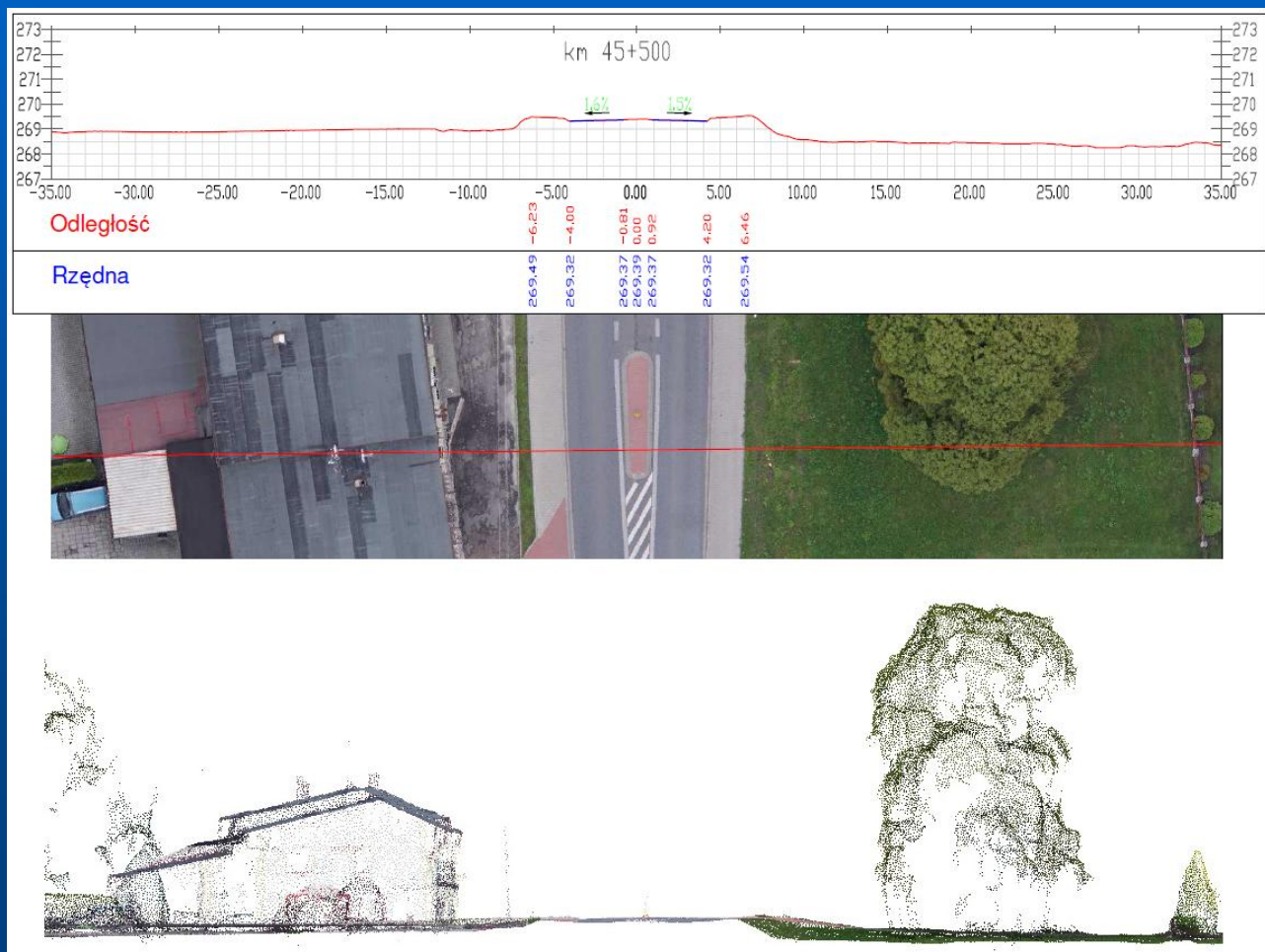
Obwodnica Żywca w ciągu drogi wojewódzkiej nr DW 946

1:200

1:300



Przykład z chmurą punktów



Inwentaryzacja oznakowania pionowego



ID_ZNAKU	X	Y	SYMBOL	PODPOR	ZDJECIE_1	ZDJECIE_2
946_1	6587154.66	5508485.12	J	1	946_1	
946_10b	6587008.79	5508317.29	W	2	946_10	
946_10a	6587009.24	5508316.67	W	2	946_10	
946_100	6586078.21	5506907.75	J	1	946_100	
946_101	6586061.38	5506911.97	J	1	946_101	
946_102	6586683.29	5507778.22	J	1	946_102	
946_103	6586695.05	5507774.36	J	1	946_103	
946_104	6586682.65	5507812.26	J	1	946_104	
946_105	6586674.20	5507800.76	J	1	946_105	
946_106	6586693.14	5507794.66	J	1	946_106	
946_11	6586873.18	5508230.53	J	1	946_11	
946_12	6586842.30	5508205.35	J	1	946_12	
946_13	6586831.59	5508194.82	J	1	946_13	
946_14	6586821.32	5508183.04	J	1	946_14	
946_15	6586811.51	5508171.09	J	1	946_15	
946_16	6586853.98	5508215.81	J	1	946_16	
946_17	6586786.49	5508130.25	J	1	946_17	
946_18	6586731.16	5507989.16	J	1	946_18	
946_19	6586717.69	5507930.32	J	1	946_19	
946_2	6587129.78	5508432.30	J	1	946_2	946_2a
946_20	6586711.82	5507902.63	J	1	946_20	
946_21c	6586704.11	5507873.23	W	3	946_21	
946_21b	6586705.03	5507873.22	W	3	946_21	
946_21a	6586705.73	5507873.21	W	3	946_21	

Podsumowanie



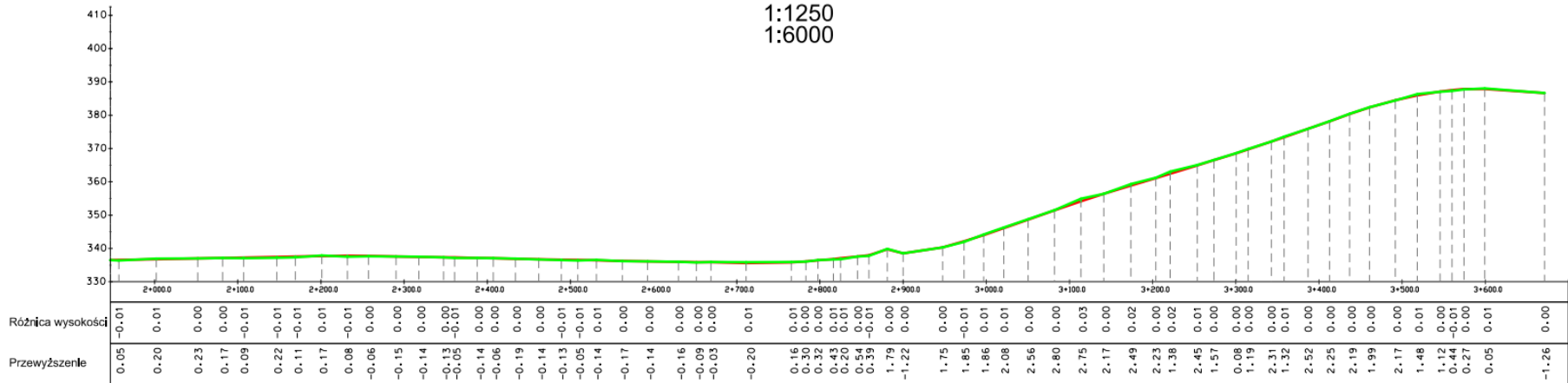
Analiza dokładności:

Ponieważ w zakres zlecenia weszły również nowo wybudowane odcinki dróg dla których ZDW posiadało pomiarowy pomiar wykonawczy można było wykonać niezależną analizę dokładności polegającą na porównaniu współrzędnych i rzędnych wybranych elementów pasa drogowego, oraz wygenerowanych przekrojów odczytanych z wykonanej ortofotomapy i modelu numerycznego pokrycia terenu z rzędnymi z pomiaru terenowego. Porównanie wykonano dla elementów obwodnicy Żywca i Pszczyzny. W obu wypadkach porównano profil podłużny, wybrane przekroje poprzeczne oraz wybrane charakterystyczne elementy pasa drogowego (pokrywy kanałów, przykanaliki, załamania krawężnika, itp.)

Profil podłużny porównawczy

PORÓWNANIE PROFILU PODŁUŻNEGO DLA OBWODNICY ŻYWCA

1:1250
1:6000



LEGENDA

POMIAR UAS

POMIAR POWYKONAWCZY

Przekrój poprzeczny porównawczy

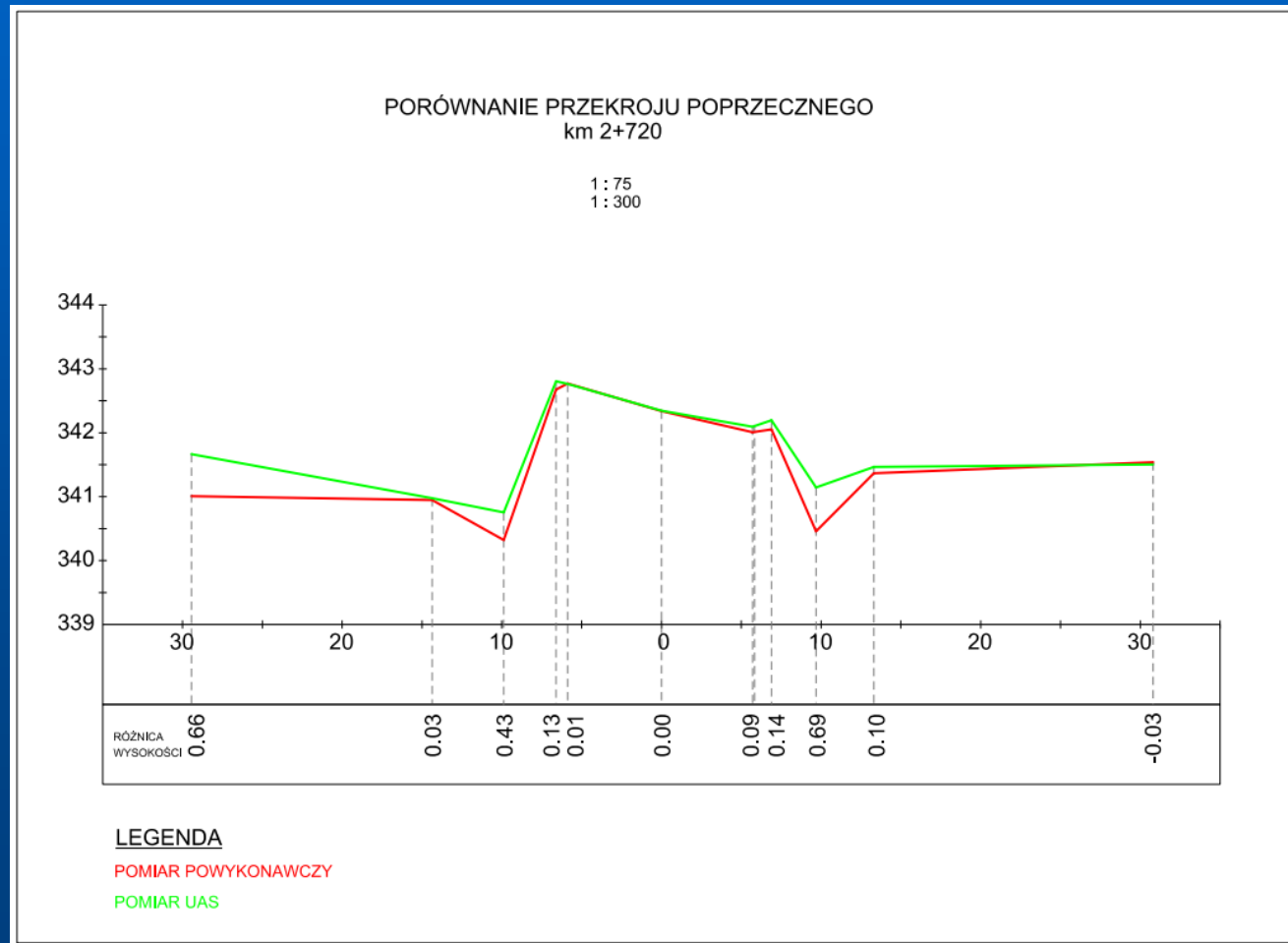


Tabela porównanych elementów:

Lp.	Wybrany element pasa drogowego	$\Delta X (X_{pom} - X_{UAS})$ [m]	$\Delta Y (Y_{pom} - Y_{UAS})$ [m]	$\Delta H (H_{pom} - H_{UAS})$ [m]
1	kratka ściekowa	0.046	0.003	-0.065
2	właz okrągły	-0.017	-0.043	-0.087
3	właz okrągły	-0.004	0.030	0.000
4	kratka ściekowa	-0.055	0.034	-0.067
5	właz okrągły	0.035	0.017	-0.111
6	kratka	0.027	-0.042	-0.080
7	właz prostokątny	0.011	0.034	0.012
8	właz okrągły	0.019	0.031	-0.042
9	właz okrągły	0.011	-0.027	0.024
10	właz okrągły	-0.036	0.005	0.022
11	właz okrągły	0.000	0.022	-0.027
12	właz okrągły	-0.004	0.026	-0.056
13	właz okrągły	-0.035	0.060	0.007
14	kratka ściekowa	0.004	0.009	-0.025
15	właz okrągły	0.002	0.049	0.019
	Błąd średni [m]	0.025	0.034	0.056

Ocena porównania dokładności:

Wykonawca zadania EUROSYSTEM S. A. z Chorzowa oferowała osiągnięcie dokładności 5 cm dla współrzędnych płaskich i 15 cm dla rzędnej wysokościowej względem geodezyjnego układu odniesienia.

Porównanie wyników względem pomiaru powykonawczego pozwala potwierdzić osiągnięcie tych parametrów. W wypadku elementów o jednoznacznym odwzorowaniu – jezdnia, włązy kanałów, betonowe elementy inżynierskie parametry dokładnościowe są zachowane lub są lepsze od zakładanych – przykładem profil podłużny dla obwodnicy Żywca gdzie średnia odchyłka pomiędzy pomiarami wybranych elementów pasa drogowego wyniosła 2,5 cm dla współrzędnej X; 3,4 cm dla wsp. Y oraz 5,6 cm dla wsp. H. Przy profilach poprzecznych im dalej od jezdni tym odchyłka z reguły jest większa ze względu na odczytywanie rzędnych pokrycia terenu a więc zieleni – np. mocno zarośnięty rów jest w odwzorowaniu dużo płytszy, teren z wysoką trawą wyższy itp...

Rozkład odchyłek



Rozkład odchyłek



Analiza porównawcza:

1. W porównaniu do fotogrametrii lotniczej
 - opłacalność zastosowania nawet dla niewielkiego zakresu i wąskiego korytarza opracowania,
 - duża ilość dni „lotnych” i duża mobilność (ze względu na pułap lotu),
 - wyższa rozdzielczość zdjęć
2. W porównaniu do skaningu laserowego
 - przy skaningu naziemnym (z pojazdu) nie otrzymamy ortofotomapy,
 - skaning lotniczy + ortofotomapa = dużo wyższe koszty,
 - model 3D otrzymujemy w kolorze – model ze skaningu jest monochromatyczny,

Analiza końcowa - plusy:

- szybkość opracowania
- brak utrudnień w ruchu drogowym
- wysoka jakość i szczegółowość ortofotomapy
- pozyskanie wysokiej jakości materiału wyjściowego do wykonania ewidencji oznakowania poziomego i pionowego
- pozyskanie wysokiej jakości materiału wyjściowego do wykonania aktualizacji ewidencji pasa drogowego

Analiza końcowa – minusy:

- niższa przydatność w terenie zadrzewionym
- błędy w odwzorowaniu wysokich pionowych elementów typu ekrany
- przysłanianie obrazu jezdni w wypadku dużego natężenia ruchu
- duże odchyłki w zakresie rzędnych wysokościowych na terenach zielonych i w przypadkach opracowania modelu dla jezdni z oznakowaniem poziomym najnowszej generacji

Dziękuję za uwagę.