

*Regina Tokarczyk*

*Dariusz Bułka*

## **PROGRAM *PHOTORECT* – NOWE NARZĘDZIE DO STOSOWANIA FOTOGRAMETRII W ANALIZIE WYPADKÓW DROGOWYCH**

### ***Streszczenie***

*W artykule przytoczono najważniejsze założenia charakterystyczne dla przekształcenia fotogrametrycznego, jakie wykorzystano w nowym programie komputerowym *PHOTORECT* firmy Cyborg Idea, oraz ogólnie scharakteryzowano metodykę pracy z programem.*

### ***Słowa kluczowe***

*Fotogrametria, rzut środkowy, rzut perspektywiczny, kamera fotograficzna, punkty dopasowania, program *PHOTORECT*.*

\* \* \*

### ***1. Podstawy fotogrametrii***

Fotogrametria to dziedzina nauk technicznych i technologia wytwarzania (pozyskiwania) obiektywnych informacji o przedmiotach, obiektach i ich otoczeniu, poprzez zapis, przetwarzanie, analizę, pomiar i interpretację obrazów lub zróżnicowanych rozkładów odbitej czy też emitowanej energii elektromagnetycznej. Informacja, jaką zajmuje się fotogrametria, dotyczy geometrii obiektów, ich wzajemnego usytuowania lub położenia na powierzchni Ziemi, a nawet w odniesieniu do ciał pozaziemskich. Materiałem pomiarowym fotogrametrii jest w przeważającej większości zdjęcie. Zdjęcie wykonane kamerą specjalnie przystosowaną do opracowań (*kamerą fotogrametryczną* analogową lub cyfrową), obraz satelitarny, ale równie dobrze może to być to zdjęcie ze zwykłego, cyfrowego aparatu fotograficznego lub otrzymane poprzez zeskanowanie zdjęcia wykonanego metodą analogową.

---

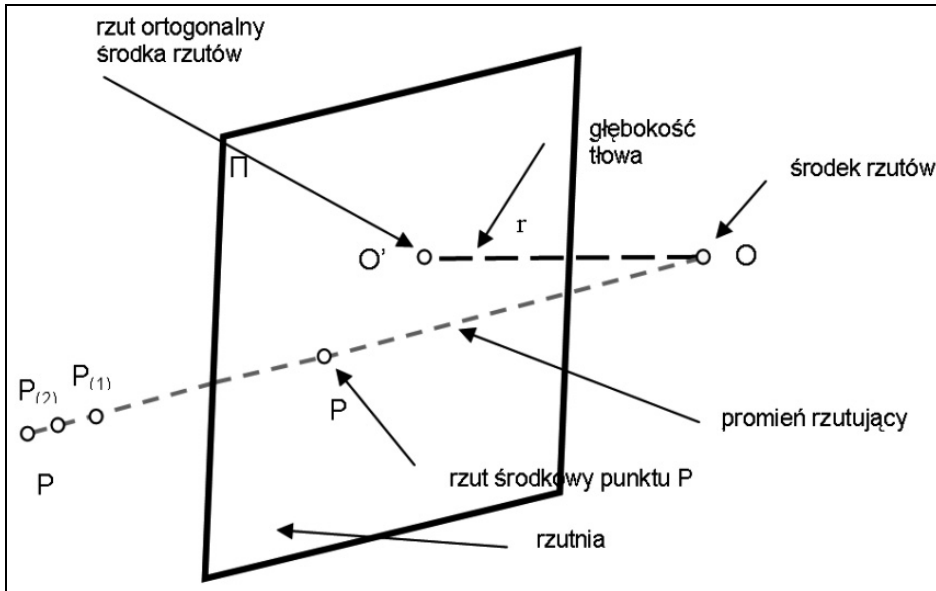
**Dr hab. inż. Regina Tokarczyk**, Katedra Geoinformacji, Fotogrametrii i Teledetekcji Środowiska, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie.

**Mgr inż. Dariusz Bułka**, Cyborg Idea, s.c., Kraków.

Metodami fotogrametrii tworzone są przede wszystkim mapy topograficzne (sytuacyjno-wysokościowe i ortofotomapy), ale oprócz tego istnieje olbrzymia ilość zastosowań nietopograficznych, takich jak: architektura i konserwacja zabytków, budownictwo lądowe i morskie, medycyna, górnictwo, konstrukcja maszyn i urządzeń itp. Aktualnie możliwe jest zastosowanie na szeroką skalę metod fotogrametrycznych również w rekonstrukcji wypadków drogowych. Służy temu m.in. nowy program o nazwie *PHOTORECT*, opracowany przez firmę Cyborg Idea.

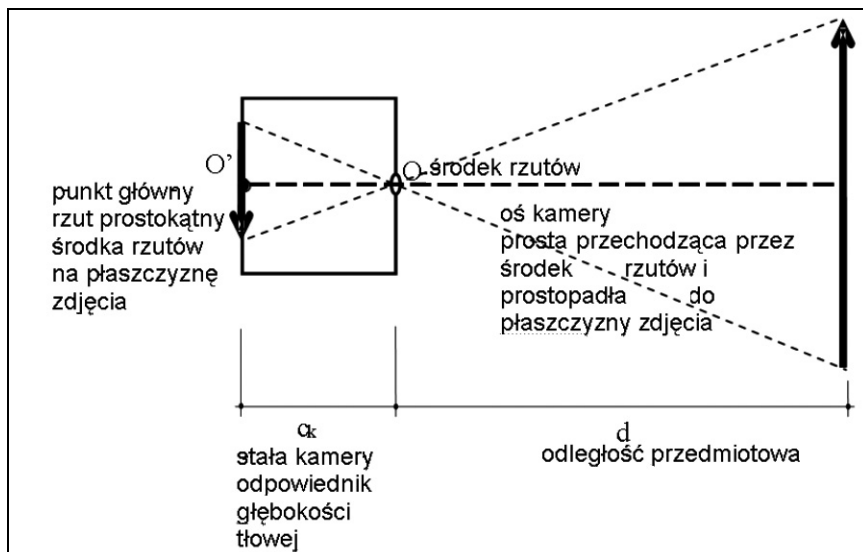
## 2. Przekształcenie fotogrametryczne

Obraz fotograficzny jest z dobrym przybliżeniem rzutem środkowym, którego podstawowymi elementami jest środek rzutów  $O$  oraz rzutnia  $\Pi$  (ryc. 1). Rzut środkowy punktu  $P$  otrzymuje się przez przebiecie rzutni promieniem rzutującym, zawierającym ten punkt i wychodzącym ze środka rzutów.



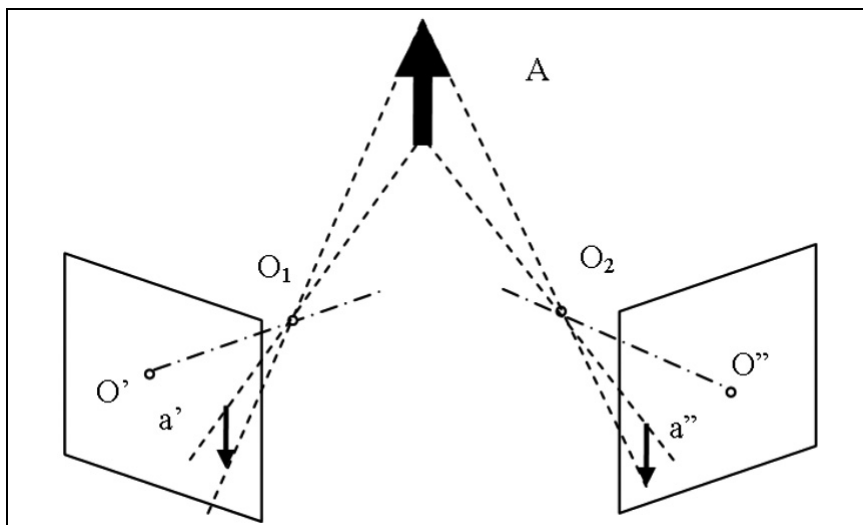
Ryc. 1. Elementy rzutu środkowego.

W kamerze fotograficznej środek rzutów znajduje się w obiektywie, w punkcie przecięcia się wiązki promieni świetlnych, zaś rzutnią jest płaszczyzna ogniskowania, w której umieszcza się materiał światłoczuły (materiał fotograficzny lub matrycę CCD) (ryc. 2).



Ryc. 2. Realizacja rzutu środkowego w kamerze fotograficznej.

Znajomość parametrów rzutowania, takich jak położenie środka rzutów w stosunku do układu odniesienia na zdjęciu oraz punkty obiektów sfotografowanych, pozwala na rekonstrukcję wiązki promieni rzutujących, którą to wiązkę różnymi sposobami można usytuować w przestrzeni 3D. Aby uzyskać położenie dowolnego odfotografowanego punktu w tej przestrzeni, potrzebny jest drugi rzut środkowy, czyli zrobione drugie zdjęcie, z innego miejsca, ale takie, na którym znajdują się wspólne z pierwszym zdjęciem punkty (ryc. 3).



Ryc. 3. Odtworzenie obiektu w przestrzeni 3D na podstawie dwóch rzutów środkowych.

W przypadku szczególnym, jeśli obiekt jest płaski, tzn. można uznać, że jego punkty należą z wystarczającym przybliżeniem do płaszczyzny, to punkty obiektu oraz punkty sfotografowane na zdjęciu łączą zależność rzutowa, którą, zgodnie z zasadami geometrii rzutowej, jednoznacznie określa czwórka punktów wspólnych i której formuła matematyczna jest dość prosta:

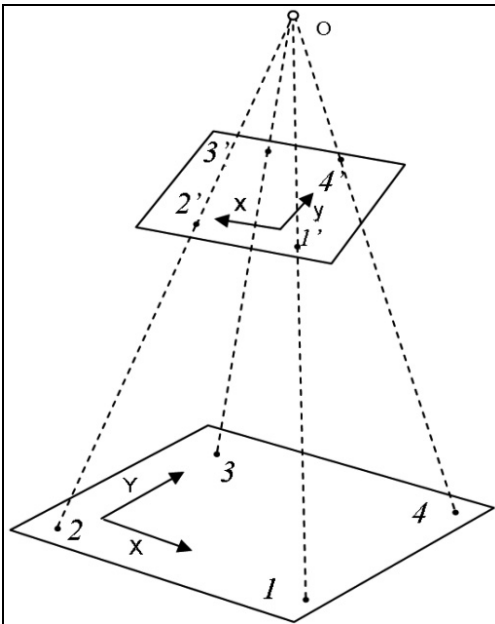
$$X = \frac{Ax + By + C}{Dx + Ey + 1}$$

$$Y = \frac{Fx + Gy + H}{Dx + Ey + 1}$$
(1)

gdzie:

$x$  i  $y$  są współrzędnymi w dowolnym układzie płaskim na obrazie,  
 $X$  i  $Y$  – współrzędnymi na płaszczyźnie obrazowanego obiektu,  
 $A-H$  – są współczynnikami przekształcenia.

Współczynniki te można wyznaczyć z powyższego układu równań, mierząc na zdjęciu czwórkę punktów (z których żadne trzy nie leżą na jednej prostej), a których współrzędne terenowe są znane (ryc. 4).



Ryc. 4. Zależność rzutowa między płaszczyzną obrazu (zdjęcia) a płaszczyzną obiektu (terenu).

Współczesna fotogrametria to fotogrametria cyfrowa, a więc taka, której materiałem pomiarowym jest obraz cyfrowy, a narzędziem pomiarowym – komputer z odpowiednim oprogramowaniem. Zatem, na podstawie znanych współczynników przekształcenia rzutowego i współrzędnych obrazowych (pikselowych) dowolnego punktu można nie tylko obliczyć jego współrzędne na sfotografowanym

obiekcie, ale więcej – można wykonać tzw. *rektyfikację zdjęcia*, to znaczy przetworzyć je do postaci kartometrycznej.

Rezultat rektyfikacji zdjęć nazywa się *mapą* (lub *planem*) *fotograficzną*, gdyż zachowuje ona fotograficzny przekaz treści, a zmianie ulega geometria – powstaje sztuczny obraz, jaki otrzymalibyśmy przy rzutowaniu ortogonalnym. Położenie każdego piksela tego obrazu powstaje przez przeliczenie, według formuły matematycznej, odpowiedniego piksela obrazu źródłowego do układu terenowego, a jego wartość (kolor) jest pobrana z obrazu źródłowego drogą powtórzonego próbkowania (*resamplingu*).

Mapa fotograficzna pozwala na uzyskanie informacji o rzeczywistym położeniu odwzorowanych obiektów w terenie, pozwala na pomiar długości wybranych odcinków, pól powierzchni itp.

### **3. Rektyfikacja zdjęcia z miejsca zdarzenia drogowego**

W celu wykonania rektyfikacji zdjęcia np. z zarejestrowanymi śladami hamowania, należy stosować odpowiednie zasady postępowania, pozwalające na uzyskanie odpowiednio wiarygodnych i dokładnych wyników pomiaru.

Zdjęcie śladów trzeba wykonać możliwie jak najbardziej „frontalnie” do powierzchni jezdni, aby zminimalizować skrót perspektywiczny. Na zdjęciu muszą znaleźć się punkty, pozwalające na obliczenie współczynników przekształcenia rzutowego, a więc takie, których współrzędne w układzie współrzędnych znajdującym się w płaszczyźnie jezdni są znane. Najwygodniejszym rozwiązaniem jest sfotografowanie wzornika w postaci konstrukcji zawierającej cztery punkty tworzące czworobok, o współrzędnych wyznaczonych drogą pomiaru wzornika i niezmiennych przy jego wykorzystywaniu. Optymalnym, z punktu widzenia matematyki, położeniem czworoboku jest umieszczenie mierzonych śladów w jego wnętrzu. Niestety, ze względu na typowe rozmiary śladów i praktyczne względy przewożenia wzornika na miejsce zdarzenia, jest to stosunkowo rzadko możliwe. Zatem wzornik należy umieścić jak najbliżej mierzonego obiektu.

Innym rozwiązaniem, niestety wymagającym więcej prac terenowych, jest zasygnalizowanie (wyraźne zaznaczenie) czterech punktów okalających ślady i pomiar wszystkich sześciu odległości między nimi. Pozwolą one na obliczenie współrzędnych punktów w układzie odniesienia, zaczepionym w jednym z tych punktów i jednej z osi pokrywającej się z bokiem czworoboku.

### **4. Pomiary fotogrametryczne w rekonstrukcji wypadków drogowych**

Do badań przydatnych w ekspertyzach dotyczących wypadków drogowych fotogrametria jest używana z powodzeniem w większości rozwiniętych krajów na całym świecie. W niektórych krajach jest to zastosowanie rutynowe – innymi metodami niż fotogrametryczne nie rejestruje się sytuacji powypadkowej, oczywiście w przypadkach poważnych kolizji.

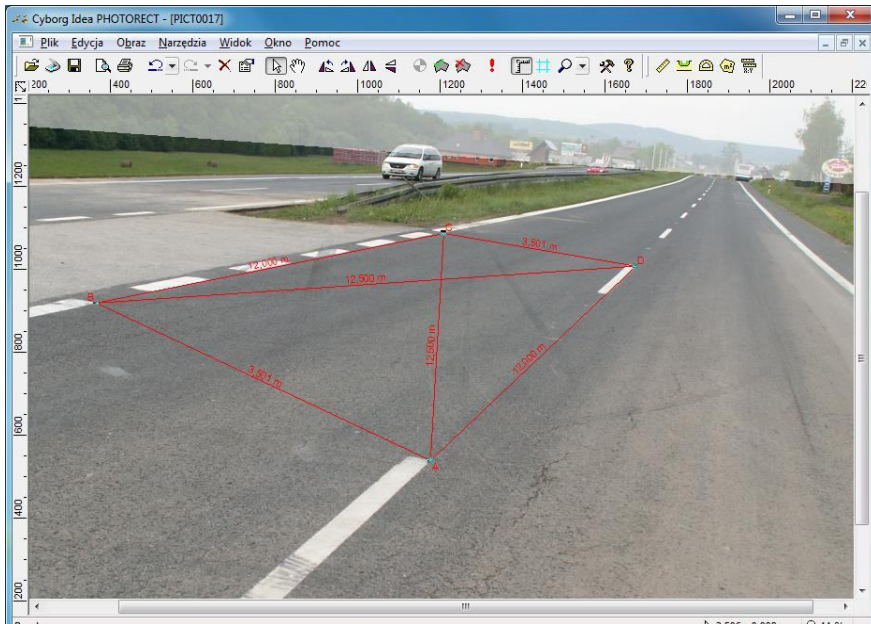
W stosowaniu metod fotogrametrycznych można zauważyć różne drogi postępowania:

- wykonywanie pomiarów przez wyspecjalizowane grupy, za pomocą specjalistycznego sprzętu fotogrametrycznego;
- wykorzystanie do pomiarów zdjęć, zrobionych zwykłymi aparatami fotograficznymi przez policję drogową, po późniejszym opracowaniu ich przez fotogrametrów;
- wykorzystanie zdjęć wykonywanych jak w poprzednim punkcie, natomiast opracowanie ich za pomocą specjalnych, bardzo prostych w obsłudze programów komputerowych, przez niefotogrametrów.

Trzecie z tych rozwiązań jest rozwiązaniem najtańszym i, w zasadzie, przy stosowaniu określonego postępowania przy rejestracji fotograficznej dającym wystarczająco dokładne wyniki pomiarów. Tą drogą uzyskuje się najczęściej pomiary obiektów w płaszczyźnie jezdni, a więc śladów hamowania i usytuowania samochodów.

### 5. Praktyczne zastosowanie

Praktyczne zastosowanie powyższego rozwiązania możliwe jest aktualnie przy zastosowaniu programu *PHOTORECT*, wykorzystującego omawiane w tym opracowaniu przekształcenie. Program umożliwia przekształcenie dowolnego zdjęcia, czy to w postaci cyfrowej, czy analogowej, do postaci kartometrycznej, za pomocą zwykłego komputera klasy PC.



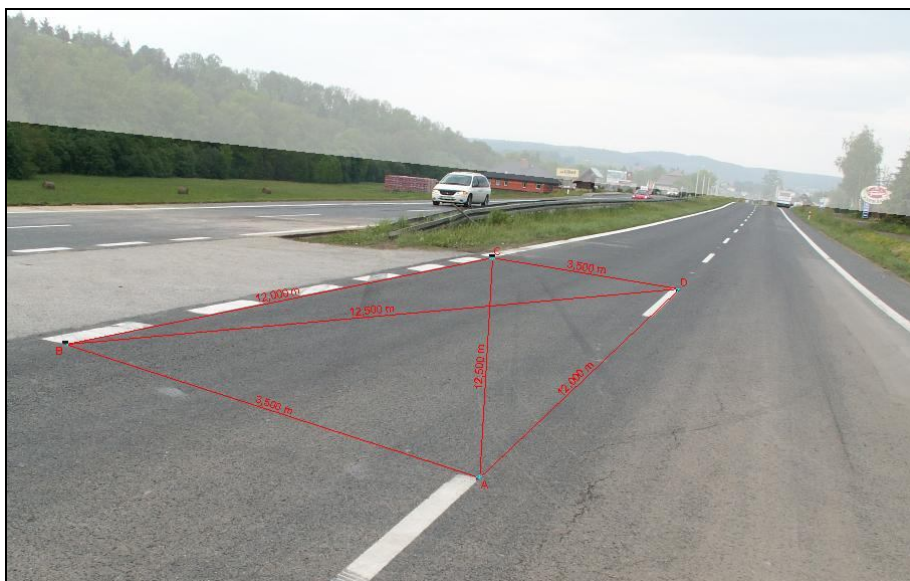
Ryc. 5. Okno programu PHOTORECT z przetwarzanym zdjęciem.

## 6. Metodyka pracy z programem PHOTORECT

Podstawą do wyznaczenia przez program *współczynników przekształcenia* jest wskazanie przez użytkownika, na zdjęciu, wspomnianych wcześniej czterech punktów dopasowania oraz podanie rzeczywistych wzajemnych odległości pomiędzy nimi. Na podstawie określonych przez program współrzędnych tych punktów oraz ich wzajemnych odległości program wyznacza ich przybliżone położenie w umownie przyjętym układzie współrzędnych terenu. Następnie, w kolejnych krokach, bazując na *metodzie najmniejszych kwadratów*, program precyzuje położenie szukanych punktów w terenie aż do momentu uzyskania satysfakcjonującej dokładności. W oparciu o wyliczone położenie punktów dopasowania w terenie i wskazane przez użytkownika ich miejsce na obrazie, program wylicza wszystkie 8 współczynników transformacji według wzoru (1).

Tak wyliczone współrzędne umożliwiają późniejszą transformację zdjęcia oraz pozwalają na wyznaczenie współrzędnych terenowych dowolnie wskazanego punktu obrazu. Pozwalają też na wykonywanie różnorakich pomiarów na zdjęciu, jeszcze przed wykonaniem samej transformacji.

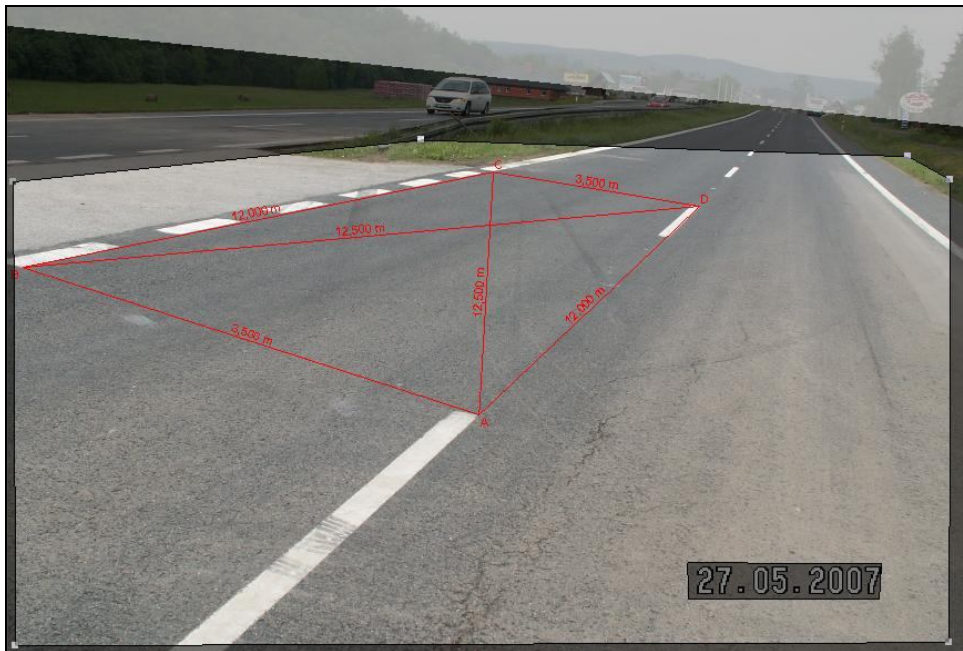
Jeżeli na zdjęciu widoczna jest linia horyzontu, to punkty znajdujące się powyżej tej linii, przy transformacji ortogonalnej, nie mają interpretacji fizycznej, ponieważ znajdują się poza płaszczyzną terenu zawierającą punkty kontrolne. Program w specjalny sposób zaznacza taki obszar zdjęcia. Wizualizacja przez program położenia linii horyzontu dodatkowo weryfikuje prawidłowe wskazanie punktów dopasowania przez użytkownika.



Ryc. 6. Przetwarzane zdjęcie z zaznaczonymi punktami dopasowania i widoczną linią horyzontu.

Przetwarzanie do postaci kartometrycznej widocznych na zdjęciu odległych obszarów jest niepraktyczne, gdyż obszary te reprezentowane są przez bardzo małą liczbę pikseli, zatem ich przetworzony wynikowy obraz byłby bardzo niskiej jakości. Ponadto, przedstawienie takiego obszaru mogłoby wymagać bardzo dużego rozmiaru wynikowej bitmapy. W szczególnie jaskrawym przykładzie, gdy na zdjęciu widoczna jest linia horyzontu, przetworzenie całego widocznego obszaru wymagałoby wynikowej bitmapy o nieskończenie wielkim rozmiarze, która zresztą zawierałaby w przeważającej większości zupełnie nieczytelne informacje.

Przeznaczony do przetworzenia obszar trzeba zatem w świadomy sposób ograniczyć. Program posiada zaprojektowane w tym celu specjalne narzędzia, umożliwiające zaznaczenie przetwarzanego obszaru zdjęcia, a także wyłączenie z przetwarzania wybranych fragmentów (ryc. 7).



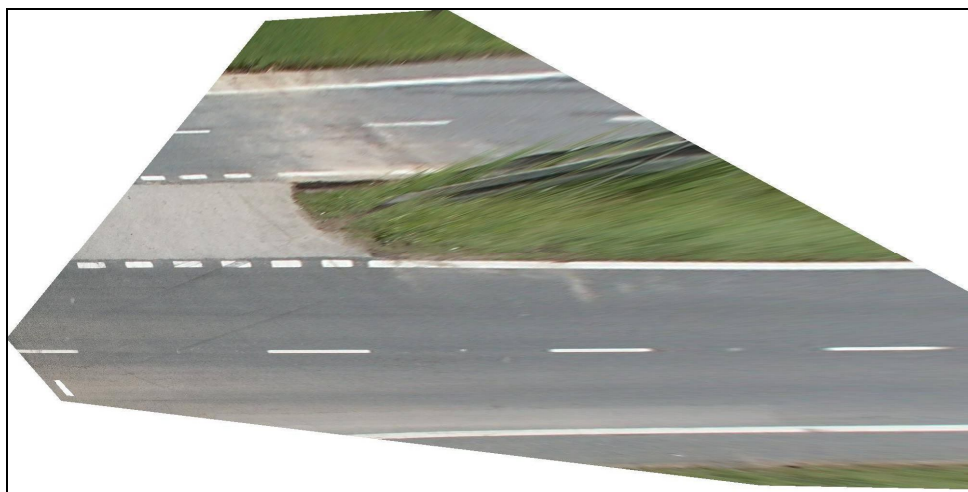
Ryc. 7. Przetwarzane zdjęcie z zaznaczonymi obszarami przeznaczonymi do przetwarzania i wyłączonymi z przetwarzania.

Pewnego komentarza wymaga też sposób samej transformacji obrazu, a w szczególności sposób interpretacji wyjściowego zdjęcia. Poszczególne piksele wynikowego obrazu nie odpowiadają dokładnie konkretnym pikselom zdjęcia źródłowego, gdyż zastosowanie transformacji według wzoru (1) powoduje konieczność odczytu wartości punktu o ułamkowych współrzędnych, znajdującego się „pomiędzy” istniejącymi pikselami obrazu źródłowego. Możliwych jest w ta-



kim przypadku wiele sposobów postępowania, z których program oferuje dwie możliwości:

- Metoda najbliższego sąsiada, w której przyjmowana jest bezpośrednio wartość konkretnego piksela zdjęcia wynikowego, leżącego najbliżej szukanego punktu. Zaletą tej metody jest szybkość pracy, wadą – jakość uzyskanego obrazu, w którym widoczne będą linie o poszarpanych brzegach (zjawisko zwane pikselizacją).
- Metoda bi-liniowa, w której szukana wartość przyjmowana jest jako suma ważona z czterech pikseli leżących najbliżej szukanego punktu. Zaletą tej metody jest wyższa jakość uzyskanego obrazu, jednak kosztem dłuższego czasu przetwarzania. Uzyskany obraz jest „miękki” (lekkie rozmyty).



Ryc. 8. Postać kartometryczna uzyskana w programie PHOTORECT ze zdjęcia z ryciny 5.

W serii kolejnych krótkich artykułów, które zamierzamy opublikować na łamach „Paragrafu na drodze”, przedstawione zostaną praktyczne przykłady zastosowania programu *PHOTORECT* w sprawach związanych z opiniowaniem zagadnień ruchu drogowego. Każdy z tych artykułów będzie pretekstem do szczegółowego przedstawienia jednego z problemów, z którymi mogą spotkać się biegli wykorzystujący techniki fotogrametryczne oraz sposób rozwiązania tego problemu.

## ***PHOTORECT* SOFTWARE – A NEW TOOL FOR APPLYING PHOTOGRAMMETRY IN ANALYSIS OF ROAD ACCIDENTS**

### **Abstract**

The article presents the most important characteristic assumptions for photogrammetric transformation that have been used in the new *PHOTORECT* software created by Cyborg Idea. Furthermore, the method of working with the program has been generally described.

### **Key Words**

Photogrammetry, central projection, perspective projection, (photographic) camera, fix/fit/match/adjustment points, *PHOTORECT* software.