

Możliwości współczesnej fotogrametrii w aspekcie rekonstrukcji wypadków drogowych

„Jest rzeczą zrozumiałą, że podczas inwentaryzowania śladów pozostawionych w miejscu zaistniałej sytuacji zdarza się, mimo najlepszych starań, pominąć pewne szczegóły bardzo istotne z punktu widzenia późniejszej rekonstrukcji zdarzenia (...). Dzięki fotogrametrii możliwe jest odtworzenie sytuacji w prawdziwych proporcjach wg ściśle geometrycznych zależności”. W zacytowanym zdaniu, pochodzącym z rozdziału 17 materiałów szkoleniowych wydanych w 1995 r. [2], Instytut Ekspertyz Sądowych z Krakowa wskazuje przydatność zastosowania fotogrametrii w analizie zaistniałych zdarzeń kryminalnych, także w rekonstrukcji wypadków drogowych. Głównym zadaniem fotogrametrii jako dziedziny nauk technicznych jest pozyskanie z obrazów fotograficznych przestrzennych informacji geometrycznych, spektralnych i semantycznych. Poprzez analizę, interpretację i czynności pomiarowe na poszczególnych zdjęciach możliwe jest sporządzenie numerycznego modelu (3D) opracowywanego obiektu. Jego znajomość otwiera drogę do wiernego odtworzenia części przebiegu zdarzenia.

Zalety stosowania fotogrametrii w kontekście kryminalistyki znane są już przynajmniej od kilku dziesięcioleci. Wykorzystanie fotogrametrii przez policję poszczególnych krajów jest zróżnicowane, nie w pełni jednak stosowane. Podobnie jest w Polsce, gdzie fotogrametria nie jest często wykorzystywana, mimo że w niektórych przypadkach jest nawet niezbędna. Jedną z przyczyn takiego stanu rzeczy są ograniczenia warunków technicznych oraz pozorne wysokie koszty, z jakimi stosowanie fotogrametrii jest kojarzone. Opracowana przez Komendę Główną

Policii Strategia Rozwoju Policji na lata 2005–2010 zawiera kompleksowe rozwiązania usprawniające pracę Policji, wzmacniające jej potencjał wykonawczy i umożliwiające znaczącą poprawę efektywności działań. Zgodnie z tą strategią Policja może osiągnąć wyższą skuteczność dzięki wykorzystaniu m.in. najnowszych zdobyczy nauki i techniki, a poprawa jakości wykonywanych przez Policję czynności dochodzeniowo-śledczych, szczególnie na miejscach zdarzeń, może nastąpić także poprzez sprawną realizację ekspertyz kryminalistycznych. Wskazane cele mogą zostać osiągnięte nie tylko samymi siłami Policji, co wynika z ww. strategii, ale także poprzez wykorzystanie potencjału ludzkiego z cywilnych wyższych uczelni lub jednostek badawczych. W ramach współpracy z tymi jednostkami struktury Policji mogą podnieść swoją efektywność i jakość wykonywanych zadań.

Fotogrametria była wykorzystywana w Policji sporadycznie, ale coraz częściej jej zalety zostają docenione w pracy ekspertów kryminalistyki z zakresu badań wypadków drogowych. Choć zasady fotogrametryczne są niezmiennie, to pojawiają się nowe możliwości sprzętowe oraz nowe możliwości „obróbki” materiału wyjściowego.

Jak zmieniła się sytuacja w tej dziedzinie na przestrzeni lat i jakie są możliwości wykorzystania współczesnej fotogrametrii w kryminalistyce? Jakie przynosi ona korzyści? Próba odpowiedzi na te pytania zawarta została w pracy dyplomowej [4], przygotowanej przez dyplomanta Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie przy współpracy Centralnego Laboratorium Kryminalistyczne-

go Komendy Głównej Policji w Warszawie.

W trakcie badań przeprowadzono dwa kluczowe eksperymenty, dzięki którym:

- możliwe byłoby określenie prędkości pojazdu w momencie kolizji – na podstawie fotogrametrycznego badania deformacji geometrii pojazdu powypadkowego

- możliwa byłaby fotogrametryczna inwentaryzacja miejsca zdarzenia z odtworzeniem wzajemnych relacji geometrycznych między wszystkimi istotnymi szczegółami sytuacyjnymi, uwidocznionymi na zdjęciach.

W niniejszym artykule opisano jedynie możliwość określenia i pomiaru strefy uszkodzenia samochodu w celu oszacowania straty prędkości podczas zderzenia.

Współczesna fotogrametria i jej możliwości

Istota stosowania fotogrametrii

Uniwersalność fotogrametrii polega na możliwości pozyskania ze zdjęć zależności matematycznych pomiędzy widocznymi śladami niezależnie od czasu, jaki dzieli czynności procesowe od danego zdarzenia. Kompletna informacja geometryczna w postaci danych 3D (współrzędne x, y, z dla każdego punktu na stereogramie obrazów) pozwala na pełną analizę przestrzenną. Trójwymiarowe odwzorowanie znacznie podnosi dokładność i obiektywność opracowania, eliminując m.in. błędy wynikające z miar ukośnych, za jakie należy uważać wartości uzyskane w wyniku standardowego pomiaru bezpośredniego. Fotogrametria jest również sprzymierzeńcem kryminalistyki ze względu na możliwość skrócenia

czasu pomiarów bezpośrednio na miejscu zdarzenia. Ogranicza się ona bowiem do określenia pozycji minimum kilku punktów na obiekcie (w zależności od zastosowanej metody i charakterystyki obiektu, np. tylko 3 punkty dla pary zdjęć). Punkty te są niezbędne do odtworzenia parametrów orientacji geometrycznej aparatu fotograficznego względem układu odniesienia oraz skalowania modelu. Resztę czynności wykonuje się już tylko przy komputerze.

Wpływ rozwoju techniki na współczesne możliwości fotogrametrii

O wykorzystaniu fotogrametrii w kryminalistyce w wybranych krajach świata możemy dowiedzieć się z publikacji wydanej już w 1974 r. pt. „Fotogrametria naziemna i specjalna” [1]. Dowiadujemy się z niej, że w takich państwach jak Szwajcaria, RFN, Włochy czy Japonia metody fotogrametryczne są podstawowymi i niemal wyłącznymi metodami przy sporządzaniu dokumentacji wypadków drogowych. Technika tamtego okresu wymagała jednak stosowania profesjonalnych, a co za tym idzie – kosztownych kamer stereometrycznych. W RFN policja drogowa wyposażona była w specjalne mikrobusy (ambulanse kryminalistyczne) adaptowane do celów fotogrametrycznych. Do opracowania uzyskanych w ten sposób zdjęć niezbędne było zastosowanie zbudowanych do tych celów autografów, np.: Wild A-4 i A-40 (precyzyjne instrumenty optyczno-mechaniczne) [1, 5].

Dzisiaj takie oblicze fotogrametrii niewiele ma wspólnego z rzeczywistością. Obecny zakres i dokładność fotogrametrycznych metod pomiaru 3D w bliskim zasięgu są wynikiem dynamicznego rozwoju optyczno-elektronicznych sensorów obrazowania, techniki komputerowej oraz postępu w technikach akwizycji, pomiarów obrazów cyfrowych i metodach obliczeń

numerycznych [3]. W konsekwencji nowoczesne wizyjne systemy pomiarowe bazują wyłącznie na technice cyfrowej. Charakteryzuje je uniwersalność zastosowań, zaawansowany stopień automatyzacji pomiarów, wysoka dokładność i wiarygodność wyników opracowania. Moc obliczeniowa współczesnych komputerów otwiera nowe możliwości. Praktycznie nie ma ograniczeń w zakresie konfiguracji zdjęć opracowywanego obiektu. Możliwe jest wykorzystanie kamer niemetrycznych, których zaletą są niskie koszty, gdyż są to zwykle aparaty fotograficzne z elementami orientacji wewnętrznej częściowo lub całkowicie nieznanymi i często niestabilnymi, ale są one powszechnie stosowane do celów komercyjnych.

Autografy analogowe i analityczne wyparte zostały przez specjalistyczne oprogramowanie, które czyni z każdego komputera autograf cyfrowy. Obecnie na rynku dostępnych jest wiele propozycji oprogramowania fotogrametrycznego, którego producenci deklarują ukierunkowanie na wykorzystanie w kryminalistyce, np. RolleiMetric CDW, Photomodeler, PC-Rect, Phidias, Elcovision i inne.

Do wykonania pomiaru metodami współczesnej fotogrametrii niezbędne jest jednak uzyskanie zdjęć w formacie cyfrowym. Uzyskuje się to za pomocą dwóch metod. Można albo zeskanować tradycyjną analogową fotografię bądź uzyskać obraz przez bezpośrednią rejestrację, z użyciem zwykłego fotograficznego aparatu cyfrowego. W realizacji eksperymentów opisanych we wcześniej przytaczanej pracy [4] wykorzystano amatorski aparat cyfrowy Kodak DC 4800 o średniej rozdzielczości 3,1 megapiksela. Uzyskane dokładności z tego aparatu były nawet wyższe niż wymagane dla opisywanych celów. Niezależnie jednak od wybranego rozwiązania sprzętowego należy uwzględnić fakt, że zdjęcia muszą odpowiadać pewnym kryteriom technicznym.

Technika wykonywania zdjęć

Zdjęcia obiektu należy wykonywać co najmniej z dwóch różnych stanowisk, uzyskując obszar wspólnego pokrycia zdjęć. Powinien on wynosić w przybliżeniu od 70% do 90%. Stanowi to podstawę geometryczną do określania pozycji nowo wyznaczanych punktów. Stanowiska fotografowania muszą być w miarę możliwości w jednakowej odległości od obiektu, tak aby skala zdjęć była zbliżona. Dzięki zachowaniu przy tym odpowiednich proporcji odległości fotografowania Y_F do bazy B (odległość między lewym i prawym stanowiskiem) oraz zbliżonych wartości kątowych elementów orientacji zewnętrznej, uzyskuje się efekt stereoskopowego widzenia. Umożliwia to po wstępnym opracowaniu zdjęć przestrzenną obserwację obiektu, a wykonaną w ten sposób parę obrazów nazywa się stereogramem. Biorąc pod uwagę parametry techniczne własnego aparatu oraz oczekiwaną dokładność opracowania, osoba sporządzająca dokumentację fotograficzną miejsca oględzin jest w stanie sporządzić projekt wykonania zdjęć. Proces ten jest opisany w większości podręczników poświęconych omawianej tematyce. Jednym ze stałych warunków jest zależność, że baza nie może być dłuższa niż 0,25 odległości fotografowania: $B_{max} = Y_F/4$.

Spełnienie opisanych kryteriów pozwala na rozpoczęcie opracowania zdjęć metodami fotogrametrycznymi.

Przykład fotogrametrycznego badania deformacji geometrii pojazdu powypadkowego

Burzliwy rozwój przemysłu motoryzacyjnego przyczynił się do skomplikowania rekonstrukcji wypadków drogowych. Zastosowanie np. komputerowo-mechanicznego systemu zapobiegania blokowaniu kół pojaz-

dów podczas hamowania (układ ABS) uniemożliwiło interpretację oraz wykorzystanie śladów hamowania kół pojazdu jako dowodu materialnego do określenia prędkości pojazdu tuż przed kolizją. Do określenia prędkości samochodu w momencie zderzenia z przeszkodą może służyć strata energii samochodu, a więc strata prędkości na skutek zderzenia. Do oszacowania prędkości samochodu straconej w momencie kolizji może służyć zakres strefy deformacji samochodu jako wynik zderzenia. Punktem wyjścia do określenia prędkości kolizyjnej z wykorzystaniem metod fotogrametrii może być więc deformacja geometrii pojazdu jako obiektywnego śladu wypadku, występującego w każdej kolizji. W publikacji pt.: „Odtwarzanie i analiza przebiegu wypadku drogowego” W. Kończykowskiego wydanej w 1993 r. przez Stowarzyszenie Rzeczoznawców Techniki Samochodowej i Ruchu Drogowego bezpośrednio wskazano: „Jeżeli określone zostaną wymiary odkształceń geometrii pojazdu, to można orientacyjnie wyznaczyć prędkość, jaką rozwijał samochód w chwili uderzenia”.

Poprzez fotogrametryczny pomiar odkształceń uzyskuje się przewagę nad stosowanymi bezpośrednimi pomiarami, które nie dają ani jednolitych wyników, ani takiej dokładności. Dostęp do samochodu rozbitego nie zawsze jest możliwy, zwłaszcza gdy zachodzi konieczność dokonania dodatkowych oględzin po pewnym czasie od zdarzenia w celu ponownej weryfikacji danych. Zdjęcia fotogrametryczne mają natomiast charakter dokumentalny i pozwalają na analizę geometryczną w dowolnym czasie.

Założeniem możliwości wykorzystania metody w prezentowanym przykładzie było zastosowanie minimalnych informacji zawartych w materiałach dowodowych, w dokumentacji wypadku lub kolizji. Proces wyznaczenia deformacji pojazdu sprowadza się do konieczności posiada-

nia jedynie stereogramów zdjęć auta powypadkowego, bez znajomości jakichkolwiek punktów fotografowanego obiektu.

Konieczne jest posiadanie geometrycznych informacji o pojeździe nieuszkodzonym jako modelu wzorcowym. Sposób ich uzyskania może być różny, np. mogą one pochodzić od producenta pojazdu lub zostać ustalone na podstawie zdjęć konkretnej marki i typu pojazdu, i pozostaje kwestią otwartą. Ze względu jednak na fakt, że opracowany sposób pomiaru zakładał pełną niezależność, numeryczny model wzorcowy

wy opracowano indywidualnie, na podstawie fotografii samochodu. Wyznaczone w ten sposób współrzędne punktów odpowiadały nieuszkodzonym elementom pojazdu rozbitego i pozwalały na obliczenie wszystkich niewiadomych i pomiar odkształceń nadwozia.

W opisywanym eksperymencie wykorzystano powypadkowy samochód marki Fiat Cinquecento (ryc. 1) oraz identyczny pojazd jako model wzorcowy (ryc. 2). Pozwoliło to na opracowanie trójwymiarowej mapy samochodu powypadkowego oraz nieuszkodzonego.



Ryc. 1. Pojazd powypadkowy
Fig. 1. Post-accident vehicle

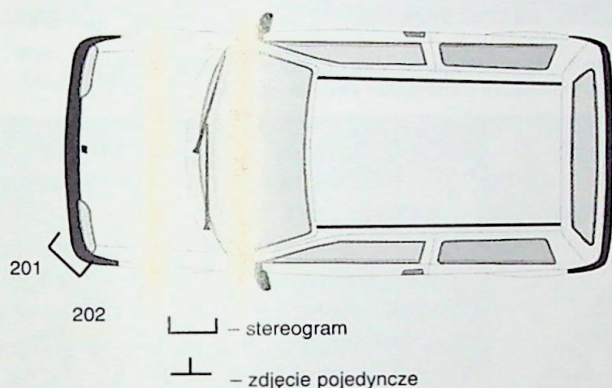


Ryc. 2. Pojazd, model wzorcowy
Fig. 2. Model vehicle

POSZCZEGÓLNE ETAPY W WYZNACZANIU ZAKRESU USZKODZEŃ SAMOCHODU

▪ Wykonanie zdjęć

Przeprowadzenie tego etapu musi odpowiadać założeniom wcześniej opisanym. Do przedstawienia uszkodzeń w tym przypadku wykorzystano pojazd powypadkowy sfotografowany wg zasad przedstawionych na ryc. 3.



Ryc. 3. Konfiguracja zdjęć w stosunku do pojazdu uszkodzonego
Fig. 3. Photo configuration in relation to damaged vehicle

▪ Proces orientacji zdjęć oraz stereodigitalizacja uszkodzeń

Kiedy ma się zdjęcia, można przystąpić do ich opracowywania. Orientacja zdjęć może być wykonywana różnymi metodami. Prezentowany sposób opiera się na bezpośredniej transformacji liniowej DLT. Po jej wykonaniu zdjęcia są już w pełni zorientowane. Możliwa jest obserwacja stereoskopowa oraz pomiar dowolnych punktów w układzie współrzędnych modelu wzorcowego. Jest ona bardzo wygodna ze względu na możliwość stosowania zdjęć niemetrycznych, czyli w sytuacji, gdy nie mamy informacji o wewnętrznej geometrii aparatu ani o cechach jego obiektywu. Praktyczne jej wykorzystanie sprowadza się do wskazania minimum 6 punktów na stereogramie zdjęć pojazdu rozbitego (ich oznaczenia widoczne w kolorze czerwonym wskazano na ryc. 4) i do wpro-

wadzenia odpowiadających im współrzędnych z modelu wzorcowego. Punkty te muszą leżeć w miejscach nieuszkodzonego nadwozia i muszą swym zasięgiem obejmować możliwie dużą część stereogramu zdjęć. Proces ten trwa kilka minut i jest bardzo wygodny, ponieważ wymaga posiadania jedynie zdjęć obiektu. Jest to możliwe dzięki wprowadzanym współrzędnym pojazdu wzorcowego.

W dalszym etapie wykonuje się proces stereodigitalizacji, którego efekt prezentuje ryc. 4 (czerwone linie). Jego zadaniem jest zarejestrowanie odkształceń geometrii oraz pomiar dowolnych elementów, będących przedmiotem zainteresowania.

wzorcowego w pełni kartometryczna mapa opracowywanego obiektu (ryc. 5) z możliwością odłączania poszczególnych warstw przyporządkowanych elementom samochodu. Pomiar deformacji można wykonywać bezpośrednio ze współrzędnych, co ułatwia oprogramowanie typu CAD (ryc. 6).

Zaprezentowane rozwiązanie jest szybkim i łatwym procesem, niewymagającym głębokiej znajomości zagadnień fotogrametrii. Jego efektem jest wyznaczona deformacja z dokładnością do 1 cm. Większą dokładność można uzyskać, zmniejszając odległość fotografowania bądź stosując aparat o wyższej rozdzielczości.

POSZCZEGÓLNE ETAPY OPRACOWANIA POJAZDU WZORCOWEGO (DO BAZY POJAZDÓW WZORCOWYCH)

Posiadanie geometrycznych informacji o pojazdach nieuszkodzonych jako modelach wzorcowych zgromadzonych w stworzonej bazie danych



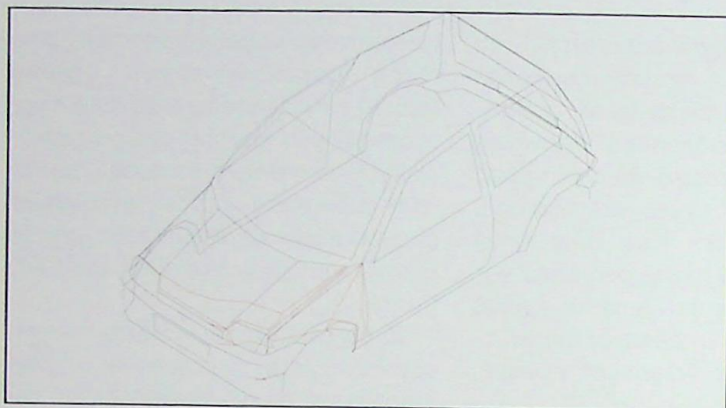
Ryc. 4. Zorientowana para zdjęć wraz z wykonaną stereodigitalizacją uszkodzeń pojazdu
Fig. 4. Aligned photos with stereodigitalisation of vehicle damages

▪ Tworzenie kartometrycznej mapy samochodu

Z utworzonego w wyżej opisany sposób pliku grafiki wektorowej powstaje po scaleniu z plikiem pojazdu

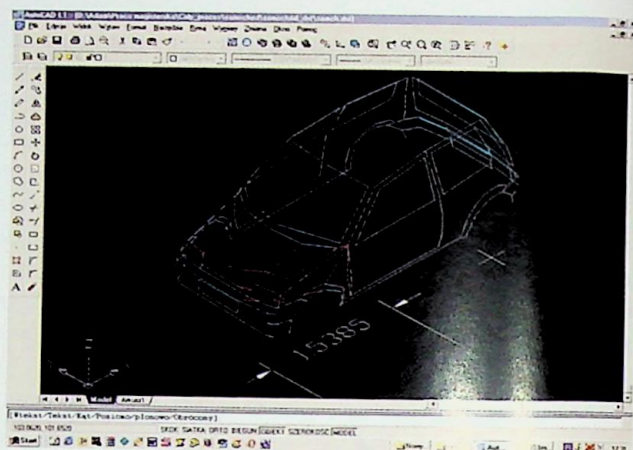
pozwole w przyszłości na natychmiastową ocenę uszkodzeń na podstawie wykonanych zdjęć.

W prezentowanym przykładzie proces opracowania modelu wzorcowego przedstawiony został skrótowo,



Ryc. 5. Mapa pojazdu wzorcowego z naniesionymi odkształceniami pojazdu powypadkowego (widok izometryczny)

Fig. 5. Map of model vehicle with imposed post-accident damages (isometric view)

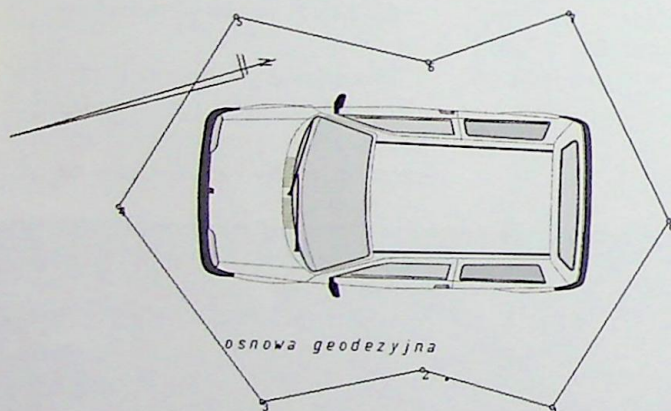


Ryc. 6. Miara (odległość) wskazanego wcześniej elementu

Fig. 6. Measure (distance) of element indicated previously

schematycznie. Tworzenie modelu wzorcowego pojazdu składa się z następujących etapów:

Wyniki stereodigitalizacji samochodu zaprezentowano na ryc. 10.



Ryc. 7. Szkic osnowy geodezyjnej

Fig. 7. Geodetic frame

- Założenie osnowy geodezyjnej
- Założenie ośmiopunktowej osnowy geodezyjnej o rozmieszczeniu przedstawionym na ryc. 7.

- Wykonanie zdjęć w konfiguracji normalnej oraz zbieżnej

Sposób wykonania zdjęć obiektu (samochodu) przedstawiono na ryc. 8.

- Rozwiązanie przestrzenne sieci zdjęć

- Fotogrametryczne zagęszczenie osnowy w procesie terratriangulacji metodą wiązek

Proces ten przedstawiono na ryc. 9.

- Wykonanie stereodigitalizacji obiektu

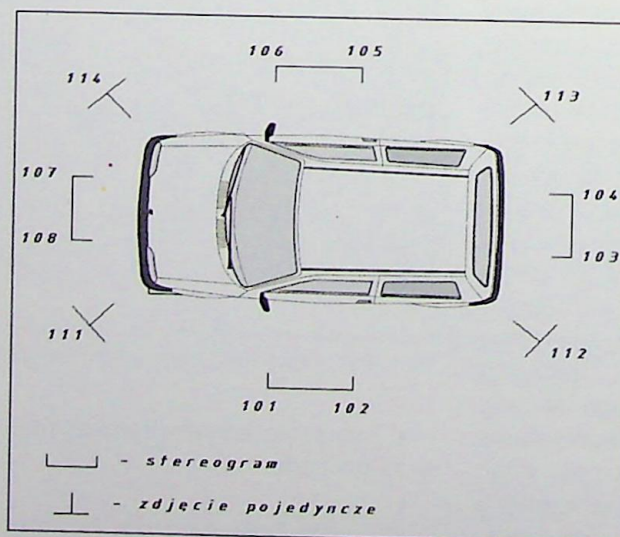
- Scalenie wszystkich rysunków formatu *.dxf

Scalenie polega na połączeniu rysunków wektorowych poszczególnych stereogramów w jeden plik umożliwiający analizę całej bryły pojazdu.

Wykonana w ten sposób numeryczna mapa (3D) pojazdu, modelu wzorcowego, może być wykorzystywana w wyznaczaniu uszkodzeń każdego auta marki Fiat Cinquecento.

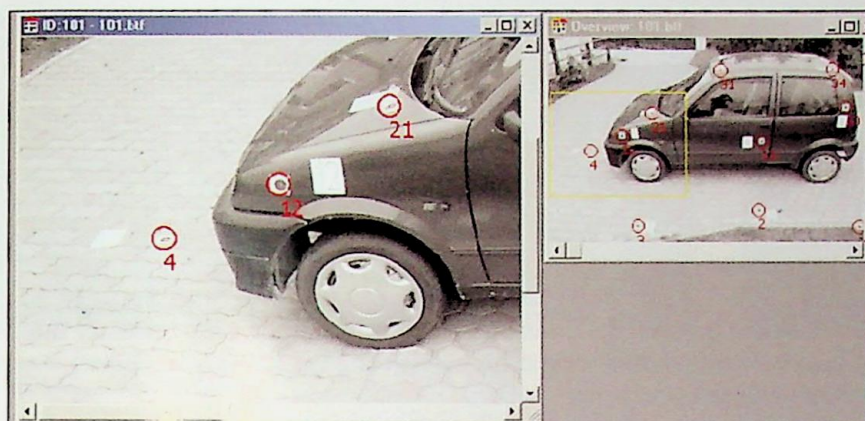
Podsumowanie

Zaprezentowane w niniejszym artykule rozwiązania są gotowymi narzędziami możliwymi do zastosowania w kryminalistyce, zwłaszcza przez ekspertów w zakresie badań wypadków drogowych. Wykorzystanie fotogrametrii jest celowe w każdej sytuacji, w której znajomość usytuowania elementów przekłada się na możliwość ustalenia prawdy obiektywnej. Policja polska jest w znacznej części przygotowana sprzętowo (cyfrowe aparaty foto-

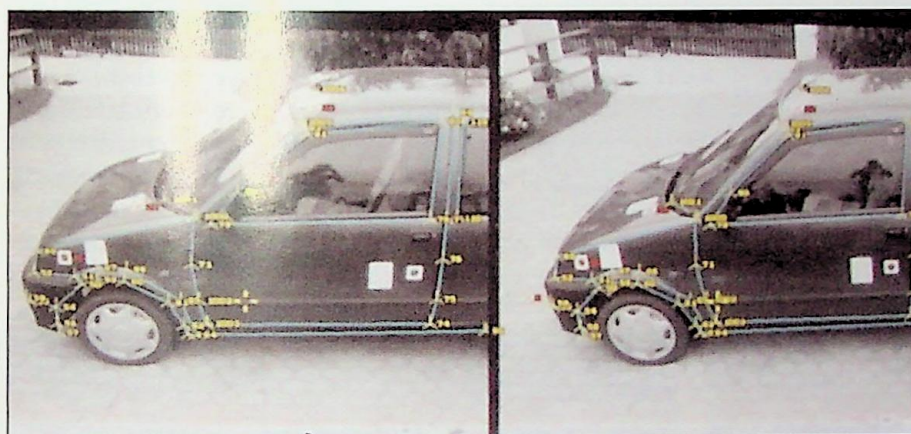


Ryc. 8. Konfiguracja zdjęć przy opracowywaniu modelu wzorcowego

Fig. 8. Photo configuration while developing reference model



Ryc. 9. Terratrianulacja obiektu
Fig. 9. Terratrianulacja obiektu



Ryc. 10. Stereodigitalizacja
Fig. 10. Stereodigitalisation

graficzne, ambulanse kryminalistyczne) do zabezpieczania dowodów umożliwiających późniejsze wykorzystanie zasad fotogrametrii w interpretacji śladów z miejsc zdarzeń drogowych i wyciągania przez ekspertów stosownych wniosków w opiniach sporządzanych dla organów procesowych.

W literaturze [1] jako zalety stosowania fotogrametrii w kontekście kryminalistyki przedstawia się:

- szybkie przeprowadzenie „terenowej” dokumentacji fotogrametrycznej, polegającej na wykonaniu zdjęć stereometrycznych, co umożliwia przywrócenie normalnego funkcjonowania miejsca zdarzenia, w którym prowadzone są oględziny, np. szybkie przywrócenie ruchu drogowego;

- uniknięcie zatarcia śladów dzięki znacznemu skróceniu czynności wykonywanych bezpośrednio na miejscu zdarzenia, np. wskutek niesprzyjających warunków atmosferycznych, jak deszcz lub zatarcia śladów przez ekipy ratownicze, które ratując życie poszkodowanych, zmieniłyby bezpowrotnie stan powypadkowy;
- nieinwazyjność pomiarów (przy pomiarze bezpośrednim trzeba znaleźć się dokładnie w punkcie, który trzeba pomierzyć, a w metodach fotogrametrycznych nie ma takiej potrzeby) jest nieocenioną zaletą, gdy wypadkowi towarzyszą okoliczności, w których dalsze przebywanie osób prowadzących pomiary

byłoby niemożliwe czy stanowiłoby zagrożenie dla ich zdrowia czy życia;

- zapewnienie dzięki zdjęciom fotogrametrycznym charakteru dokumentalnego obiektów, co pozwala na przeprowadzenie ewentualnych ponownych pomiarów bez względu na upływ czasu i stworzenie tym samym możliwości wielokrotnej analizy zdarzenia przez ekspertów;
- opracowanie autogrametryczne pozwala na wykonanie mapy o pełnej treści z maksymalnym bogactwem szczegółów mogących mieć istotne znaczenie przy prowadzeniu dochodzenia.

Oceniając fotogrametrię, należy stwierdzić, że stały rozwój techniki przyczynił się do zmniejszenia kosztów jej stosowania i jednoczesnego zwiększenia możliwości wykorzystania. Pozwala to prognozować coraz powszechniejsze wykorzystanie tej techniki pomiaru i dokumentacji do opisywanych w niniejszym artykule celów, także w Policji.

Zbigniew Żelazek
Adam Sikora
zdj.: A. Sikora

ryc. 3, 7, 8 z programu Autoview

BIBLIOGRAFIA

1. **Linsenbarth A.:** Fotogrametria naziemna i specjalna, PPWK, Warszawa 1974.
2. „Problematyka prawna i techniczna wypadków drogowych”, Instytut Ekspertyz Sądowych, Kraków 1995.
3. **Sawicki P.:** Fotogrametryczne systemy do pomiaru punktów w bliskim zasięgu, UWM Olsztyn 2001.
4. **Sikora A.:** Zastosowanie metod fotogrametrii do rekonstrukcji zdarzeń kryminalnych i wypadków drogowych – praca magisterska, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, Olsztyn 2004.
5. **Sitek Z.:** Fotogrametria ogólna i inżynierska, PPWK, Warszawa-Wrocław 1991.