

**Roman
Mikulec****Jakub
Motl****Tereza
Tmejová****Zdeněk
Svatý**

Skanowanie 3D w badaniach wypadków drogowych

Streszczenie

W niniejszym artykule przedstawiono zagadnienia z dziedziny dokumentowania wypadków drogowych z zastosowaniem skanowania 3D oraz praktyczne doświadczenia autorów w wykorzystaniu tej metody skanowania na miejscu wypadku, jak również przy późniejszym przetwarzaniu wyników skanowania. W szczególności opisano różne warunki, w jakich można sporządzać dokumentację dowodową oraz podano rozwiązania niektórych praktycznych problemów związanych z wykorzystaniem skanerów 3D. Na zakończenia przedstawiono zalecenia dotyczące wykorzystania skanerów 3D do efektywnego dokumentowania wypadków drogowych z uwzględnieniem wymagań czasowych oraz wielkości danych w związku z koniecznością ich archiwizacji.

Słowa kluczowe

Wypadek, dokumentacja, skanowanie laserowe 3D.

Otrzymano 13 września 2022 r., zatwierdzono do druku 7 marca 2023 r.

DOI: 10.4467/15053520PnD.22.022.17418

1. Wstęp

Dobrej jakości i szczegółowa dokumentacja miejsc wypadków drogowych, a także uszkodzeń pojazdów, jest niezbędna do ich późniejszej analizy. W Republice Czeskiej dokumentacja ta jest wykonywana przede wszystkim przez służby policyjne z wykorzystaniem metod konwencjonalnych (np. z zastosowaniem koła pomiarowego, taśmy mierniczej, łąty niwelacyjnej itp.). Ostatnio można spotkać się z dokumentacją geodezyjną miejsc wypadków drogowych, sporządzoną przy użyciu tachimetrów, która odwzorowuje położenie punktów pomiarowych w przestrzeni (tj. względem współrzędnych x , y , z), w odniesieniu do pozycji tachimetru. Pomiar z wykorzystaniem tachimetrów są obecnie stosowane przez policję głównie przy wypadkach drogowych z ciężkimi i śmiertelnymi obrażeniami lub w przypadkach, kiedy przewiduje się sporządzenie opinii przez biegłych w późniejszym terminie [6, 7, 14].

Ing. Ph.D. Roman Mikulec, Ing. Jakub Motl, Ing. Tereza Tmejová, Centrum dopravního výzkumu, Brno, Czechy, **Ing. Ph.D. Zdeněk Svatý**, Ústav soudního znaleství v dopravě, fakulta dopravní, ČVUT, Praga, Czechy.

W związku z rozwojem technologii coraz częściej można się spotkać również z innymi formami dokumentowania wypadków drogowych. Obejmują one w szczególności wykorzystanie odbiorników GNSS¹, bardziej kompleksowe pomiary fotogrametryczne z wykorzystaniem dronów czy skanowanie laserowe. Dwie ostatnie technologie stanowią istotną zmianę w podejściu do metod dokumentowania i form pozyskiwania danych z miejsca wypadku. Głównym aspektem jest przejście od pomiarów selektywnych, które ukierunkowane są jedynie na ślady uznane za istotne przez osobę sporządzającą dokumentację, do pomiarów nieselektywnych, obejmujących cały teren wypadku, pozwalających na pozyskanie konkretnych śladów w późniejszym terminie. Jest to szczególnie istotne z punktu widzenia dalszych analiz kryminalistycznych, tj. w nierzadko zdarzających się sytuacjach, gdy ślad staje się istotny dopiero po znacznym upływie czasu. W tym przypadku znacznie większe są jednak wymagania w zakresie przetwarzania danych i umiejętności pracy z tego typu informacjami [3].

Zaletą pomiarów nieselektywnych jest znaczne skrócenie czasu na sporządzenie dokumentacji dowodowej danego miejsca oraz zwiększenie ilości pozyskanych danych, aczkolwiek wywołuje to potrzebę poświęcenia większej ilości czasu na ich przetwarzanie oraz większe wymagania w zakresie analiz danych wynikowych.

W kontekście analizy kryminalistycznej istotna jest nie tylko dostateczna dokumentacja miejsca wypadku, ale również dokładność i wiarygodność wykonanych pomiarów. Na podstawie typowych metod pomiarowych stosowanych przez Policję, takich jak koła pomiarowe, uzyskiwana jest dokładność z odchyleniem od 0,02% do 0,05% względem rzeczywistej odległości (deklarowanej przez producenta). Dokładność wynikowa pomiaru zależy jednak od wielu czynników i jest mniejsza, zwłaszcza w miejscach wypadków o dużej powierzchni lub przy wypadkach w trudnym lub niedostępnym terenie, gdzie zwiększa się czas potrzebny na wykonanie pomiarów, a tym samym wzrasta prawdopodobieństwo wystąpienia istotnych błędów pomiarowych. Istotny wpływ na pomiary mają również niekorzystne warunki atmosferyczne, śnieg, mgła lub ulewny deszcz, które chociaż nie stanowią przeszkody w wykonaniu pomiaru, to jednak negatywnie wpływają na dokładność. W praktyce okazuje się, że stopień niedokładności lub ilość istotnych błędów są znaczne, co oznacza, że różnice pomiędzy odległościami mierzonymi przy pomocy koła pomiarowego lub taśmy mierniczej znacznie odbiegają od wartości rzeczywistych [7].

W porównaniu z wymienionymi (w niektórych przypadkach już historycznymi) metodami, skanowanie laserowe wydaje się być najbardziej dokładną współczesną metodą dokonywania pomiarów i sporządzania dokumentacji dowodowej, umożliwiającą pracę nawet w bardzo niekorzystnych warunkach pogodowych. Pomiary wykonywane są automatycznie, dlatego ewentualny negatywny wpływ

¹ GNSS – Global Navigation Satellite System.

otoczenia na jego obsługę, nie ma wpływu na wyniki pomiarów. Na przykład pogorszone warunki świetlne prowadzą jedynie do zmniejszenia tekstury chmury punktów, ale sama informacja o odbiciu, która zawsze jest generowana, pozwala na identyfikację poszczególnych elementów w obrębie skanowanego obszaru.

Celem niniejszego artykułu jest przybliżenie problematyki skanowania laserowego 3D w kontekście możliwości pozyskiwania danych do analiz wypadków drogowych oraz przekazanie praktycznej wiedzy autorów, zarówno z zakresu pozyskiwania tych danych, jak też ich przetwarzania.

2. Zastosowanie skanerów 3D do sporządzania dokumentacji dowodowej wypadków drogowych

Wraz z rozwojem nowoczesnych technologii i wykorzystywaniem w analizach wypadków drogowych programów symulacyjnych, które pozwalają na uwzględnienie rzeczywistego ukształtowania jezdni lub nachylenia terenu w miejscu wypadku, dokumentacja geodezyjna lub dokumentacja 3D staje się coraz bardziej aktualnym zagadnieniem.

Zastosowanie skaningu laserowego pozwala na pozyskanie znacznie większej ilości informacji dowodowych z miejsca wypadku, które mogą być dalej przetwarzane. Uzyskane informacje mogą obrazować „jedynie” siatkę ortogonalną miejsca wypadku drogowego lub interaktywną mapkę, która przedstawia miejsce kolizji w czasie oględzin. Można w ten sposób uchwycić również ślady złożone, umożliwiające późniejszą analizę [7].

Wynikiem pomiaru z zastosowaniem skanera laserowego jest tzw. chmura punktów, która obejmuje dziesiątki milionów precyzyjnie zdefiniowanych punktów pomiarowych w przestrzeni o zasięgu od kilkudziesięciu do kilkuset metrów. Jednocześnie w trakcie pomiaru, skaner umożliwia akwizycję obrazu sferycznego, co pozwala na uzupełnienie otrzymanej chmury punktów o informacje o kolorze. Ponieważ skaner jest w stanie uchwycić punkty tylko w bezpośredniej linii widzenia, skanowanie wykonuje się zwykle z kilku pozycji, a otrzymane chmury punktów są następnie łączone (ryc. 1).



Ryc. 1. Łączenie wielu skanów w skan wynikowy.

Podczas wykonywania pomiarów na niektórych rodzajach nawierzchni mogą wystąpić odchylenia, które następnie ujawnią się w postaci szumu w wynikowej chmurze punktów. Innym źródłem potencjalnych niedokładności może być późniejsze nakładanie się chmur na siebie z poszczególnych pozycji skanowania. W przypadku dokumentowania rozległych obszarów lub miejsc o znacznym natężeniu ruch osób lub pojazdów, mogą wystąpić trudności z dostatecznym nakładaniem się na siebie poszczególnych chmur punktów (lub pokrywaniem się istotnych elementów, na podstawie których można następnie przeprowadzić wyrównywanie), co może wpłynąć na ograniczenie wykorzystania danych wynikowych. Jakość wyrównywania można poprawić poprzez wykorzystanie obiektów referencyjnych (sfery, tarcze) lub poprzez wykorzystanie algorytmu automatycznego wyrównywania. Niemniej jednak podstawową zasadą udanej kompozycji skanów jest przestrzeganie określonej maksymalnej odległości poszczególnych pozycji skanera i właściwego nakładania na siebie poszczególnych skanów.

Jak już wspomniano wyżej, niekorzystne warunki są bardzo częstym zjawiskiem towarzyszącym procesowi sporządzania dokumentacji dowodowej wypadków drogowych. Mogą to być złe warunki świetlne (noc, położenie słońca nad horyzontem, mgła), niekorzystne warunki pogodowe (ulewny deszcz, śnieg, bardzo silny wiatr) lub inne aspekty wpływające na pomiar (ruch osób, pojazdów lub służb ratowniczych w miejscu zdarzenia). Z ogólnego (i praktycznego) punktu widzenia istnieje silna presja i potrzeba jak najszybszego wyjaśnienia przyczyn wypadków drogowych oraz ich skutków, a przy niesprzyjających warunkach do sporządzenia dokumentacji dowodowej, najczęściej nie można oczekiwać późniejszej ich poprawy (m.in. biorąc pod uwagę również możliwą utratę niektórych istotnych śladów).

Na temat praktycznego wykorzystania skanowania laserowego do dokumentowania wypadków drogowych (oraz miejsc przestępstw) powstało już wiele opracowań, m.in. [2, 4, 5, 13, 15]. W opracowaniach tych wyrażany jest pogląd, że jest to właściwa, precyzyjna i bardzo elastyczna metoda sporządzania dokumentacji dowodowej.

Do czynności dokumentacyjnych w ramach działalności Centrum Badań Ruchu Drogowego (projekt Pogłębione Analizy Wypadków Drogowych) oraz Instytutu Ekspertyz Sądowych Wydziału Transportu Czeskiej Politechniki w Pradze, wykorzystuje się skaner laserowy 3D Leica RTC360, który służy również do czynności testowych, wykonywanych przez organy policji czeskiej. Skaner wykorzystuje szybki system impulsowy do pomiaru odległości w zakresie od 0,5 m do 130 m z dokładnością kątową 18" oraz dokładnością odległościową 1,0 mm +10 ppm. Prędkość skanowania sięga 2 milionów punktów na sekundę w polu widzenia wynoszącym 360° w poziomie i 300° w pionie. Skaner wyposażony jest w system trzech kamer o rozdzielczości 36 Mpix, wysokościomierz, kompas i odbiornik GNSS. Skaner waży mniej niż 6 kg oraz posiada stopień ochrony IP54

przed wnikaniem cząstek stałych lub cieczy. Zdecydowaną zaletą skanera jest wykorzystywanie dwóch długości fal, co pozwala na pozyskiwanie danych o niskim poziomie szumu nawet na powierzchniach metalicznych (np. karoseriach samochodowych). Kolejną jego zaletą jest bardzo szybki proces skanowania, przy którym skan, nawet przy średnich nastawach jakościowych, wykonywany jest w ciągu dwóch i pół minuty nawet wykonując równocześnie ujęcie sferyczne [16].

W sumie, autorzy niniejszego artykułu, udokumentowali blisko sto rzeczywistych wypadków drogowych z wykorzystaniem skanera 3D w różnych warunkach pogodowych i drogowych. Rodzaje wypadków miały różny charakter, dzięki czemu możliwe było wyciągnięcie wniosków i dokonanie oceny możliwości zastosowania skanowania laserowego. W wypadkach tych uczestniczyły osoby jadące różnymi pojazdami oraz piesi.

2.1. Dokumentacja środowiska ruchu drogowego

Jednym z podstawowych dokumentów służącym analizie wypadków drogowych jest szkic miejsca wypadku. Jak już wspomniano wyżej, skaner 3D może być również wykorzystywany do dokumentowania rozległych obszarowo zdarzeń wypadkowych i jedynym czynnikiem ograniczającym jest w tym przypadku, pojemność pamięci skanera. W ten sposób można sporządzać kompleksową dokumentację dowodową miejsca wypadku, w tym jego topografię, obszarów o przesłoniętym widoku (czy to z powodu otaczających budowli, czy też z powodu roślinności).

W trakcie eksploatacji skanera sprawdzono również możliwości jego użycia w złych warunkach pogodowych, takich jak opady deszczu lub śniegu. Praktyka wykazała, że na proces skanowania nie mają wpływu lekkie opady deszczu lub śniegu i możliwe jest sporządzenie pełnej dokumentacji dowodowej miejsca wypadku oraz pojazdu biorącego w nim udział (ryc. 2 i 3).



Ryc. 2. Miejsce wypadku – dokumentacja sporządzona podczas deszczu (dokumentacja fotograficzna).



Ryc. 3. Miejsce wypadku – dokumentacja sporządzona podczas deszczu (skan 3D).

Skanowanie nie daje jednak możliwości kompensowania poruszających się obiektów podczas procesu skanowania. Skutkuje to pojawieniem się fragmentów, które przesłaniają inne elementy znajdujące się w tle. W związku z tym zeskanowane obiekty ruchome muszą zazwyczaj zostać usunięte, co wydłuża czas przetwarzania. Z tego powodu nowoczesne urządzenia do skanowania posiadają szereg funkcji, jak np. powtórne skanowanie, podczas którego usuwane są obiekty poruszające się pomiędzy dwoma kolejnymi skanami wykonanymi z jednej pozycji [16].

Dodatkowo ze względu na konieczność zobrazowania terenu z wielu miejsc, prawdopodobieństwo przekrycia tego samego miejsca jest stosunkowo niewielkie i poszczególne skany wzajemnie się uzupełniają. Końcowy skan (wynikowy) w takich przypadkach poddaje się procesowi czyszczenia (wyniki czyszczenia przedstawia ryc. 4), ponieważ podczas korzystania fotografii sferycznej otrzymana tekstura bywa przebarwiona poprzez poruszające się obiekty. Istotne ślady są jednak stale wychwytywane ze względu na intensywność odbicia ich powierzchni (patrz ryc. 5). Ponadto większość oprogramowania zawiera obecnie funkcje lub narzędzia do usuwania tych zbędnych danych.



Ryc. 4. Skan miejsca wypadku – wyświetlenie z kolorami.



Ryc. 5. Skan miejsca wypadku – wyświetlenie na podstawie intensywności odbicia.

Ponieważ zasada działania skanerów laserowych 3D polega na emitowaniu wiązki laserowej i rejestrowaniu jej odbicia od powierzchni skanowanego obiektu, skanery do swego działania nie wymagają światła, zatem sporządzanie dokumentacji miejsca wypadku może być prowadzona nawet w zupełnej ciemności.

Na ryc. 6 przedstawiono zdjęcie miejsca wypadku dwóch samochodów osobowych wykonane aparatem fotograficznym, a na ryc. 7 przedstawiono wynik skanowania 3D bez użycia fotografii sferycznej (stosowanej do kolorowania punktów), wykonanego z tej samej pozycji, z której wykonano zdjęcie.



Ryc. 6. Fotografia przedstawiająca miejsce wypadku przy ograniczonej widoczności.



Ryc. 7. Skan 3D miejsca wypadku przy ograniczonej widoczności.

2.2. Dokumentacja uszkodzeń pojazdu

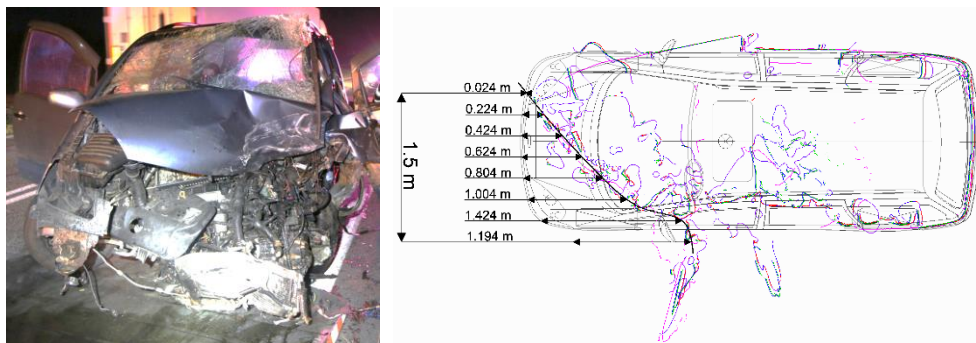
Dokumentacja trójwymiarowa z wykorzystaniem skanowania laserowego może być stosowana z powodzeniem przy dokumentowaniu uszkodzeń pojazdów. Podobnie jak w przypadku dokumentacji miejsca wypadku, metoda dokumentowania nieselektywnego daje możliwość zobrazowania uszkodzeń pojazdu, które nie zostały początkowo ujawnione.

Uzyskana chmura punktów może być wykorzystana np. do określenia korelacji uszkodzeń, wysokości różnych otarć czy uszkodzeń karoserii pojazdu. Dokumentacja uszkodzeń pojazdów z wykorzystaniem skanera 3D (jak również ogólnie metod 3D) jest szczególnie przydatna w przypadku uszkodzeń całkowitych lub rozległych, gdy znalezienie referencyjnej, nieuszkodzonej części pojazdu, na podstawie której można dokonać pomiaru uszkodzeń, jest po prostu niemożliwe (ryc. 8).



Ryc. 8. Pojazd w znacznym stopniu zdeformowany po wypadku drogowym (u góry skan 3D, u dołu zdjęcie pojazdu).

Trójwymiarowe modele pojazdów umożliwiają tworzenie przekrojów dwuwymiarowych (ryc. 9), które można wykorzystać do porównywania z nieuszkodzonym pojazdem lub jego dokładnym modelem, pomiaru głębokości deformacji pojazdu, jak również w późniejszej analizie, do obliczania energii deformacji działającej na pojazd (np. metoda CRASH3), a finalnie do obliczania prędkości zderzeniowych pojazdów.



Ryc. 9. Uszkodzony pojazd (po lewej), przekrój uszkodzonego pojazdu i pomiar deformacji z wykorzystaniem modelu 2D (po prawej).

3. Uwagi praktyczne

Skanery laserowe 3D stanowią jedną z najbardziej zaawansowanych metod, którą można obecnie wykorzystać do dokumentowania wypadków drogowych. Zasada ich działania pozwala na ich wykorzystanie w różnych warunkach (ograniczona widoczność, niekorzystne warunki atmosferyczne, wzmożony ruch osób lub pojazdów), przy czym obszar, który można udokumentować za pomocą skanera, w zasadzie ogranicza jedynie pojemność pamięci tego urządzenia.

Skanery mogą być sterowane również zdalnie przy pomocy smartfona lub tabletu, co dodatkowo daje możliwość korzystania z uproszczonej funkcji podglądu lub rejestracji skanów i pozwala na bezpośrednią kontrolę dokumentacji w miejscu wypadku, a w razie potrzeby, na wykonanie dodatkowych skanów. Na niekorzyść stosowania skanerów 3D wpływają wysokie koszty ich zakupu, przy czym należy wziąć pod uwagę również konieczność posiadania oprogramowania i odpowiednio wydajnego sprzętu do przetwarzania pozyskanych danych.

3.1. Szybkość skanera 3D

Szybkość sporządzania dokumentacji dowodowej z wykorzystaniem skanera 3D zależy zarówno od stosowanego urządzenia i jego ustawień, jak również od ilości stanowisk, z których wykonywane są skany. Tabela 1 przedstawia zestawienie czasów niezbędnych do pozyskania skanu miejsca wypadku z zastosowaniem skanera Leica RTC360.

Tabela 1. Zestawienie czasów niezbędnych na wykonanie dokumentacji miejsca wypadku z zastosowaniem skanera 3D.

Skanowanie	Wykonanie zdjęć do kolorowania poszczególnych punktów	Razem	Przemieszczanie się pomiędzy stanowiskami
Niska rozdzielczość (odstęp między punktami 12 mm do 10 m) ok. 25 s	Okolo 1 min	do 1:25 min	Okolo 30 s (z uwzględnieniem przesunięcia skanera na odległość od 10 do 15 m)
Średnia rozdzielczość (odstęp między punktami 6 mm do 10 m) ok. 50 s		do 1:50 min	
Wysoka rozdzielczość (odstęp między punktami 3 mm do 10 m) ok. 1:40 min		do 2:40 min	

Z powyższej tabeli wynika, że z wykorzystaniem skanera 3D można udokumentować jedno stanowisko w czasie od 25 s do 2:40 min, w zależności od zastosowanej rozdzielczości skanowania i funkcji fotografii sferycznej używanej do kolorowania chmury punktów.

W celu pokazania czasu niezbędnego do sporządzenia dokumentacji wypadku drogowego, posłużymy się przykładem kolizji dwóch samochodów osobowych na skrzyżowaniu, w której dla zwykłej dokumentacji należy uwzględnić około 15 stanowisk skanera (cztery stanowiska dla każdego pojazdu, trzy stanowiska dla ruchu przedkolizyjnego każdego pojazdu oraz jedno stanowisko w punkcie zderzenia pojazdów). Z doświadczeń autorów wynika, że najbardziej właściwe dla udokumentowania miejsca wypadku było zastosowanie średnich nastawień skanera, gdyż pozwala ono na wystarczająco szczegółowe uchwycenie zdarzenia wypadkowego, przy stosunkowo niewielkim zapotrzebowaniu na czas i dane. Przy średniej rozdzielczości wielobarwnego skanu, na sporządzenie dokumentacji dowodowej miejsca wypadku było potrzebne około 35 min, przy czym najkrótszy okres czasu na wykonanie czarno-białego skanu miejsca wypadku, wynosi około 15 min.

Czas potrzebny do sporządzenia skanu miejsca wypadku drogowego należy jednak zwiększyć o czas niezbędny na jego przetworzenie, który zależy m.in. od szybkości obliczeniowej komputera. Dla naszego przykładu kolizji na skrzyżowaniu, udokumentowanej 15 pozycjami skanera czasy są następujące:

- pobranie danych do komputera – do 30 min,
- rejestracja stanowisk skanera – od 5 do 30 min,
- usunięcie zbędnych i niepożądanych punktów – od 5 min do 1 godz.,

- przygotowanie danych wyjściowych – projekcja ortofoto, eksport poszczególnych skanów do otwartego formatu (najczęściej *.e57) oraz sporządzenie interaktywnej wizualizacji miejsca wypadku – 15 min.

Jeżeli dokumentowane są jedynie uszkodzenia pojazdu, cały proces skanowania jest znacznie prostszy. W tym przypadku dokumentację, nawet przy najwyższych nastawach rozdzielczości skanowania, można sporządzić w czasie do ok. 10 min, przy czym niezbędnym minimum jest skanowanie z czterech pozycji skanera (z każdego rogu pojazdu).

Również obróbka skanu w tym przypadku jest znacznie uproszczona. Wyeliminowana jest konieczność czyszczenia niechcianych punktów uchwyconych w wyniku ruchu ludzi lub pojazdów, a rejestrację pozycji skanera można wykonać w ułamku czasu potrzebnego na skanowanie 3D całego miejsca wypadku. Ogólnie rzecz biorąc, przetworzenie wyników skanowania pojazdu można wykonać w ciągu kilkadziesiąt minut.

3.2 Wielkość skanu

Wielkość wynikowego skanu 3D jest uzależniona od wielu czynników. Poza liczbą stanowisk skanera i wykonanych skanów, rozmiar wynikowy skanu zależy również od różnorodności dokumentowanego obszaru (skan drogi prowadzącej pod koronami drzew będzie większy niż skan wolnego obszaru rejestrujący jedynie jezdnię). Istotną rolę odgrywa również format eksportu wynikowego skanu (różnica w wielkości pliku pomiędzy różnymi formatami może sięgać nawet kilkadziesiąt procent). Autorzy artykułu przy pracy z omawianym skanerem 3D używali nastawień średniej gęstości punktów ($4\ 200 \times 10\ 200$ punktów). Przeciętna wielkość jednej pozycji skanowania kolorowego wynosi do 500 MB.

3.3 Zalecenia

W oparciu o doświadczenia autorów w zakresie dokumentacji wypadków drogowych z zastosowaniem skanerów 3D można sformułować następujące zalecenia:

- między poszczególnymi stanowiskami skanera należy zachować odstęp maksymalnie 10–15 m, a na obszarach bardziej zasłoniętych (np. z powodu ruchu pojazdów) mniejszy,
- podczas skanowania w warunkach słabego oświetlenia, należy wyłączyć funkcję kolorowania chmury punktów,
- podobnie przy większym natężeniu ruchu i dużej liczbie osób w miejscu wypadku, należy wyłączyć funkcję kolorowania chmury punktów, co pozwala na znaczne zaoszczędzenie czasu, zmniejszenie wielkości wynikowego skanu, a w wielu przypadkach poprawia także przejrzystość wynikowej dokumentacji,
- uwzględniając odległość, z jakiej wykonywano skanowanie, mniejsza rozdzielczość skanu okazała się wystarczająca dla sporządzenia dokumentacji uszkodzonego pojazdu,

- skanowanie pojazdu zaleca się wykonać co najmniej z czterech stanowisk (z narożników pojazdu), które można uzupełnić skanem lub skanami w osiach oraz w poziomie uszkodzenia pojazdu.

Warto również wspomnieć o zalecanych wymaganiach sprzętowych dla oprogramowania wykorzystywanego do przetwarzania skanów (tabela 2).

Tabela 2. Zalecane wymagania sprzętowe dla oprogramowania Leica Cyclone [17].

Procesor	Najnowszy czterordzeniowy procesor i7 lub jego odpowiednik 3,5 GHz lub szybszy
RAM	64 GB
System operacyjny	Windows 7 (64 bit) lub Windows 10 (64 bit)
Karta graficzna	NVIDIA GTX 900 lub 1000 z 8 GB pamięci lub NVIDIA Quadro P5500 lub odpowiednik
Dysk twardy	Zalecane są dyski SSD

4. Podsumowanie

Skaner 3D to nowoczesne urządzenie o szerokim zastosowaniu w ramach postępowań dochodzeniowych i w analizach wypadków drogowych. Daje możliwość bardzo dokładnego i precyzyjnego zarejestrowania miejsca wypadku drogowego oraz sporządzenia szczegółowej dokumentacji uszkodzeń pojazdów biorących w nim udział. Wykorzystanie skanera do dokumentowania miejsca wypadku zalicza się do tzw. pomiarów nieselektywnych, w których obszar analizowany jest w całości przy zachowaniu możliwości odzyskania poszczególnych śladów w późniejszym czasie. Zaletą tej metody jest pełna dokumentacja (w sprzyjających warunkach oświetleniowych również w kolorze), pozwalająca na wykonanie wirtualnej wizualizacji całego miejsca wypadku drogowego. Niewątpliwą zaletą wykorzystania skanera 3D jest możliwość pozyskania danych do analizy widoku z pojazdu oraz wykrywania przesłoniętych scenarii.

Samo urządzenie może być obsługiwane również zdalnie z możliwością podglądu, co pozwala na kontrolę wykonanej dokumentacji i w razie potrzeby na wykonanie dodatkowych skanów. Skaner może być używany w różnych warunkach, także przy niekorzystnej pogodzie. Podczas ulewnego deszczu wiązka lasera może być przechwytywana przez spadające krople wody, a uzyskany skan będzie miał wyższy poziom szumów. Szum ten jest jednak łatwo rozpoznawalny w ramach modelu i nie zmniejsza wartości informacyjnej otrzymanego pomiaru. Jeżeli w miejscu skanowania występują kałuże lub inne obszary wodne, to zazwyczaj dochodzi do błędnego odbicia wiązki lasera, co powoduje, że obszary te nie są ujmowane w wynikowym skanie.

W przypadku opadów śniegu sytuacja jest podobna, przy czym poziom zakłóceń jest wyższy ze względu na wychwytywanie przez wiązki lasera pojedynczych

płatków śniegu. Na śniegu skaner ma jednak bardzo wyraźną zaletę, którą jest możliwość uchwycenia pojedynczych śladów przed ich zamazaniem czy zniszczeniem.

W przypadku dużej liczby osób i pojazdów poruszających się w miejscu sporządzania dokumentacji dowodowej, proces skanowania jest zakłócany fragmentami poruszających się obiektów (są one rejestrowane i przesłaniają widok części skanowanego miejsca). Obowiązuje tu zasada, że im szybciej obiekt porusza się w obszarze skanowania, tym mniejszy jest jego negatywny wpływ na otrzymany wynik skanowania. Poruszający się obiekt może również wpłynąć na wynikową teksturę chmury punktów o ile został uchwycony podczas fotografii sferycznej. Większa dynamika poruszających się obiektów oznacza również większą pracochłonność przy obróbce zeskanowanych danych.

Możliwe jest jednak wyłączenie funkcji teksturowania obrazu sferycznego lub jego pominięcie w końcowej obróbce skanu. Otrzymana chmura punktów zostanie następnie wybarwiona w oparciu o intensywność odbicia powierzchni, a otrzymany wynikowy skan 3D pozostanie w odcieniach szarości, przy czym uzyskany skan nadal umożliwi rozpoznanie poszczególnych elementów skanowanego miejsca (np. poziomych znaków drogowych, zaznaczonych śladów pojazdów itp.).

Praktyczne wykorzystanie skanerów 3D wciąż wiąże się z szeregiem komplikacji, wśród których wymienić można przede wszystkim koszty zakupu samego urządzenia, towarzyszącego mu oprogramowania oraz wymagania sprzętowe związane z przetwarzaniem wyników skanowania. Wymagane jest również odpowiednie doświadczenie osób wykonujących obróbkę pozyskanych danych, a także większe zasoby czasowe związane z późniejszym przetwarzaniem informacji, ewentualnie z ich długoterminową archiwizacją. Wymagania dotyczące praktyki i umiejętności są większe również w przypadku późniejszego wykorzystania skanów dla potrzeb biegłych sądowych.

Ponadto, tak samo jak uchwycenie obszarów zielonych przy skanowaniu 3D będzie korzystne przy analizie widoku miejsca, może być ono również niekorzystne, zwłaszcza w przypadku dokumentowania kształtu jezdni i jej otoczenia. Takie same komplikacje można napotkać np. jeżeli chcemy wykonać dokumentację rzeczywistego ukształtowania terenu dla celów modelowania symulacyjnego, gdy w miejscu tym występują wysokie trawy lub inna tego typu roślinność.

Pomimo wyżej wspomnianych zjawisk negatywnych, stosowanie skanera 3D w analizie wypadków drogowych jest nowoczesną, szybką i wysoce precyzyjną metodą sporządzania dokumentacji powypadkowej, która ma potencjał wzrostowy w zakresie jakości.

Bibliografia

1. Bradáč, A. i in. (1997). *Soudní inženýrství*. Brno: Akademické nakladatelství CERM.

2. Grimes, C., Roescher, T., Suway, J.A., Welcher, J. (2018). *Comparing the Accuracy of Image Based Scanning Techniques to Laser Scanners*, SAE Technical Paper 2018-01-0525, 2018. DOI:10.4271/2018-01-0525.
3. Motl, J., Růcker, J., Kafaňková J., Bradáč, A. (2018). Metody dokumentace místa dopravní nehody. *Soudní inženýrství*, 29 (4), 25–36. DOI: 10.13164/SI.2018.4.25.
4. Pagounis, V. i in. (2006). *3D laser scanning for road safety and accident reconstruction*. Proceedings of the XXIII International FIG Congress.
5. Perc, M. i in. (2020). Using the scanners and drone for comparison of point cloud accuracy at traffic accident analysis. *Accident Analysis & Prevention*, 2020, 135: 105391. DOI: 10.1016/j.aap.2019.105391.
6. Instrukcja Dyrektora Policji Drogowej Prezydium Policji Republiki Czeskiej nr 1/2021 z dnia 1 stycznia 2021 r., która reguluje czynności w zakresie badania wypadków drogowych.
7. Stáňa, I., Tokař, S., Bilík, M. (2016). *Možnosti zaměření místa dopravní nehody s využitím ortofotosnímků*. Sborník anotací. Brno: Ústave soudního inženýrství Vysokého učení technického v Brně, s. 80–88.
8. Stáňa, I., Tokař, S., Bucsuházy, K., Bilík, M. (2017). Comparison of Utilization of Conventional and Advanced Methods for Traffic Accidents Scene Documentation in the Czech Republic. *Procedia Engineering. Procedia Engineering*.
9. Svatý, Z., Mičunek T., Nováček J. (2020). *Využití prostorových dat pro účely simulace nehodového děje*. Expert Forensic Science XXIX. mezinárodní vědecká konference soudního inženýrství. Brno: Vysoké učení technické v Brně, s. 228–237.
10. Svatý, Z. (2019). *Optimalizace metody získávání a zpracování obrazových podkladů pro potřeby analýzy dopravních nehod*. Praca doktorska. České Vysoké technické v Praze, fakulta dopravní, Ústav soudního znelectví v dopravě.
11. Svatý, Z. (2016). *Photogrammetry-Based Models of Accident Sites*. Proceedings 25th Annual Congress EVU. Žilina: EDIS – vydavatelstvo Žilinské univerzity, s. 241–246.
12. Svatý, Z., Kocián, K., Lenková, A. (2018). Fotogrammetrická rekonstrukce místa nehody za pomoci bezpilotního prostředku. *Soudní inženýrství*, 29 (1), 30–34.
13. Tandy, D. F., Coleman, C., Colborn, J., Hoover, T., Bae, J. (2012). *Benefits and methodology for dimensioning a vehicle using a 3D scanner for accident reconstruction purposes*. SAE Technical Paper 2012-01-0617. DOI:10.4271/2012-01-0617.
14. Tokař, S., Stáňa, I., Bilík, M. (2016). *Porovnání možností zaměření místa dopravní nehody*. Expert Forensic Science Brno: Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, s. 156–168.
15. Topolšek, D., Herbaj, E.A., Kamnik, R. (2019). 3D Laser Scanners and Point Clouds for Obtaining Car Accident Sketches. *Revija za kriminalistiko in kriminologijo*, 70 (4).
16. Mikulec, R., Svatý, A., Motl, J. (2020). *Problematika 3D skenování při dokumentaci dopravních nehod*. Sborník příspěvků konference ExFoS 2022: XXX. mezinárodní vědecká konference Soudního inženýrství, Mikulov.
17. www.gefos-leica.cz.



Artykuł był finansowany przy wsparciu Agencji Technologii Republiki Czeskiej oraz Ministerstwa Transportu w ramach programu Transport 2020+.

* * *

3D scanning in road accident investigations

Abstract

This article presents the issues of documentation of traffic accidents using 3D scanning and the practical experience of the authors of this article in its use at the accident scene and subsequent data processing. In particular, the various conditions under which documentation can be performed and the solution of some practical problems related to the use of 3D scanners are described. Finally, the authors' recommendations for the use of 3D scanners for effective documentation of traffic accidents are suggested, taking into account the time requirements and the size (volume) of the data in relation to the need for archiving.

Key words

Accident, documentation, 3D laser scanning.