Uniwersytet Warmińsko – Mazurski w Olsztynie

Wydział Prawa i Administracji

Bartosz Klepczyński

Modelowanie 3D w kryminalistyce i procesie karnym

Praca doktorska napisana pod kierunkiem

prof. dr hab. Jerzego Kasprzaka

Olsztyn 2022

Spis treści

Zagadnienia wstępne ... 6
1) Wprowadzenie ... 6
2) Hipotezy badawcze ... 9
3) Zakres i przedmiot badań ... 10
4) Zastosowane metody badawcze ... 12
ROZDZIAŁ I Współczesne techniki wizualizacji w kryminalistyce ... 16
1) Fotografia kryminalistyczna ... 16
1.1) Fotografia dokumentacyjna ... 16
1.1.1) Fotografia ogólnoorientacyjna ... 17
1.1.2) Fotografia sytuacyjna ... 19
1.1.3) Fotografia fragmentaryczna ... 20
1.1.4) Fotografia szczegółowa ... 20
1.2) Fotografia rejestracyjna ... 22
1.3) Fotografia badawcza ... 24
1.3.1) Fotografia w podczerwieni ... 25
1.3.2) Fotografia z wykorzystaniem światła nadfioletowego oraz w promieniowaniu nadfioletowym ... 26
1.3.3) Fotografia luminescencji w UV ... 29
1.3.4) Rendgenografia ... 30
1.4) Fotografia detektywna ... 31
2) Szkice kryminalistyczne ... 33
2.1) Rodzaje szkiców i planów kryminalistycznych ... 33
2.2) Plan kryminalistyczny ... 40
3) Przegląd urządzeń pomiarowych wykorzystywanych we współczesnej kryminalistyce. 41
3.1) Urządzenia manualne ... 41
3.2) Przymiar liniowy (wstęgowy) ... 43
3.3) Koło pomiarowe ... 44
3.4) Urządzenia do pomiarów laserowych ... 47
3.4.1) Dalmierze laserowe ... 47
3.4.2) E –surve ... 49
ROZDZIAŁ II Techniki skanowania 3D ... 55
1) Podział technik skanowania ... 55
2) Słowniczek skanowania i modelowania 3D ... 58
3) Structure from Motion (SFM) ... 71
3.1) Zasady wykonywania obrazów dwuwymiarowych na potrzeby modelowania techniką SFM. ... 79
3.1.1) Zasady ogólne ... 79
3.1.2) Głębia ostrości ... 80
3.1.3) Przymiar ... 82

3.1.4) Oświetlenie 82
3.1.5) Kąty 83
3.1.6) Modelowanie miejsca zdarzenia 85
3.1.7) Modelowanie śladów zabezpieczonych na miejscu zdarzenia 86
3.1.8) Modelowanie małych obiektów 87
4) Skaning laserowy 88
4.1) Zasady skanowania miejsca zdarzenia z wykorzystaniem naziemnego skanera 3D. 91
4.1.1) Dobór stanowiska pomiarowego. 91
4.1.2) Parametry skanowania 93
4.2) Łączenia skanów w jednolitą chmurę punktów 96
4.2.1) Automatyczne łączenie skanów 96
4.2.2) Manualne łączenie skanów 97
4.3) Ograniczenia laserowego skaningu naziemnego 97
ROZDZIAŁ III Możliwości zastosowania skanowania 3D we współczesnej kryminalistyce 100
1) Zastosowanie modelowania 3D w badaniu wypadków komunikacyjnych 100
2) Słownik definicji 102
3) Wykorzystanie modelowania 3D na potrzeby kryminalistycznego badania miejsca wypadku lotniczego 104
3.1) Wykorzystanie skanowania laserowego na potrzeby badania wypadków lotniczych 106
3.1.1) Czynności wykonane na miejscu zdarzenia 107
3.1.2) Skanowanie wykonywane po oględzinach miejsca katastrofy lotniczej 112
3.1.3) Analiza krateru oraz żłobień pod kątem rekonstrukcji kontaktu statku powietrznego z ziemią 113
3.1.4) Analiza zniszczenia statku powietrznego na podstawie modelu wzorcowego 116
3.1.5) Analiza i rekonstrukcja ostatnich sekund lotu na podstawie połamanych drzew oraz zniszczeń innych przeszkód terenowych 118
3.1.6) Analiza rozłożenia elementów statku powietrznego na miejscu zdarzenia 122
3.1.7) Stworzenie mapy usytuowania zwłok na miejscu zdarzenia 123
3.2) Wykorzystanie modelowania fotogrametryczną metodą SFM na potrzeby badania katastrof lotniczych 127
3.2.1) Czynności wykonywane z wykorzystaniem aparatu fotograficznego lub kamery wideo 127
3.2.2) Czynności wykonywane z wykorzystaniem bezzałogowych statków powietrznych 129
3.2.3) Modelowanie fotogrametryczne SFM w warunkach podwodnych 131
3.2.4) Modelowanie SFM wykonywane po czynnościach oględzinowych miejsca .. 133
3.2.5) Analiza ukształtowania oraz rozmiarów miejsca zdarzenia 134
3.2.6) Analiza śladów żłobienia 135
3.2.7) Analiza geometrii oraz zniszczeń statku powietrznego 136
3.2.8) Rejestrowanie usytuowania zwłok oraz ich wizerunku 137

3.3) Technika skanowania światłem strukturalnym oraz mikroskopowej rekonstrukcji 3D na potrzeby badania katastrof lotniczych ... 137
4) Wykorzystanie modelowania 3D na potrzeby rekonstrukcji wypadków drogowych ... 139
4.1) Zastosowanie skanera laserowego 3D na miejscu zdarzenia drogowego ... 142
4.1.1) Czynności wykonywane na miejscu wypadku drogowego ... 143
4.1.2) Skanowanie wykonywane po oględzinach miejsca zdarzenia drogowego ... 145
4.2) Rekonstrukcja miejsca zdarzenia drogowego z wykorzystaniem techniki fotogrametrycznej SFM ... 147
4.2.1) Czynności wykonywane na miejscu zdarzenia drogowego ... 147
4.2.2) Modelowanie techniką SFM po zdarzeniu w warunkach kontrolowanych ... 150
4.3) Pomiar śladów hamowania zarzucania oraz innych śladów „płaskich" z miejsca zdarzenia ... 151
ROZDZIAŁ IV Badanie dokumentów ... 156
1) Techniczne badanie dokumentów ... 156
1.1) Identyfikacja technik drukarskich ... 157
1.2) Druk wklęsły (staloryt) ... 162
1.3) Znak wodny ... 166
1.4) Dokumenty poliwenglanowe ... 167
2) Badania klasyczne dokumentów ... 170
ROZDZIAŁ V Wykorzystanie technik 3D w przypadku badań odontoskopijnych ... 172
1) Charakter śladów odontoskopijnych ... 172
2) Cechy identyfikacyjne ... 175
3) Możliwości modelowania 3D w odontoskopii ... 176
3.1) Metodyka dokonywania pomiaru i modelowania techniką SFM śladów odontoskopijnych ... 177
3.2) Metodyka wykonywania pomiarów oraz modelowania z wykorzystaniem skanera światła strukturalnego ... 179
3.2.1) Metodyka ogólna bez zastosowania stolika obrotowego ... 180
3.2.2) Metodyka pomiaru z zastosowaniem stolika obrotowego ... 180
3.2.3) Metodyka wykonywania pomiaru i modelowania szczęki oraz żuchwy z wykorzystaniem obrazowania tomograficznego ... 181
4) Możliwości dokonywania badania i analizy śladów odontoskopijnych oraz zestawienie ich z materiałem porównawczym ... 183
5) Tworzenie cyfrowej bazy danych śladów odontoskopijnych ... 195
ROZDZIAŁ VI Wykorzystanie techniki 3D w przypadku badań traseologicznych ... 197
1) Opis technik modelowania 3D śladów traseologicznych ... 197
ROZDZIAŁ VII Zastosowanie modelowania 3D na potrzeby medycyny sądowej ... 209
1) Zastosowanie modelowania 3D w medycynie sądowej ... 212
1.1) Technika skanowania laserowego na potrzeby medycyny sądowej ... 213
1.2) Modelowanie techniką SFM na potrzeby medycyny sądowej ... 216
1.2.1) Zasady stosowania metody fotogrametrycznej na potrzeby medycyny sądowej ... 217

1.3) Modelowanie na potrzeby medycyny sądowej w wykorzystaniem obrazów tomograficznych ... 224
2) Analiza możliwości zastosowania technik 3D w medycynie sądowej podczas analizy przykładowych zdarzeń o charakterze kryminalnym ... 233
2.1) Wypadek drogowy ... 233
2.1.1) Skaner laserowy ... 233
2.1.2) Skanowanie metodą fotogrametryczną SFM ... 234
2.1.3) Modelowanie z wykorzystaniem obrazowania tomograficznego ... 234
2.2) Zdarzenie z bronią palną ... 235
2.2.1) Skaner laserowy ... 235
2.2.2) Skanowanie metodą fotogrametryczną SFM ... 235
2.2.3) Modelowanie z wykorzystaniem obrazowania tomograficznego ... 236
2.3) Upadek z wysokości ... 237
2.3.1) Skaner Laserowy ... 237
2.3.2) Skanowanie metodą fotogrametryczną SFM ... 237
2.3.3) Modelowanie z wykorzystaniem obrazowania tomograficznego ... 238
2.4) Zabójstwa z użyciem narzędzi niebezpiecznych (nóż, narzędzia tępe) ... 238
2.4.1) Skaner Laserowy ... 238
2.4.2) Skanowanie metodą fotogrametryczną SFM ... 238
2.4.3) Modelowanie z wykorzystaniem obrazowania tomograficznego ... 239
ROZDZIAŁ VII Potencjalne kierunki rozwoju kryminalistyki z wykorzystaniem technologii 3D ... 242
1) Problem wartości dowodowej technologii 3D ... 242
2) Ramy prawne stosowania technologii 3D ... 245
3) Znajomość zasad technologii 3D wśród pracowników organów ścigania i wymiary sprawiedliwości ... 248
WNIOSKI ... 249
BIBLIOGRAFIA ... 253
WYKAZ STRON INTERNETOWYCH ... 265
WYKAZ RYCIN ... 266
WYKAZ TABEL ... 271
STRESZCZENIE ... 272

Zagadnienia wstępne

1) Wprowadzenie

W kryminalistyce jako dziedzinie naukowej, występowała zawsze duża dynamika zmian oraz absorbcja osiągnięć z szerokiego kręgu innych dyscyplin naukowych, do realizacji celów procesu karnego[1]. Rozwój kryminalistyki cechuje duża chłonność nowatorskich rozwiązań znajdujących swoje zastosowanie w praktyce dochodzeniowo-śledczej. Jednakże w dobie rewolucji technologicznej charakterystycznej dla czasów obecnych, zmiany zachodzą w sposób „agresywny"[2]. Z jednej strony możemy mówić o znacznym postępie w życiu społecznym cechującym się nasyceniem nowoczesnymi technologiami. Z drugiej natomiast, niekontrolowany rozwój nowinek technicznych umożliwia środowisku przestępczemu wykorzystywanie coraz bardziej zmyślnych metod i technik popełniania czynów zabronionych. Paradoksem takiej sytuacji technologicznej mogą być np. autonomiczne samochody powoli wdrażane do ruchu ulicznego w niektórych krajach. W jaki sposób interpretować zdarzenie drogowe z użyciem takiego pojazdu? Czy doszukiwać się błędu w oprogramowaniu? Jak poprawnie utrwalać zapis podróży, by nadawał się do analizy? Jakimi technikami i metodami posłużyć się w celu optymalnego wykorzystania potencjału technologicznego w trakcie czynności kryminalistycznych? Wskazując inny przykład nie trzeba szukać daleko i z całą stanowczością można wskazać możliwości druku 3D. W jednym przypadku technologia ta zostanie użyta, by wydrukować zastawkę serca i uratować komuś życie. W innym, ktoś wydrukuje broń palną zdolną do pojedynczego lub kilkukrotnego wystrzału. Taki stan technologii powoduje często trudności z opracowaniem odpowiednich badań oraz metodyki wykorzystania w usystematyzowanej dziedzinie jaką jest kryminalistyka i proces karny. Dlatego wspomaganie rozwoju kryminalistyki staje się niejako koniecznością w celu sprostania nowym wyzwaniom, optymalizacji badań, szybkości analizy i czytelności uzyskiwanych wyników, połączonych z prostotą obsługi przeznaczonej dla przedstawicieli środowiska sędziowskiego i prokuratorskiego. Istota sprawnie wykorzystywanych technologii w kryminalistyce nie polega na zastosowaniu jak najbardziej skomplikowanej metody i zaawansowanego oprogramowania. Najważniejszym czynnikiem jest uzyskanie takiego efektu

[1] J. Kasprzak, B. Młodziejowski, W. Kasprzak, *Kryminalistyka. Zarys systemu,* Wyd. Difin, Warszawa 2015, s. 33.
[2] E. Gruza, M. Goc, J. Moszczyński, *Kryminalistyka, czyli o współczesnych metodach dowodzenia przestępstw,* Wyd. Wolters Kluwer, Warszawa 2020, s. 24.

pracy, który będzie czytelny i zrozumiały dla osób uczestniczących w procesie, wystrzegając się hermetyczności językowej w trakcie prezentacji specjalistycznych rozwiązań. Uzyskana w ten sposób ekspertyza będzie nie tylko zrozumiała, ale i rozwieje mnożące się w sprawie wątpliwości po stronie organu procesowego i obrońcy. Podobnie jednak jak z wcześniej wspomnianym rozwojem technologicznym dla potrzeb społecznych, możliwe jest adaptowanie najnowocześniejszych technologii jako narzędzi badawczych, analitycznych i prewencyjnych dla celów techniki i taktyki kryminalistycznej[3].

Jednym z rozwiązań technicznych wprowadzanych do szerokiego zastosowania w ramach inżynierii jest skanowanie i modelowanie trójwymiarowe przedmiotów oraz otoczenia. Uzyskiwane za pomocą technik modelowania wyniki pokazują szereg możliwych zastosowań w wielu gałęziach kryminalistyki, na różnych poziomach jej zastosowania. Od pracy podczas dokumentowania miejsca zdarzenia przez funkcjonariuszy szeroko rozumianych organów ścigania, poprzez identyfikację indywidualną w ramach badań eksperckich z zakresu mechanoskopii, traseologii a nawet daktyloskopii[4]. Zastosowanie technik modelowania trójwymiarowego pozwala również na rekonstrukcję zdarzeń drogowych, czy zdarzeń o charakterze masowym takich jak wybuch, katastrofa komunikacyjna oraz klęska żywiołowa[5].

Pomimo wyżej opisanych możliwości, technika modelowania trójwymiarowego na chwilę obecną znacznie wyprzedza metodykę działań na miejscach zdarzeń oraz ugruntowaną w polskim postępowaniu karnym metodę „papierową" wizualizacji miejsca zdarzenia i śladów na nim zabezpieczonych. Ponadto koszty związane z wprowadzeniem automatycznej rejestracji miejsca zdarzenia i śladów w znacznym stopniu ograniczają możliwość zaadoptowania tych technik do powszechnego użytku. Wbrew opisanym przeciwnościom należy stwierdzić, iż możliwości jakie niesie ze sobą technika modelowania trójwymiarowego wraz z oprogramowaniem ją obsługującym nie są na tyle duże, iż konieczne będzie jej wykorzystanie w kryminalistyce. Wprowadzenie podobnych rozwiązań w skali powszechnie dostępnej dla organów ścigania w znaczonym stopniu spowoduje poprawę efektów pracy wykonywanej

[3] B. Hołyst, *Kryminalistyka,* Wyd. Wolters Kluwer, Warszawa 2018, s. 31.
[4] M. Zubańska, *Nowe technologie w kryminalistyce. Aspekty prawne i kryminalistyczne,* Wyd. ElSet, Olsztyn 2019, s. 98 i nast.
[5] B. Hołyst, op. cit,, s. 341-342, E. Gruza, M. Goc, J. Moszczyński, op. cit., s. 293, a także por. L. Koźmiński, M. Brzozowska, J. Kościuk, W. Kubisz, *Wykorzystanie możliwości skanowania 3D w oględzinach i dokumentowaniu miejsca zdarzenia,* Problemy Kryminalistyki nr. 267/2010, s. 55., P. Girdwoyń, *Skanowanie 3D na miejscu zdarzenia – przyszłością kryminalistyki,* [w:] B. Hołyst red. Technika kryminalistyczna w pierwszej połowie XXI wieku. Wybrane problemy. PWN, Warszawa 2014, s. 785 i nast.

przez techników kryminalistyki, funkcjonariuszy pionów dochodzeniowo- śledczych, prokuratorów i sędziów[6].

Niewątpliwie jedną z największych zalet wizualizacji trójwymiarowej jest „zamrożenie" miejsca zdarzenia. Dzięki takiemu zjawisku osoby zaangażowane w postępowanie dostają możliwość wirtualnego cofnięcia się na miejsce zdarzenia, takim jakie ono było w czasie wykonywania modelu. Dobranie odpowiednich technik modelowania pozwala również na dokonywaniu pomiarów miejsca zdarzenia z dowolnie przyjętych punktów z dokładnością do dziesiątych części milimetra, a nie tylko odczytania pomiarów wykonanych podczas oględzin przez zespół oględzinowy[7].

Wychodząc naprzeciw tym problemom w pracy zostaną pokazane możliwości zastosowania szerokiej gamy mechanizmów modelowania trójwymiarowego miejsca zdarzenia. Każda z technik zostanie poddana badaniom mającym na celu zweryfikowanie jej użyteczności w kryminalistyce, jak również wypracowującym metodykę pracy z danym urządzeniem. Badania porównawcze będą miały na celu zestawienie technik analogowych w szerokim zakresie wykonywanych w trakcie oględzin miejsca i przedmiotu z technikami modelowania trójwymiarowego. Porównana w nich zostanie szybkość metod, trudność ich zastosowania, ale przede wszystkim jakość materiałów uzyskanych za pomocą obu technik i ich możliwości wykorzystania w procesie.

Głównym celem badań jest przedstawienie i analiza podstawowych metod i technik trójwymiarowego modelowania miejsca i przedmiotów powiązanych z badaniem miejsca zdarzenia, przedstawienia ich możliwości oraz wskazanie konieczności dostosowania regulacji normujących zastosowanie opisanych w pracy technik w postępowaniu karnym i kryminalistyce.

Szczegółowymi celami badawczymi są: określenie wpływu wyżej opisanych w pracy technik modelowania trójwymiarowego na efektywność postępowania karnego, a w tym elementu na trwale połączonego z postępowaniem karnym, jakim jest dowodzenie. Praca w swoim zamiarze będzie starała się odpowiedzieć na pytania związane z pozytywnymi aspektami zastosowania technik wizualizacji 3D w kryminalistyce, jednakże w znacznej mierze

[6] Por. B. Klepczyński, *Fotografia kryminalistyczna,* [w:] red. J. Mazepa, Vademecum technika kryminalistyki, Wyd. Wolters Kluwer, Warszawa 2009.
[7] Por. E. Gruza, M. Goc, J. Moszczyński, op. cit., s. 293.

celem jej będzie zdefiniowanie zagrożeń jakie ta technika ze sobą niesie[8]. W tym zakresie podejmowane będą również starania odpowiedzi na pytanie czy aktualny stan prawny pozwala na wprowadzenie modelowania 3D do procesu, jeżeli tak, to jakie zmiany legislacyjne są potrzebne do unormowania wprowadzenia tej techniki[9]. Ostatnim jednak niemniej ważnym celem pracy będzie określenie jednorodnej metodyki pracy – procedur, podczas modelowania 3D na potrzeby procesowe, które to pozwolą na kontrolę jakości otrzymywanych rezultatów[10].

2) Hipotezy badawcze

Dla realizacji postawionego celu pracy zostały sformułowane następujące hipotezy badawcze:

1. Zastosowanie skanowania 3D w kryminalistyce jest rzeczą konieczną ze względu na jakość i obiektywizm otrzymywanych wyników.
2. Zastosowanie skanowania 3D pozwoli w dużym stopniu na podwyższenie jakości prowadzonych czynności procesowych na miejscu zdarzenia.
3. Skanowanie 3D umożliwia zabezpieczenie śladów w sposób nieosiągalny dla technik standardowych.
4. Modele 3D uzyskane za pomocą skanu pozwalają na identyfikację grupową i indywidualną.
5. Obrazowanie miejsca zdarzenia za pomocą modelowania 3D poprawi jakość postrzegania i wizualizacji miejsca zdarzenia podczas postępowania przygotowawczego i sądowego.
6. Modelowanie 3D w kryminalistyce wymaga stworzenia jednolitych norm jakościowych i metodyki ich wykonywania w celu zapewnienia ich jakości.
7. Zastosowanie urządzeń do modelowania i skanowania 3D na miejscu zdarzenia wymaga wprowadzenia modyfikacji wytwarzanej na miejscu zdarzenia dokumentacji oraz wprowadzenia umocowań legislacyjnych związanych z jej zastosowaniem.

[8] Por. J. Moszczyński, *Subiektywizm w badaniach kryminalistycznych,* Wyd. UWM, Olsztyn 2011, s. 11,
[9] Por. także S. Waltoś, P. Hofmański, *Proces karny. Zarys systemu.* Wyd. Wolters Kluwer, Warszawa 2020, s. 415 i T. Grzegorczyk, J. Tylman, *Polskie postępowanie karne,* Wyd. LexisNexis, Warszawa 2014, s. 524.
[10] Por. procedury według standardów amerykańskich – J. Wójcikiewicz, *Dowód naukowy w procesie sądowym,* Wyd. IES, Kraków 2000, J. Wójcikiewicz, *Temida nad mikroskopem,* Wyd. TNOiK, Toruń 2009, a także T. Tomaszewski, *Proces amerykański. Problematyka śledcza,* Wyd. COMER, Toruń 1996.

3) Zakres i przedmiot badań

Obszarem bezpośredniego zainteresowania prowadzonych w pracy rozważań oraz badań są zastosowanie laserowego oraz optycznego skanowania 3D miejsc zdarzeń o różnym charakterze jak również skanowania poszczególnych śladów na miejscu zdarzenia. W pracy szczególną uwagę zwrócono na zabezpieczenie śladów „trudnych" takich, które podczas zastosowania technik standardowych mogą ulec zniszczeniu (np. ślady traseologiczne w śniegu, błocie pośniegowym, sypkim piach, zabezpieczenie odbitek linii papilarnych od zwłok będących w zaawansowanym stadium rozkładu), lub takich na których zmiany duży wpływ ma czas (obrażenia na ciele osoby żywej i martwej). Zakres tematyczny badań obejmuje dziedziny, które w znaczny sposób wpływają na rezultaty prowadzonych postępowań.

Stosunkowo duża ilość nierozstrzygniętych spraw karnych, które w skutek nieprawidłowości wymagają ponownego dokonania ustaleń po wielu latach, pokazuje niedoskonałość technik śledczych oraz pracy funkcjonariuszy na miejscach zdarzeń[11]. Wielokrotnie do takiego stanu przyczynia się subiektywna ocena oraz rekonstrukcja zdarzeń przez funkcjonariusza na miejscu zdarzenia podczas realizacji czynności niepowtarzalnych takimi, jakim są oględziny miejsca, osoby czy rzeczy. Błędne opisy, pomiary lub brak jednych i drugich powoduje w dzisiejszym stanie rzeczy nieodwracalna utratę dużej ilości danych mogący przyczynić się do uzyskania ostatecznych rozstrzygnięć w procesie. Techniki skanowania 3D dzięki swojemu zaawansowaniu technicznemu pozwalają w dużej mierze na „zamrożenie" miejsca zdarzenia w takiej postaci w jakim znajduje się ono zaraz po przybyciu na nie ekipy oględzinowej. Co za tym idzie pozwala na wielokrotne otworzenie miejsca zdarzenia w przyszłości z precyzją i obiektywizmem niespotykanym do tej pory. Wyniki otrzymane podczas realizacji skanowania 3D pozwalają nie tylko na „rozejrzenie się" po miejscu zdarzenia. Ich dokładność pozwala na dokonanie identyfikacji indywidualnej z zakresu wielu dziedzin kryminalistyki.

Badania rozpoczęto w drugiej połowie 2015 roku w Centrum Szkolenia Żandarmerii Wojskowej w Mińsku Mazowieckim, jak również we wszystkich jednostkach terenowych Żandarmerii Wojskowej wyposażonych w skanery 3D. Ponadto w celu określenia możliwości skanowania 3D w pracach na poziomie eksperckim w roku 2016 podjęto współpracę z

[11] Por. V. Kwiatkowska – Wójcikiewicz, *Oględziny miejsca. Teoria i praktyka,* Wyd. TNOiK, Toruń 2011, a także K. Witkowska, *Oględziny. Aspekty procesowe i kryminalistyczne,* Wyd. Lex a Wolters Kluwer business, Warszawa 2013, oraz K. Juszka, *Jakość czynności kryminalistycznych,* Wyd. Verba, Lublin 2007.

Instytutem Ekspertyz Sądowych im. prof. dra Jana Sehna w Krakowie w zakresie możliwości dokonania ekspertyzy, a co za tym idzie identyfikacji grupowej i indywidualnej na podstawie modeli 3D śladów traseologicznych i mechanoskopijnych. Podjęto także współpracę z Zakładem Medycyny Sądowej Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego w zakresie modelowania 3D zwłok na miejscu zdarzenia oraz podczas sądowo-lekarskiego otwarcia zwłok. Przeprowadzono również rozmowy z biegłymi z zakresu daktyloskopii mające na celu określenie możliwości uzyskania modelu 3D linii papilarnych od zwłok będących w zaawansowanym stanie gnilnym niepozwalającym na ich standardowe daktyloskopowanie.

W pracy zostały wykorzystane dane zgromadzone podczas badań terenowych, wykonywanych na realnych miejscach zdarzeń o różnorodnym charakterze, jak również podczas ćwiczeń przygotowanych specjalnie w celu zgromadzenia danych o charakterze obiektywnym. Badania i ćwiczenia w dużej mierze zorganizowane zostały w porozumieniu z instytucjami takimi jak Instytut Ekspertyz Sądowych im. prof. dra Jana Sehna, Zakład Medycyny Sądowej Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego oraz Komendę Miejską Policji w Wołominie. Na podstawie przeprowadzonego wywiadu eksperckiego, sformułowano liczne wnioski dotyczące praktycznego podejścia ekspertów, biegłych i przedstawicieli zawodów prawniczych do tematyki skanowania 3D wykorzystywanego w kryminalistyce i osiąganych za jej pośrednictwem efektów pracy. W części teoretycznej została wykorzystana specjalistyczna literatura przedmiotu ujęta w pozycjach książkowych, artykułach zamieszczonych w czasopismach naukowych i tomach pokonferencyjnych z zakresu kryminalistyki, postępowania karnego oraz geodezji. Opisywane metody i techniki skanowania, zostały osobiście przebadane i wdrażane do praktyki przez autora. Opracowanie stanowi owoc kilkuletniej pracy autora, jako eksperta w tym zakresie. Wiele kwestii w stopniu szczegółowym nie zostało do chwili obecnej opisanych w literaturze kryminalistycznej. Jeżeli „klasycznemu" badaniu miejsca zdarzenia i dokumentowaniu, poświęcono całe biblioteki, to literatura kryminalistyczna dotycząca skanowania 3D jest niestety dość uboga.

4) Zastosowane metody badawcze

Zadaniem badań naukowych jest ujawnienie nowych prawd i tworzenie nowych teorii naukowych[12]. Wiedza oraz działalność ludzka zawarta w systemie nauki jest złożona, wielostronnie uwarunkowana, dlatego też jedynie świadome i celowo zastosowane procedury badawcze są w stanie zapewnić podstawowe funkcje badań naukowych[13]. Rozróżnienie metod badawczych, technik i narzędzi badawczych ma charakter umowny i jest w nauce w różnorodny sposób interpretowane[14]. Nie wdając się w tym zakresie w szczegółowe rozważania należy stwierdzić, iż dana metoda badawcza posługuje się określonymi technikami, a do praktycznej realizacji techniki służą dane narzędzia. Te same techniki i narzędzia badawcze mogą być stosowane w różnych metodach. W przedmiotowej pracy wykorzystywano następujące metody badawcze specyficzne dla kryminalistyki[15]:

- Badania empiryczne;
- Badania laboratoryjne;
- Badania literatury;
- Analiza aktualnego stanu prawnego;
- Badania poszczególnych zaistniałych zdarzeń jako studium indywidualnego przypadku;

Badania empiryczne zostały przeprowadzone z zastosowaniem metod i technik badawczych powszechnie wykorzystywanych w naukach prawnych, przyrodniczych i technicznych. Podczas analizy wyników badań wykorzystano zarówno fakty pierwotne uzyskane poprzez gromadzenie danych w skutek samodzielnego przeprowadzenia badań od samego początku do analizy wyników, jak również materiały wtórne, które zostaną pozyskane i udostępnione z jednostek wykonujących pracę w zakresie modelowania 3D na potrzeby kryminalistyki.

[12] Por. J. Apanowicz, *Metodologia nauk,* Wyd. TNOiK, Toruń 2003, a także J. Pieter, *Zarys metodologii pracy naukowej,* Wyd. PWN, Warszawa 1975, T. Pilch, *Zasady badań pedagogicznych,* Wyd. Pedagogiczne, Warszawa 1995

[13] Por. J. Apanowicz, *Metodologiczne uwarunkowania pracy naukowej,* Wyd. PWN, Warszawa 2005.

[14] Por. K. Ajdukiewicz, *Logika pragmatyczna,* Wyd. PWN, Warszawa 1975., J. Antoszkiewicz, *Metody heurystyczne. Twórcze rozwiązywanie,* Wyd. PWN, Warszawa 1990., T. Kotarbiński, *Elementy teorii poznania, logiki formalnej i metodologii nauk,* Wyd. PWN, Warszawa 1986.

[15] J. Kasprzak, *Wybrane problemy metodologiczne badań w zakresie procesu karnego i kryminalistyki,* [w:] *Wybrane problemy procesu karnego i kryminalistyki,* red. J. Kasprzak, B. Młodziejowski, Wyd. Volumina pl, Olsztyn 2010, s. 12.

W trakcie uzyskiwania materiałów pierwotnych przeprowadzono szereg badań mających na celu pozyskanie i analizę wyników wykorzystania skanowania 3D podczas śledczego badania miejsca zdarzenia tj.: skanowanie 3D miejsca zdarzenia za pomocą techniki skanowania laserowego i skanowania optycznego techniką SFM (Structure From Motion).

Celem badania jest dokonanie skanowania 3D kilkunastu miejsc zdarzeń o różnorodnym charakterze za pomocą techniki skanowania laserowego oraz skanowania optycznego SFM oraz porównaniu wyników uzyskanych z obydwu technik takich jak:

- Dokładność pomiaru;
- Jakość wizualizacji;
- Czas potrzebny do uzyskania materiał wyjściowego na miejscu zdarzenia;
- Czas potrzebny do uzyskania wyników;
- Trudność wykonania skanu;
- Badanie ograniczeń technik;
- Sposoby wizualizacji na potrzeby procesowe;

Dane wyjściowe kończące każdorazowe porównanie miejsca zdarzenia za pomocą wyżej opisanych technik kompleksowo opracowano jako modele 3D, jak również dokumentacja w formie papierowej miejsca zdarzenia zawierająca takie elementy jak szkice kryminalistyczne, wizualizację miejsca i śladów oraz porównanie jej do technik tradycyjnych wykorzystywanych w kryminalistyce. W tym celu miejsce zdarzenia wcześniej skanowane, zostały poddane oględzinom wykonywanym „w standardowy sposób" przez zespół oględzinowy w skład, którego wchodzili doświadczeni funkcjonariusze Żandarmerii Wojskowej oraz Policji.

Kolejną zastosowaną metodą było skanowanie 3D śladów traseologicznych za pomocą technik skanowania laserowego i skanowania optycznego techniką SFM. Celem tych badania było sprawdzenie zastosowania skanowania laserowego 3D w sytuacjach trudnych, nie pozwalających na prawidłowe i dokładne techniczne zabezpieczenie śladów ujawnionych na miejscu zdarzenia w tym celu zostały wykonane po kilka modeli śladów ujawnionych w warunkach trudnych tj. ślady wgłębione w substancjach sypkich, ślady wgłębione obuwia i bieżnika opon w śniegu. Każdy ze śladów w końcowej fazie został zabezpieczony metodą tradycyjną to jest poprzez modelowanie za pomocą gipsu dentystycznego. Skanowaniu 3D został poddany również materiał porównawczy w postaci protektorów butów i bieżnika opon.

Uzyskane cyfrowe modele śladów w celu uzyskania fizycznego materiału zostały wydrukowane w technologii 3D, a analizie wyników poddano formę cyfrowa, odlew gipsowy oraz wydruk 3D.

Analizie poddano następujące czynniki:

- Porównanie dokładności pomiaru technik cyfrowych do technik analogowych;
- Porównanie modeli 3D protektora obuwia z modelami śladu zabezpieczonymi w sposób cyfrowy i analogowy.
- Czas wykonania poszczególnych modeli.

Następną ze stosowanych metod było skanowanie 3D zwłok ludzkich za pomocą techniki skanowania laserowego oraz skanowania optycznego. Badania prowadzone były we współpracy z Zakładem Medycyny Sądowej Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego, a ich celem - sprawdzenie zestawienia skanowania i modelowania 3D różnymi technikami w celu wykorzystania uzyskanych rezultatów na potrzeby medycyny sądowej. Podczas badań szczególna uwaga zwracana była na uzyskanie modeli o najwyższej jakości odwzorowania kolorystycznego obrażeń na ciele ludzkim. Uzyskane rezultaty pokazują możliwość szerszego zastosowania w/w technik w celu określenia między innymi „wieku" obrażeń. Ponadto badania mające na celu powiązanie technologii tomografii komputerowej z modelowaniem optycznym. Badanie to miało na celu połączenie modelu szkieletu i narządów wewnętrznych uzyskanego za pomocą tomografu komputerowego z powłokami skórnymi uzyskanymi za pomocą techniki SFM. Model taki pozwoli na analizowanie przy komputerze obrażeń zewnętrznych z wewnętrznymi.

Przebadano również wykorzystanie dwuwymiarowych obrazów lotniczych na potrzeby modelowania 3D terenu rozległego. Badania zostały oparte na zdjęciach miejsc zdarzeń wykonanych za pomocą quadrocopterów będących na wyposażeniu Centrum Szkolenia Żandarmerii Wojskowej w Mińsku Mazowieckim, jak również na podstawie fotografii wykonanych za pomocą profesjonalnego sprzętu fotograficznego podczas przelotu statkiem powietrznym. Celem badań było zobrazowanie rozległego terenu w sposób umożliwiający ukazanie charakterystyki terenowej oraz przestrzennej poprzez modelowanie 3D terenu i stworzenie siatki wysokości

W ramach badań laboratoryjnych przeprowadzono dokładna analizę zebranego materiału badawczego i z użyciem zaawansowanego oprogramowania przedstawiono wyniki

badań pod postacią grafik dostępnych w pracy. Dodatkowo użyto dostępnego w Laboratorium Kryminalistycznym Centrum Szkolenia Żandarmerii Wojskowej w Mińsku Mazowieckim oprzyrządowania tj. mikroskop 3D, zestawy oświetleniowe, aparat fotograficzny, stacja badawczo-analityczna, drukarki 3D, urządzenie pomiarowe eSURV, dron wyposażony w dodatkowy rejestrator obrazu. Wszystkie wymienione sprzęty spełniają wymogi zastosowania w kryminalistyce i zapewniają niezwykle dokładne efekty analizy badawczej.

Badanie dostępnych zbiorów literatury pozwoliło zebrać dużą bazę źródłową w celu należytego opracowania warstwy merytorycznej w zakresie możliwości współczesnej kryminalistyki, procesu karnego, medycyny sądowej, antropologii sądowej. Zaczerpnięto również wiedzę ze źródeł odbiegających od klasycznych nauk prawnych z ukierunkowaniem na specjalistyczną wiedze fotograficzną, geodezyjną i metodykę obrazowania wirtualnego. Tak szeroki dobór źródeł bibliograficznych posłużył jako potwierdzenie faktu interdyscyplinarności nauki jaką jest kryminalistyka i jej funkcji adaptacyjnej dla wszelkich rodzajów wiedzy nadających się do asymilacji, adaptacji i wykorzystania na potrzeby czynności dochodzeniowo-śledczych.

ROZDZIAŁ I

Współczesne techniki wizualizacji w kryminalistyce

1) Fotografia kryminalistyczna

W dzisiejszych czasach nazywanych częstokroć „czasami obrazka" fotografia kryminalistyczna spełnia podstawową role podczas rejestrowania miejsca zdarzenia[16]. Pomimo rozwoju technologicznego oraz ewolucji technicznej w sprzęcie fotograficznym metodyka wykonywania fotografii na potrzeby kryminalistyki nie uległa zmianie[17]. Nie zmienia to jednak faktu, że niezbędnym elementem podczas rejestracji miejsca zdarzenia oraz przedmiotów i śladów na nim się znajdującym za pomocą aparatu fotograficznego jest znajomość sprzętu, z którym się pracuje. Niezmiennie od lat fotografię kryminalistyczną dzielimy na[18]:

- Fotografię dokumentacyjną;
- Fotografię rejestracyjną;
- Fotografię badawczą;
- Fotografię detektywną.

1.1) Fotografia dokumentacyjna

Spośród wyżej wymienionych rodzajów fotografii kryminalistycznej nadrzędną rolę na miejscu zdarzenia przyjmuje fotografia dokumentacyjna, której zadanie jest tożsame z zadaniem oględzin miejsca zdarzenia. Obie wyżej wymienione czynności mają za główny cel wierne, obiektywne opisanie (zobrazowanie) zdarzenia. Tak jak w przypadku oględzin czynność fotografii dokumentacyjnej powinna niesugestywnie opisywać przedmiot, osobę,

[16] Celowo pominięto omawianie podstawowych zagadnień fotografii, gdyż w tym zakresie powstało wiele unikalnych dzieł, por. np. T. Cyprian, *Fotografia. Technika i technologia,* Wyd. Naukowo – Techniczne, Warszawa 1968, G. Teicher red. , *Fototechnika,* Wyd. Naukowo – Techniczne, Warszawa 1982, Z. Pękosławski, *Fotografia w praktyce amatorskiej,* Wyd. Artystyczne i Filmowe, Warszawa 1977, W.S. Johnson, M. Rice, C. Williams, *Historia fotografii od 1839 roku do dziś,* Wyd. Taschen/TMC Art., Köln 2010, T. Wójcik, *ABC fotografii cyfrowej,* Wyd. Buchmann, Warszawa 2009, M. Freeman, *Lustrzanki cyfrowe. Poradnik eksperta,* Wyd. National Geographic, Warszawa 2008.

[17] Por. np. T. Kozieł, *Fotografia i inne techniczne metody utrwalania obrazu w dokumentowaniu czynności procesowych,* Wyd. ZK KGMO, Warszawa 1978, J. Kasprzak, E. Klajner, J. Witowski, *Podstawy fotografii kryminalistycznej,* Wyd. OS ŻW, Mińsk Mazowiecki 1993.

[18] Por. J. Kasprzak, B. Młodziejowski, W. Kasprzak, op. cit. s. 211-212, a także E. Gruza, M. Goc, J. Moszczyński, op. cit. s. 676.

przedmiot lub fotografowane miejsce. Aby fotografia dokumentacyjna niosła ze sobą jak największą liczbę informacji możliwych do wykorzystania przez organ procesowy już na początku zastosowania rejestracji nieruchomego obrazu w kryminalistyce opracowano metodykę oraz zasady wykonywania fotografii kryminalistycznej[19]. W pierwszej kolejności dokonano podziału kryminalistycznej fotografii dokumentacyjnej na cztery grupy. Wyszczególniono fotografię ogólnoorietacyjną, sytuacyjną, fragmentaryczną oraz fotografię szczegółową. Każda z wyżej wymienionych grup opracowała własne zasady wykonywania fotografii i cele jakie dana fotografia realizuje[20].

1.1.1) Fotografia ogólnooriętacyjna

Jej zadaniem jest ogólne przedstawienie miejsca zdarzenia wraz z terenem przyległym. Szczególną uwagę przy wykonywaniu fotografii ogólnooriętacyjnej należy zwrócić na zawarcie w fotografowanym kadrze elementów charakterystycznych. I tak w przypadku fotografii zdarzenia drogowego lub miejsca położonego w pobliżu drogi przy fotografii ogólnooriętacyjnej należy ująć w kadrze słupki heksometryczne znajdujące się przy drodze, a pozwalające na podstawie indywidualnego numerowania precyzyjnie zlokalizować fotografowane miejsce. Zasada ta stosowana jest przy każdym rodzaju fotografowanego zdarzenia, a za punkty charakterystyczne można przyjąć tablice z nazwą i numerem budynku, oznakowanie indywidualne słupów energetycznych itp. Ponadto wykonując fotografię ogólnooriętacyjną zawsze należy tak kadrować, aby miejsce zdarzenia było umiejscowione w miarę możliwości w centralnej części kadru, a teren przyległy zobrazowany na fotografii ukazywał potencjalne drogi dojścia i odejścia sprawcy z miejsca zdarzenia. Fotografię tą wykonuje się w fazie statycznej oględzin bez oznaczonych numerycznie śladów. Dobrym

[19] Por. P. Horoszowski, *Kryminalistyka,* Wyd. PWN, Warszawa 1958, s. 165 i nast., P. Horoszowski*, Śledcze oględziny miejsca,* Wyd. Prawnicze, Warszawa 1959, s. 327 i nast. W. Gutekunst, *Kryminalistyka. Zarys systematycznego wykładu,* Wyd. Prawnicze, Warszawa 1974, s. 121 i nast. Z. Czeczot, M. Czubalski, *Zarys kryminalistyki,* Wyd. Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa 1972, s. 41 i nast., Z. Czeczot, T. Tomaszewski, *Podstawy kryminalistyki ogólnej,* Wyd. Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa 1989, s. 119 i nast., J. Widacki red., *Kryminalistyka Część I,* Wyd. Uniwersytet Śląski, Katowice 1984, s. 56 i nast., T. Hanausek, *Kryminalistyka. Zarys wykładu,* Kantor Wydawniczy Zakamycze, Kraków 1996, s. 112 i nast., M. Kulicki, V. Kwiatkowska-Wójcikiewicz, L. Stępka, *Kryminalistyka. Wybrane zagadnienia teorii i praktyki śledczo – sądowej,* Wyd. Naukowe UMK, Toruń 2009, s. 334 i nast.

[20] P. Horoszowski, *Kryminalistyka,* op. cit. s. 165 i nast., G. Kędzierska, W. Kędzierski red., *Kryminalistyka. Wybrane zagadnienia techniki,* Wyd. WSPol., Szczytno 2011, s. 430 i nast., a także por. J. Thorwald, *Stulecie detektywów,* Wyd. Literackie, Kraków 1971, T. Kozieł, *Zarys historii fotografii kryminalistycznej,* Problemy kryminalistyki 157/82, s. 515 i nast.

nawykiem stało się ponadto wykonanie pakietu zdjęć ogólnooriętacyjnych w fazie dynamicznej oględzin po ujawnieniu i oznaczeniu śladów. Fotografie te w znaczny sposób ułatwiają usytuowanie poszczególnych śladów w fotografowanej scenie[21].

Spośród najczęściej stosowanych technik podczas wykonywania zdjęć ogólnooriętacyjnych należy wyróżnić:

Techniki pozwalające na zobrazowanie miejsca zdarzenia o rozległym charakterze:

- Panorama liniowa,
- Panorama obrotowa.

Techniki pozwalające na zobrazowanie miejsca zdarzenia w trudnych warunkach oświetleniowych:

- Technika wielobłysku,
- Technika fotografii w spektrum światła podczerwonego.

Techniki panoramowania charakteryzują się złożeniem serii zdjęć wykonanych na zakładkę w jeden obraz. W przypadku techniki panoramy obrotowej zdjęcia wykonywane są z jednego punktu przy zmianie jedynie obrotu osi optycznej obiektywy. Technika panoramy liniowej charakteryzuje się zmianą położenia aparatu zgodnie z linią poprowadzoną równolegle do fotografowanego obiektu. Panoramowanie niesie ze sobą wiele zalet jak zobrazowanie rozległego terenu lub obiektu na jednym spójnym obrazie, lecz nieumiejętne ich zastosowanie może spowodować trudności w odbiorze obrazu, a w skrajnych przypadkach w postaci zdublowania obiektów na wykonanej fotografii.

Techniki wykonywania fotografii w trudnych warunkach oświetleniowych cechuje stosunkowo duża trudność w ich zastosowaniu oraz niestandardowe wyposażenie w przypadku fotografii w świetle światła podczerwonego. Technika wielobłysku wymaga od fotografującego dużego doświadczenia, gdyż wykonanie fotografii należy starannie zaplanować, ponadto potrzebne jest przeprowadzenie analizy fotografowanej sceny oraz oceny zagrożeń związanych z indywidualnym charakterem rejestrowanego miejsca. Polega ona na ustawieniu aparatu fotograficznego na statywie, ustaleniu kadru oraz zaplanowaniu miejsc z których kolejno

[21] Por. J. Kasprzak, *Metodyka badania miejsca zdarzenia,* Wyd. OS ŻW, Mińsk Mazowiecki 1992, s. 44 i nast., a także J. Kasprzak, *Kryminalistyka. Podręcznik dla Żandarmerii Wojskowej, cz. II, Metodyka badania miejsca zdarzenia,* Wyd. KG ŻW, Warszawa 1995, s. 44 i nast.

wykonywane będą błyski lampy oświetlające poszczególne fragmenty fotografowanego obszaru. Czas otwarcia migawki podczas rejestracji obrazu za pomocą tej techniki sięga często powyżej 30 sekund i jest ściśle uzależniony od czasu potrzebnego do wykonania wszystkich błysków doświetlających[22].

Technika wykonywania fotografii w trudnych warunkach oświetleniowych z wykorzystaniem spektrum światła podczerwonego związana jest ściśle ograniczeniem widoczności w postaci zamglenia lub zadymienia. Charakterystyka światła podczerwonego powoduje, że przenika ono przez wyżej wymienione czynniki i umożliwia zarejestrowanie na materiale światłoczułym elementy w nich się znajdujące[23]. Niestety postęp technologiczny w tym wypadku ograniczył możliwości wykorzystywania tej techniki. Obecnie w profesjonalnych aparatach fotograficznych montowane są filtry dolno i górno przepustowe „hot mirror" których zadaniem jest dopuszczenie do matrycy światła wyłącznie będącego w zakresie światła widzialnego to jest w przedziale 380 – 760 nm. Powoduje to korzystniejsze oddanie natężenia światła na fotografii bez elementów negatywnie wpływających na ich jakość. Aby wykonać poprawnie fotografie w zakresach wykraczających poza światło widzialne konieczne jest wprowadzenie kosztownych modyfikacji sprzętu standardowego lub wykorzystanie specjalistycznej aparatury, którą również cechuje wysoka cena. Należy również stwierdzić, że fotografie wykonane w spektrum światła podczerwonego charakteryzuje inne od standardowej postrzeganie kolorów. Przykładem na to jest postrzeganie koloru zielonego roślinności który w promieniowaniu podczerwonym postrzegany jest jako biały. Powoduje to deficyt danych dotyczących koloru w porównaniu do standardowej techniki fotografii.

1.1.2) Fotografia sytuacyjna

Fotografia sytuacyjna ma na celu, jak sama jej nazwa mówi, usytuowanie śladów i przedmiotów względem stałych elementów występujących na miejscu zdarzenia. Stanowi ona element przejściowy pomiędzy fotografią ogólnoorietacyjna, a szczegółową śladu i powinna wprowadzać oglądającego dokumentację poglądową w „historię" przedmiotów fotografowanych szczegółowo. Co do zasady fotografię sytuacyjną wykonuje się w fazie

[22] J. Bełkowski, *Kilka wskazówek o dokonywaniu zdjęć fotograficznych miejsca przestępstwa w warunkach złego oświetlenia naturalnego,* Biuletyn poświęcony zagadnieniom taktyki i techniki śledczej nr, 1/55, s. 68 i nast.
[23] T. Kozieł, J. Tacikowski, *Fotografowanie luminescencji w zakresie widma czerwonego i podczerwonego,* Problemy Kryminalistyki 97-98/72, s. 408-409 a także por. J. Bełkowski, *Uniwersalny aparat fotograficzny,* Problemy Kryminalistyki 31/61, s. 400.

statycznej oględzin po ponumerowaniu i oznaczeniu rozmieszczenia śladów. Jednakże w sytuacjach w których do ujawnienia śladów konieczne było użycie specjalistycznych środków technicznych wykorzystywanych w fazie dynamicznej oględzin fotografie sytuacyjne wykonuje się również po uczynieniu śladu widocznym i oznaczeniu go kolejnym numerem. Fotografię sytuacyjna charakteryzuje uwidocznienie śladu, ewentualnie grupy śladów wraz z przedmiotami stanowiącymi stały element nieprzemieszczalny w łatwy sposób. Elementami takimi mogą być tak jak w przypadku fotografii ogólnoorietacyjnej słupki heksometryczne w przypadku fotografowania śladów znajdujących się na drodze lub przy niej, a w przypadku fotografii pomieszczeń wnęki drzwiowe, okienne itp. W sytuacjach w których fotografia sytuacyjna będzie służyła przekształceniom fotogrametrycznym umożliwiającym dokonywanie na niej pomiarów w kadrze fotografii powinien zostać umieszczony wzorzec metryczny.

1.1.3) Fotografia fragmentaryczna

Jej zakres można porównać z fotografią sytuacyjna, dlatego też częstokroć w ramach podziału kryminalistycznej fotografii dokumentacyjnej występują one jako jedna podgrupa. Różnice pomiędzy tymi rodzajami fotografii wynikają z usytuowania śladu. W przypadku, kiedy fotografia sytuacyjna umiejscawia ślad względem elementów stałych fotografia fragmentaryczna umiejscawia ślad względem innego śladu. Wykonanie fotografii fragmentarycznych ma za zadanie pokazania zależności pomiędzy kilkoma śladami, ukazuje ich związki pomiędzy sobą, a jej jedną z podstawowych celów jest przedstawienie ciągu logicznego pomiędzy występującymi na miejscu zdarzenia elementami. W tym wypadku niezbędnym do opanowania przez fotografującego zrozumienie mechanizmów powstania grupy śladów i przedstawienie ich w sposób jak najbardziej obiektywny, gdyż subiektywne podejście do fotografii fragmentarycznej może spowodować błędne wnioskowanie u osób wykorzystujących i analizujących dokumentacje fotograficzną z miejsca zdarzenia.

1.1.4) Fotografia szczegółowa

Jest najbardziej sformalizowanym i wymagającym rodzajem dokumentacyjnej fotografii kryminalistycznej. Związane jest to z faktem, że fotografia ta częstokroć wykorzystywana jest przez ekspertów różnych dziedzin kryminalistyki i służy identyfikacji. W przypadku niemożliwości zabezpieczenia śladu w inny sposób niż fotograficzny staje się często

kluczowym dowodem w sprawie. Dlatego też ten rodzaj fotografii wymaga stosowania kilku fundamentalnych zasad.

Po pierwsze podczas wykonywania fotografii szczegółowej oś optyczna obiektywu powinna być prostopadła do płaszczyzny fotografowanego przedmiotu. Zachowanie takie pozwala na pozbawienie uzyskanego obrazu zniekształceń perspektywicznych utrudniających, a w niektórych przypadkach uniemożliwiających dokonanie pomiarów na wykonanej fotografii[24].

Po drugie przymiar powinien znajdować się na wysokości fotografowanego obiektu. Tak jak w poprzednim przypadku niezastosowanie się do tej zasady utrudnia uzyskanie wymiarów z fotografii. Rozwiązaniem tej sytuacji jest umiejscowienie skalówek na podwyższeniu, a w przypadku śladów wgłębionych w skrajnych przypadkach wykonanie podkopu otoczenia do poziomu śladu i umiejscowienie w nim skalówki.

Po trzecie kadrowanie. Fotografia kryminalistyczna wymaga precyzji i dokładności niejednokrotnie niestety podczas analizy akt w dokumentacji fotograficznej zauważono fotografie szczegółowe, gdzie numer śladu kilkukrotnie przekracza jego wielkość. Zasadą fotografii szczegółowej jest, że ślad stanowi większość kadru a jego dłuższy bok umiejscowiony jest w zadłuż dłuższego boku kadru. Fotografia szczegółowa przedstawia szczegół. W wypadku, kiedy ślad(szczegół) jest jednym z elementów kadru mówimy o fotografii sytuacyjnej lub fragmentarycznej.

Po czwarte jednym z kluczowych elementów fotografii szczegółowej jest poprawne oświetlenie fotografowanego przedmiotu. Bardzo często, a w przypadkach fotografii małego szczegółu (makrofotografii) aparat fotograficzny oraz jego użytkownik ograniczają dopływ światła do fotografowanego przedmiotu przez co uniemożliwiają wykonanie poprawnej fotografii. Dlatego wielokrotnie koniecznym staje się zastosowanie zewnętrznego źródła światła w postaci lamp błyskowych. W przypadku makrofotografii elementem rozwiązującym wiele trudności jest lampa pierścieniowa montowana na obiektywie[25]. Pozwala ona na doświetlenie szczegółu w równomierny sposób. Jednak ślady kryminalistyczne częstokroć wymagają doświetlenia ich w charakterystyczny sposób, który plastycznie uwydatnia cech szczególne na nich się znajdujące. Technika oświetlenia śladu światłem skośnym, a nawet tak

[24] T. Boncler, *Granice dokładności obrazów fotograficznych,* Problemy Kryminalistyki 8/57, s.225.
[25] J. Kasprzak, B. Młodziejowski, W. Kasprzak, op. cit., s. 211.

zwanym światłem ślizgowym pozwala na uwydatnienie szczegółów poprzez światłocień powstały na fotografowanym obiekcie, a w niektórych przypadkach pozwoli na sfotografowanie śladów przed użyciem środków kontrastujących, które nieumiejętnie użyte mogą zniszczyć ślad (ślady dermatoskopijne na powierzchniach połyskliwych, ślady traseologiczne)[26].

1.2) Fotografia rejestracyjna

Rodzaj fotografii który od początku, posiada określoną, wypracowaną metodykę wykonywania[27]. W chwili obecnej sposób jej wykonywania jest ściśle określony w przepisach prawa. Dla organów ścigania podległych pod Ministerstwo Spraw Wewnętrznych zasady wykonywani fotografii rejestracyjnej (sygnalitycznej) określa załącznik nr 6 do Rozporządzenia Ministra Spraw Wewnętrznych z dnia 29 września 2015 r. w sprawie przetwarzania informacji przez Policję. Żandarmerii Wojskowa podległa pod Ministerstwo Obrony Narodowej sformalizowane zasady fotografii sygmatycznej posiada w załączniku nr 3 „*Instrukcja w sprawie szczegółowych zasad i warunków technicznych wykonywania zdjęć sygnalitycznych*" rozporządzenia Ministra Obrony Narodowej z dnia 27 grudnia 2001r. w sprawie sposobu gromadzenia odcisków linii papilarnych, zdjęć oraz danych osobowych przez Żandarmerię Wojskową.

Pomiędzy fotografią sygnalityczną wykonywaną przez Żandarmerię, a tą wykonywaną przez Policję istnieje kilka różnic, jednakże są one subtelne i nie wpływają znacznie na wartość identyfikacyjną jednej czy drugiej. Najistotniejszą z różnic jest ilość zdjęć twarzy wykonywanych na potrzeby rejestracyjne. W wypadku Żandarmerii Wojskowej rozporządzeniem MON nakazuje wykonanie fotografii prawego profilu oraz twarzy od przodu (en face). Rozporządzenie MSW ustala jako zasadę wykonywanie oprócz wykonania fotografii prawego profilu i twarze od przodu sfotografowanie również prawego i lewego półprofilu. Poza tym w zapisach obu występuje wiele podobieństw, różnice natomiast polegają na sprecyzowaniu niektórych środków technicznych niezbędnych do wykorzystania przy fotografowaniu sygnalitycznym. I tak rozporządzenie MON dokładnie precyzuje liczbę i

[26] Przykłady omawianych fotografii zostały zamieszczone w wielu podręcznikach i opracowaniach, np. J.Kasprzak, B. Młodziejowski, W. Brzęk, J. Moszczyński, *Kryminalistyka,* Wyd. Difin, Warszawa 2006, s. 321 i 322.
[27] T. Kozieł, *Zarys historii fotografii kryminalistycznej,* Problemy Kryminalistyki 157/82, s. 517, a także T. Kozieł, *Fotografia kryminalistyczna w czterdziestoleciu,* Problemy Kryminalistyki 166/84, s. 698 i nast.

wysokość zastosowanego oświetlenia[28] w tym elemencie rozporządzenie MSW ogólnie określa zasady zastosowanego oświetlenia[29]. Podczas wykonywania fotografii sygnalitycznej zawsze na jednej z fotografii umieszcza się indywidualnie przypisany numer. W tym Wypadku obydwa wskazane rozporządzenia są zbieżne a numer powstaje w skutek wstawienia kolejnych cyfr:

1. nazwę jednostki organizacyjnej Żandarmerii Wojskowej, dla której wykonano zdjęcie,
2. kolejny numer ewidencyjny zdjęcia i rok jego wykonania,
3. cyfry będące odpowiednikami wzrostu i koloru włosów (pierwsza cyfra na tabliczce oznacza wzrost, druga - kolor włosów).

WZROST	CYFRA	KOLOR WŁOSÓW	CYFRA
do 150 cm	1	rudy	1
151-155 cm	2	blond	2
156-160 cm	3	szatyn	3
161-165 cm	4	brunet	4
166-170 cm	5	siwy	5
171-175 cm	6	szpakowaty	6
176-180 cm	7		
181-185 cm	8		
ponad 185 cm	9		

Tab. Nr 1 – Wykaz numerów przyporządkowanych poszczególnym cechom anatomicznym osoby, której wykonywana jest fotografia sygnalityczna.

[28] *„Do oświetlenia twarzy stosuje się oświetlenie dwustronne. Jeden z reflektorów umieszcza się - w sytuacji fotografowania prawego profilu - z prawej strony aparatu fotograficznego na wysokości 210-250 cm, pod kątem 35°, natomiast drugi reflektor o mniejszej sile światła - po lewej stronie aparatu na wysokości twarzy fotografowanego.” - 1. ROZPORZĄDZENIE MINISTRA OBRONY NARODOWEJ z dnia 27 grudnia 2001 r. w sprawie sposobu gromadzenia odcisków linii papilarnych, zdjęć oraz danych osobowych przez Żandarmerię Wojskową. (Dz. U. z dnia 31 grudnia 2001 r.)*

[29] *„Oświetlenie przy wykonywaniu fotografii powinno zapewnić uzyskanie równomiernie naświetlonego obrazu, możliwie najbardziej zbliżonego do rzeczywistego wyglądu osoby fotografowanej. Na fotografowanej osobie lub tle nie mogą występować cienie deformujące i zaciemniające wizerunek danej osoby.”- ROZPORZĄDZENIE MINISTRA SPRAW WEWNĘTRZNYCH z dnia 29 września 2015 r. w sprawie przetwarzania informacji przez Policję (Dziennik Ustaw z 2015 r. Poz. 1564)*

W zakres fotografii rejestracyjnej poza fotografią sygnalityczną wyróżnić można fotografię zwłok do celów identyfikacyjnych. Fotografie taką należy obowiązkowo wykonać w miejscu znalezienia zwłok pomimo dokonania ich wstępnej identyfikacji. Rozporządzenie MSW określa, że zwłoki powinny być sfotografowane w następujący sposób:

1. Fotografia z przodu twarzy (en face);
2. Fotografia prawego profilu;
3. Fotografia prawego i lewego półprofilu;
4. Fotografia całej sylwetki;
5. Fotografia lewej małżowiny usznej z zasadami zdjęć metrycznych.

Ponadto w rozporządzeniu jako najlepszy czas do wykonywania tego typu fotografii wskazuje się czas pomiędzy oczyszczeniem zwłok w zakładzie medycyny sądowej, a sekcją zwłok. Jednak zasadnym jest podczas oględzin zewnętrznych zwłok w miejscu ich ujawnienia wykonanie serii zdjęć zawierających obydwa profile, półprofile oraz fotografii z przodu twarzy. Ponadto na miejscu znalezienia zwłok należy w celach identyfikacyjnych wykonać całą sylwetkę zwłok w ubraniu, w którym zastały one ujawnione oraz wykonanie fotografii cech szczególnych zwłok takich jak blizny, znamiona czy tatuaże. Fotografia w zakładzie medycyny sądowej powinna być powtórzeniem czynności wykonanych na miejscu znalezienia zwłok, a nie jedynym miejscem ich wykonywania. Jest to związane z dynamiką postepowania zmian pośmiertnych wypływających w wielu przypadkach na bardzo szybki sposób na możliwości identyfikacyjne[30].

1.3) Fotografia badawcza

Poza charakterem dokumentacyjnym odwzorowującym wygląd miejsca, przedmiotów i osób fotografia kryminalistyczna wykształciła dział wykorzystujący specyficzne właściwości materiału światłoczułego oraz promieniowania elektromagnetycznego w całym jego zakresie, czyli kryminalistyczną fotografię badawczą[31]. Oko ludzkie jest w stanie zaobserwować fale elektromagnetyczne o długości mieszczącej się w przedziale pomiędzy 380 – 760 nm. Mieszanina tych długości światła stanowi dla nas światło białe. Jednak zakres ten jest tylko niewielkim wycinkiem fal elektromagnetycznych. Pomimo tego, że nie jesteśmy w stanie

[30] Por. T. Kozieł, *Zarys historii fotografii…* op. cit. s. 517
[31] T. Kozieł, *Fotografia badawcza w kryminalistyce,* Problemy Kryminalistyki 133-134/78, s. 357 i nast.

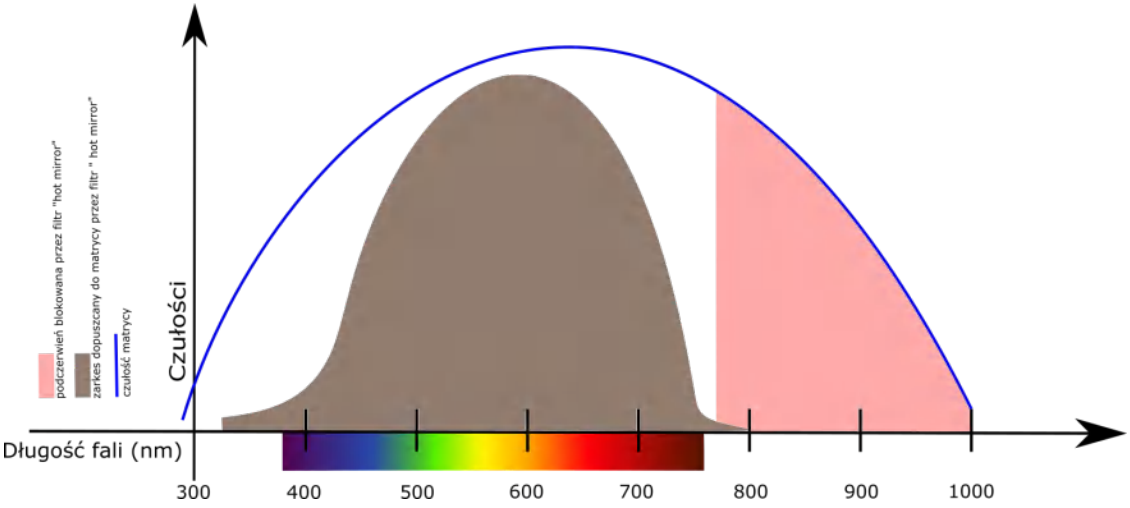
dostrzec promieniowania elektromagnetycznego z poza przedziału widzialności, możliwe jest ich zarejestrowanie na fotograficznych materiałach światłoczułych oraz uwidocznienie w postaci fotografii. Najczęściej w fotografii badawczej wykorzystywane są techniki fotografii w spektrum światła:

- Podczerwonego;
- Nadfioletowego;
- Rentgenowskiego

1.3.1) Fotografia w podczerwieni

W związku z różnicami w postrzeganiu barw oraz przenikliwości światła w zakresie widzialnym w stosunku do światła podczerwonego obrazy uzyskane w tych zakresach różnią się od siebie. Cechę tą wykorzystuje badawcza fotografia kryminalistyczna w podczerwieni. Dzięki jej zastosowaniu uwidoczniają się niektóre niewidoczne cechy widoczne w świetle widzialnym. Najczęściej fotografia w spektrum światła podczerwonego w kryminalistyce wykorzystywana jest na potrzeby wykrycia fałszerstw dokumentów, odczytywania zamazanego i zniszczonego tekstu lub analizy dzieł sztuki pod kątem przemalowań lub fałszywego sygnowania. Znajduje również zastosowanie podczas fotografii ciała żywego i zwłok ludzkich dzięki czemu zaobserwować można mikro wylewy i zasinienia niewidoczne gołym okiem. Do zastosowania tej techniki wykorzystuje się specjalistyczny sprzęt wyposażony w matrycę światłoczułą w której filtry górno i dolnoprzepustowe typu „hot mirror" zastąpiono filtrami dopuszczającymi do materiału światłoczułego w postaci matrycy spektrum światła niewykraczającego poza podczerwień. Modyfikacja ta pozwala na uzyskiwanie wysokiej jakości obrazów cyfrowych w których podczerwień uwidacznia się dla oka ludzkiego. Ponadto wykonywanie fotografii w podczerwieni w tak skonstruowanym sprzęcie pozwala na swobodną rejestrację obrazów w podczerwieni bez potrzeby wykorzystywania długiego czasu otwarcia migawki. Zależność ta uwidoczniona jest na wykresie nr na którym wyraźnie można stwierdzić że czułość względna matrycy światłoczułej w zakresie podczerwieni jest stosunkowo duża. Wykres ten pokazuje jeszcze jeden istotny dla fotografii cyfrowej w podczerwieni element. Zauważyć należy, że pomimo zastosowania filtrów typu „hot mirror" w niezmodyfikowanych aparatach fotograficznych, część bliskiej podczerwieni znajduje się w przedziale rejestrowanym przez matrycę. Czułość na nią jest kilkunastokrotnie mniejsza niż w

przystosowanym do podczerwieni sprzęcie jednak rejestracja jej na materiale światłoczułym jest możliwa przy zastosowaniu naobiektywowych filtrów światła podczerwonego[32]. Wykonanie fotografii z zastosowaniem standardowego sprzętu wymagało będzie również zastosowania wysokiej światłoczułości (ISO) oraz czasów otwarcia migawki sięgających kilkunastu sekund co negatywnie wpływa na jakości uzyskanych fotografii.



Ryc. Nr 1 – Zakres światła przepuszczanego przez filtry typu „hot mirror".

1.3.2) Fotografia z wykorzystaniem światła nadfioletowego oraz w promieniowaniu nadfioletowym

W wielu publikacjach naukowych obydwie wyżej wymienione rodzaje fotografii kryminalistyczne są błędnie wrzucone w grupę fotografii w nadfiolecie. Należy stwierdzić, że w chwili obecnej większość kryminalistycznej fotografii badawczej przy której wykorzystaniu stosuje się promieniowanie nadfioletowe jest wykonywanie w spektrum światła widzialnego. Tak dzieje się przy fotografii śladów skontrastowanych środkami fluoroscencyjnymi, jak również przy fotografii zabezpieczeń banknotów wykorzystujących farby fluorescencyjne. Wykorzystywana w tym wypadku jest duża energia jaka cechuje promieniowanie nadfioletowe wywołująca zjawisko fotoluminescencji.

[32] D. Sandidge, *Fotografia cyfrowa w podczerwieni – warsztaty fotograficzne*, Wyd. HELION, Gliwice 2010, s.23.

„Fotoluminescencja – jest to emisja promieniowania elektromagnetycznego przez atomy, cząsteczki lub ciała stałe wytworzona w wyniku pochłonięcia przez nie energii świetlnej z obszaru widzialnego, ultrafioletu lub podczerwieni.[33]"



Ryc. Nr 2 – schematyczne przedstawienie długości fali i energii jaką niesie wraz ze sobą.

Emitowane w procesie fotoluminescencji światło najczęściej cechuje się mniejszą energią świetlną w stosunku do światła wzbudzającego, a jak to można odczytać z ryciny schematycznie ukazującej spadek energii świetlnej w stosunku do długości fal elektromagnetycznych w wypadku wzbudzenia promieniowaniem UV kieruje się w stronę promieniowania mieszczącego się w zakresie widzialnym przez nieuzbrojone oko ludzkie. W związku z powyższym, należy stwierdzić, że jeżeli wykonując fotografię z zastosowaniem oświetlenia UV widzimy wzbudzone świecenie, a na uzyskanej fotografii efekt jest tożsamy z tym co widzimy rodzaj tego rodzaju fotografii należy określić jako fotografię z wykorzystaniem oświetlenia UV lub fotografię luminescencji wzbudzonej przez UV.

Fotografia w zakresie pasma ultrafioletu tak samo jak fotografia w podczerwieni wymaga zastosowania specjalistycznego sprzętu lub modyfikacje występującego standardowo na rynku sprzętu. W przypadku fotografii w spektrum światła UV niewystarczającym jednak jest wymiana filtrów „hot mirror" i zastąpienie go filtrami dopuszczającymi do matrycy światłoczułej jedynie promieniowanie poniżej 380 nm. Standardowe obiektywy fotograficzne w związku z konstruowaniem ich z elementów optycznych wykonanych ze szkła jenajskiego pozwalają przepuszczać światło UV w zakresie od 380 nm do 340 nm. Powoduje to konieczność zastosowania specjalistycznych obiektywów w których zastosowane soczewki wykonane są np. z kwarcu lub fluorytu, które przepuszczają promieniowanie UV w zakresie od 380 nm – 200 nm, a więc w całym zakresie bliskiego nadfioletu[34].

Fotografię w zakresie promieniowania nadfioletowego w kryminalistyce wykorzystuje się przede wszystkim w celu:

- Analizy dokumentów pod kątem:
  - ✓ uwidocznienia niewidocznych na dokumencie elementów;

[33] C. Kittel, *Wstęp do fizyki ciała stałego*, PWN, Warszawa 1976, s. 552.
[34] I. Bogusz, *Dokumentacja fotograficzna z oględzin miejsca zdarzenia z uwzględnieniem makrofotografii i fotografii w świetle UV,* Wyd. Centrum Szkolenia Policji, Legionowo 2013, s. 13.

- ✓ skontrastowania i lepszego uwidocznienia słabo widocznych elementów;
- ✓ uwidocznienia zmian w strukturze podłoża badanego dokumentu;
- ✓ stwierdzenia tożsamości podłoża użytego w dwóch lub więcej dokumentach;
- ✓ badania właściwości środków kryjących w dokumencie;
- ✓ ujawnienie treści niewidocznych gołym okiem w związku z degradacja dokumentu związanej z jego wiekiem lub ingerencją w niego środkami fizycznymi i chemicznymi.

- Analiza dzieł sztuki pod kątem:
  - ✓ Przemalowań;
  - ✓ Czynności konserwatorskich;
  - ✓ Porównaniem i określeniem rodzajów zastosowanych farb.



Ryc. Nr 3 Obraz wykonany w technice fotografii w spektrum promieniowania UV z widocznymi pracami konserwatorskimi.

Źródło: http://www.krakow.sercanie.pl/cudowny-obraz-nmp/1546-tajemnice-obrazu-matki-bozej-plaszowskiej

Poza powyżej wymienionymi zastosowaniami technikę fotografii w UV można wykorzystać w celu fotografowania ciała żywego oraz zwłok ludzkich w celu dokumentowania obrażeń lub chorobowych zmian nie dostrzegalnych w świetle widzialnym. Doskonale widać to na przykładzie projektu artystycznego wykonanego przez amerykańską fotografkę Carę Phillips pod tytułem „ULTRAVIOLET BEAUTIES". W projekcie tym wykorzystano fotografie w spektrum światła nadfioletowego w celu wykonania serii portretów, na których dzięki zastosowanej technice na twarzach fotografowanych uwidoczniają się niewidoczne gołym okiem zmiany skórne związane z nagromadzeniem pigmentu melaniny na skutek długotrwałego przebywania na słońcu.



Ryc. Nr 4 – Zmiany skórne uwidocznione za pomocą fotografii w spektrum światła nadfioletowego

Źródło: http://www.cara-phillips.com/ultraviolet-beauties/

1.3.3) Fotografia luminescencji w UV

Zastosowanie tej techniki fotograficznej nie wymaga zastosowania specjalistycznego sprzętu fotograficznego. Jedynym elementem niezbędnym do jej zastosowania jest wykorzystanie emiterów światła ultrafioletowego wzbudzającego fotoluminescencję. W niektórych przypadkach sprawdzają się również filtry kompensacyjne o różnych barwach umożliwiające skontrastowanie świecenia w wybranych pasmach. Ten rodzaj fotografii

wykorzystywany jest na potrzeby kryminalistyki głównie przy dokumentowaniu czynności takich jak ujawnianie śladów za pomocą chemicznych i fizycznych środków znakujących jak proszki daktyloskopijne, chemiczne markery śladów dermatoskopijnych (ardrox, rodamina itp., dfo). Zastosowanie równie znajduje podczas dokumentowania założenia i weryfikacji uzyskanych wyników pułapek kryminalistycznych z zastosowaniem chemicznych środków znakujących.

Podczas wykonywania technicznego badania dokumentów fotografia luminescencji wzbudzonej w UV pozwala na zobrazowanie zabezpieczeń wykonanych za pomocą farb fluorescencyjnych. Ponadto umożliwia ona analizowanie i badania porównawcze zastosowanych środków kryjących i podłoża na podstawie wykazującej przez nie fotoluminescencji.

1.3.4) Rendgenografia

Powszechnie wykorzystywana w medycynie rentgenografia znalazła również zastosowanie w kryminalistyce. Standardowe jej wykorzystanie pozwala na potrzeby postępowania karnego zobrazować powstałe obrażenia tkanki kostnej. Poza tym zastosowaniem wykorzystuje ją się podczas badania dzieł sztuki, gdzie właściwości rentgenografii pozwalają ukazać przemalowania, zamalowania oraz ukazują fałszerstwa polegające na zamalowaniu pierwotnych sygnatur oraz umieszczenie nowych bardziej cenionych artystów w celu zafałszowania wartości. Wymaga specjalnego sprzętu oraz pomieszczeń pozwalających na zminimalizowanie negatywnego wpływu promieniowania rentgenowskiego na zdrowie.



Ryc. Nr 5 – Fotografie obrazu uzyskana za pomocą rejestrowania obrazu w zakresie a) światła widzialnego b) promieniowania rentgenowskiego

Źródło: http://www.krakow.sercanie.pl/cudowny-obraz-nmp/1546-tajemnice-obrazu-matki-bozej-plaszowskiej

1.4) Fotografia detektywna

Rodzaj fotografii kryminalistycznej mający na celu gromadzenie informacji na temat osób, sytuacji oraz miejsc towarzyszących popełnianiu przestępstw i wykroczeń. W tym zakresie mieści się również szeroko pojęte czynności przygotowawcze do popełnienia czynów zabronionych przez prawo. Często ten rodzaj fotografii niesłusznie zawężany jest do czynności o charakterze operacyjno-rozpoznawczym. Rejestrowanie obrazu w sposób dyskretny niewzbudzający podejrzenia osób fotografowanych bardzo często daje środki dowodowe bezpośrednio wykorzystane w procesie przez organ prowadzący postepowanie przygotowawcze. Wśród informacji najczęściej uzyskiwanych w wyniku wykonywania kryminalistycznej fotografii detektywnej możemy wymienić:

- Kontaktowanie się podejrzanego z innymi osobami;
- Powiązania osób związanych z popełnieniem czynu zabronionego;
- Miejsca w których dochodzi do popełnienia czynu zabronionego;
- *Modus operandi* sprawcy przestępstwa;

W związku z tym, że kryminalistyczna fotografia detektywna cechuje się dyskretnością jej wykorzystania przy jej wykonywaniu niezbędne staje się wykorzystanie sprzętu specjalistycznego. Sprzęt ten można podzielić na dwie podstawowe grupy:

- Umożliwiający na wykonanie fotografii z dalszej odległości;
- Umożliwiający wykonanie fotografii ze względu na jego zamaskowanie.

Do pierwszej grupy sprzętu zaliczane będą obiektywy fotograficzne o ogniskowych sięgających kilkuset milimetrów oraz korpusy aparatów fotograficznych pozwalających na wykonanie tego typu zdjęć z wykorzystaniem wysokich wartości światłoczułości z zachowaniem szczegółów.

Druga grupa urządzeń to aparaty fotograficzne utajnione, które dzięki postępowi technologicznemu można w dzisiejszych czasach zamocować zamiast guzika lub umieścić w oprawce okularów. Oczywiście jakość uzyskanego materiału z tak skonstruowanych aparatów fotograficznych nie dorównuje fotografiom uzyskanym z lustrzanek cyfrowych dostępnych na rynku, jednakże jest wystarczająca do zarejestrowania informacji wskazanych powyżej.



Ryc. Nr 6 – Utajniony aparat fotograficzny wykorzystywany przez Służbę Bezpieczeństwa. Źródło: https://ipn.gov.pl/pl/archiw/archiwalia/archiwalia-bydgoszcz/36046,Aparat-fotograficzny-uzywany-przez-SB-do-wykonywania-zdjec-operacyjnych.html



Ryc. Nr 7 – Okulary z zainstalowaną kamerą cyfrową.

Do kryminalistycznej fotografii badawczej możemy zaliczyć także fotografowanie w promieniach lasera, wykorzystanie holografii czy też betaradiografii[35].

2) Szkice kryminalistyczne

2.1) Rodzaje szkiców i planów kryminalistycznych

Podział szkiców i planów kryminalistycznych można dokonać według dwóch kategorii. Ze względu na wielkość przedstawianego terenu oraz ze względu na sposób rzutowania na płaszczyznę.

Ze względu na wielkość przedstawianego terenu szkice i plany kryminalistyczne dzielimy na:

- Ogólne,

[35] Por. T. Baran, *Nowe źródło światła – lasery. Możliwości zastosowania i wykorzystania w kryminalistyce,* Problemy Kryminalistyki 87/70, s. 476, J. Kamiński, T. Kozieł, K. Żuchewicz, *Pierwsze w Polsce wykorzystanie lasera w kryminalistyce,* Problemy Kryminalistyki 175/87, s. 11, T. Kozieł, J. Kamiński, K. Żuchewicz, *Technika laserowa w praktyce Zakładu Kryminalistyki KG MO,* Problemy Kryminalistyki 177/87, s. 289 i nast. J. Kamiński, *Możliwości wykorzystania holografii optycznej w badaniach kryminalistycznych,* Problemy Kryminalistyki 180/88, s. 153 i nast. T. Kozieł, *Możliwości i perspektywy zastosowania holografii w badaniach kryminalistycznych,* Problemy Kryminalistyki 106/73, s. 739 i nast., T. Kozieł, Cz. Szulc, A. Załęski, *Betaradiografia w kryminalistycznych badaniach dowodów rzeczowych,* Problemy Kryminalistyki 162/83, s. 686 i nast.

- Szczegółowe,
- Fragmentaryczne (specjalne).

Ze względu na sposób rzutowania na płaszczyznę szkice i plany kryminalistyczne dzielimy na:

- W rzucie poziomym,
- W rzucie pionowym,
- W rzucie krzyżowym,
- W rzucie perspektywicznym (izometrycznym).

Jednym z pierwszych sposobów utrwalenia miejsca zdarzenia w sposób graficzny było sporządzenie szkicu (rysunku) tego miejsca[36]. Według S. Kozdrowskiego *„szkic kryminalistyczny to dokument przedstawiający za pomocą znaków kryminalistycznych i topograficznych, obraz miejsca zdarzenia, a w szczególności wygląd oraz rozmieszczenie poszczególnych śladów mających istotne znaczenie dowodowe w sprawie”*[37]. Zobrazowanie miejsca zdarzenia, ukazanie relacji występujących pomiędzy elementami na nim występujących oraz przedstawienie kształtów oraz rozmiarów śladów i przedmiotów pozwala w czytelny i łatwy sposób zrekonstruować miejsce zdarzenia oraz jego przebieg przez osoby wykorzystujące szkice kryminalistyczne na potrzeby postępowania przygotowawczego oraz sądowego[38]. Samo wykonanie szkicu miejsca zdarzenia nie jest czynnością obligatoryjną oraz ściśle uregulowaną przez przepisy prawa[39]. Jednak opisane wyżej walory przedstawienia

---

[36] Por. H. Gross, *Podręcznik dla sędziego śledczego jako system kryminalistyki,* opracowanie i przekład J. Kasprzak, Wyd. Difin, Warszawa 2021, s. 376 i nast., a także R. Zelwiański, A Solorz, *Ogólne zasady sporządzania szkiców miejsca przestępstwa lub wypadku,* Problemy Kryminalistyki 4/56, s. 56 i nast., J. Wilczewski, E. Pietrycka – Wilczewska, *O szkicach raz jeszcze,* Problemy Kryminalistyki 161/83, s. 468.

[37] S. Kozdrowski, *Oględziny miejsca zdarzenia, cz. 2* , Wyd. Centrum Szkolenia Policji, Legionowo 1991, s. 25.

[38] M. Goc, J. Moszczyński red., *Ślady kryminalistyczne. Ujawnianie, zabezpieczanie, wykorzystanie*, Wyd. Difin, Warszawa 2007, s.469

[39]Art. 205. § 1. KPK *„Jeżeli dokonanie oględzin, przesłuchania przy użyciu urządzeń technicznych umożliwiających przeprowadzenie tej czynności na odległość, eksperymentu, ekspertyzy, zatrzymania rzeczy lub przeszukania wymaga czynności technicznych, w szczególności takich jak wykonanie pomiarów, obliczeń, zdjęć, utrwalenie śladów, można do udziału w nich wezwać specjalistów.”*

Art. 207 § 2. KPK *„Jeżeli przedmiot może ulec przy badaniu zniszczeniu lub zniekształceniu, część tego przedmioty należy w miarę możliwości zachować w stanie niezmienionym, a gdy to nie jest możliwe – stan ten utrwalić w inny sposób.”*

Wytyczne nr 1 Komendanta Głównego Policji z dnia 23 lipca 2015 r. w sprawie wykonywania niektórych czynności dochodzeniowo-śledczych przez policjantów (Dz. Urz. KGP z dnia 24 lipca 2015r.

§ 45. pkt. 1 *„Z oględzin sporządza się protokół oględzin oraz w miarę potrzeby odpowiednią dokumentację techniczną i niezbędną dokumentację dodatkową, która może być sporządzona tylko podczas oględzin miejsca.”*

§ 45. pkt. 7 *„ dokumentację techniczną załączaną do protokołu oględzin stanowią:*

1) Szkice ogólne, szczegółowe i specjalne uwzględniające najistotniejsze dane…

miejsca zdarzenia w postaci szkicu spowodowały jego ugruntowaną wysoką pozycję wśród elementów dokumentacji zdarzenia.

Rozważając wartość wizualizacyjną szkiców kryminalistycznych można posłużyć się przysłowiem „jeden obraz wart więcej niż tysiąc słów". Charakterystyka języka stosowanego podczas sporządzania protokołu oględzin sprawia trudności precyzyjnego scharakteryzowania elementów takich jak kształt, rozmiar czy wzajemne usytuowanie. Ponadto obszerne protokoły oględzin opisujące szczegółowo każdy element znajdujący się w otoczeniu nie pozwalają na łatwe zwizualizowanie otoczenia osobie nie będącej na opisywanym przez oględziny miejscu. To co wydaje się trudne do ujęcia w słowach częstokroć bardzo prosto i precyzyjnie umieścić można w obrazie w tym wypadku w szkicu kryminalistycznym. Dlatego szkic jako element zaliczany do dokumentacji około oględzinowej znalazł szerokie uznanie pośród prokuratorów, sędziów oraz funkcjonariuszy wykonujących czynności na miejscu zdarzenia. Należy jednak stwierdzić, że nawet najlepiej wykonany szkic kryminalistyczny nie zastąpi protokołu oględzin i szczegółowego opisu miejsca, osoby czy rzeczy w nim się znajdujących. Szkic należy traktować jako przewodnik lub ilustrację prowadzącą i wyjaśniającą osobie odczytującej protokół, w którym miejscu się znajduje.

Technika sporządzania szkiców kryminalistyczny została opracowane zgodnie z zasadami rządzącymi sporządzaniem rysunkiem technicznym, który ze względu na konieczności przedstawienia za jego pomocą projektów opracował normy pozwalające na jednorodne jego zrozumienie przez każdą z osób na nim pracującym. Spośród obowiązującego spisu norm regulujących zasady sporządzania rysunku technicznego można wyróżnić:

1. PN-EN ISO 5456-1:2002 Rysunek techniczny - Metody rzutowania - Część 1: Postanowienia ogólne;
2. PN-EN ISO 5456-2:200 Rysunek techniczny - Metody rzutowania - Część 2: Przedstawianie prostokątne;
3. PN-EN ISO 5456-3:2002 Rysunek techniczny - Metody rzutowania - Część 3: Przedstawianie aksonometryczne;
4. PN-EN ISO 5456-4:2006 Rysunek techniczny - Metody rzutowania - Część 4: Rzutowanie środkowe;
5. PN-EN ISO 5455:1998 Rysunek techniczny – Podziałki;

6. PN-ISO 128-1:2006 Rysunek techniczny - Zasady ogólne przedstawiania - Część 1: Wprowadzenie i indeks;
7. PN-EN ISO 128-20:2002 Rysunek techniczny -- Zasady ogólne przedstawiania - Część 20: Wymagania podstawowe dotyczące linii;
8. PN-EN ISO 128-21:2006 Rysunek techniczny - Zasady ogólne przedstawiania - Część 21: Linie w systemach CAD;
9. PN-ISO 128-22:2003 Rysunek techniczny - Zasady ogólne przedstawiania - Część 22: Wymagania podstawowe i zastosowanie linii wskazujących i linii odniesienia;
10. PN-ISO 128-23:2002 Rysunek techniczny - Ogólne zasady przedstawiania - Część 23: Linie na rysunkach budowlanych;
11. PN-ISO 128-30:2006 Rysunek techniczny - Zasady ogólne przedstawiania - Część 30: Wymagania podstawowe dotyczące rzutów;
12. PN-ISO 128-40:2006 Rysunek techniczny - Zasady ogólne przedstawiania - Część 40: Wymagania podstawowe dotyczące przekrojów i kładów;
13. PN-EN ISO 5457:2002 Rysunek techniczny - Forma graficzna arkusza;
14. PN-EN ISO 5457:2002 Rysunek techniczny - Formaty arkuszy;
15. PN-N-01603:1986 Rysunek techniczny - Składanie rysunków;
16. PN-EN ISO 7200:2005 Rysunek techniczny - Tabliczki tytułowe;
17. PN-EN ISO 10209-2:2001 Rysunek techniczny - Wykonywanie rysunków – Terminologia;
18. PN-EN ISO 3098-0:2002 Rysunek techniczny – Pismo;
19. PN-EN ISO 128-20:2002 Rysunek techniczny - Linie rysunkowe;
20. PN-ISO 129/Ak:1996, PN-ISO 129:1996 Rysunek techniczny - Wymiarowanie - Zasady ogólne;
21. PN-EN ISO 7519:1999 Rysunek techniczny - Rysunki budowlane - Ogólne zasady przedstawiania na rysunkach zestawieniowych;
22. PN-EN ISO 4157-1:2001, PN-B-01025:2004 Projekty budowlane - Oznaczenia graficzne na rysunkach architektoniczno-budowlanych;
23. PN-B-PN-B-01029:2000 Rysunek budowlany - Zasady wymiarowania na rysunkach architektoniczno-budowlanych;
24. PN-ISO 4069:1999, PN-B-01030:2000 Projekty budowlane - Oznaczenia graficzne materiałów budowlanych;
25. PN-EN ISO 5261:2002 Rysunek techniczny dla konstrukcji metalowych

26. PN-EN ISO 5261:2002 Rysunek techniczny - Przedstawianie uproszczone prętów i kształtowników;
27. PN-B-01042:1999 Rysunek konstrukcyjny budowlany - Konstrukcje drewniane;
28. PN-EN ISO 3766:2005 Rysunek konstrukcyjny budowlany - Symboliczne przedstawianie zbrojenia betonu;
29. PN-EN ISO 3766:2006 Rysunek budowlany - Uproszczony sposób przedstawiania zbrojenia betonu;
30. PN-EN ISO 3766:2006 Rysunek budowlany - Wykaz prętów do zbrojenia betonu;
31. PN-ISO 7437:1994/Ap1:1999 Rysunek techniczny - Rysunki budowlane - Ogólne zasady wykonywania rysunków roboczych prefabrykowanych elementów konstrukcyjnych;
32. PN-ISO 7518:1998 Rysunek techniczny - Rysunki budowlane - Uproszczone przedstawianie rozbiórki i przebudowy;
33. PN-ISO 8560:1994/Ap1:1999 Rysunek techniczny - Rysunki budowlane - Przedstawianie modularnych wymiarów, linii i siatek;
34. PN-EN ISO 4157-1:2001 Rysunek budowlany - Systemy oznaczeń - Część 1: Budynki i części budynków;
35. PN-EN ISO 4157-2:2001 Rysunek budowlany - Systemy oznaczeń - Część 2: Nazwy i numery pomieszczeń;
36. PN-EN ISO 4157-3:2001 Rysunek budowlany - Systemy oznaczeń - Część 3: Identyfikatory pomieszczeń;
37. PN-EN ISO 11091:2001 Rysunek budowlany - Projekty zagospodarowania terenu;
38. PN-B-01027:2002 Rysunek budowlany - Oznaczenia graficzne stosowane w projektach zagospodarowania działki lub terenu;

Szkice i plany kryminalistyczne zaczerpnęły wiele z wyszczególnionych wyżej norm, jednak różnorodności oraz ogrom czynności wykonywanych na miejscu zdarzenia nie pozwalają na to aby szkice kryminalistyczne spełniały wszystkie z wyżej wymienionych norm skonstruowanych na potrzeby projektów inżynierskich i budowlanych. W związku z powyższym w Decyzji nr 13 Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 28 stycznia 2008 r. w sprawie wprowadzenia do użytku „Zestawu zasadniczych umówionych znaków operacyjnych właściwych dla komórek organizacyjnych Ministerstwa Spraw Wewnętrznych i Administracji oraz jednostek organizacyjnych podległych lub nadzorowanych przez Ministra

Spraw Wewnętrznych i Administracji" rozdział 11 „Znaki stosowane przy sporządzaniu szkiców sytuacyjnych" wskazuje ujednolicone symbole oraz sposoby przedstawienia obiektów i przedmiotów znajdujące zastosowanie podczas sporządzania szkiców kryminalistycznych na potrzeby procesu karnego. Rozdział 11 wskazuje zbiory znaków z następujących podrozdziałach:

- Ślady;
- Pojazdy;
- Zabudowania i obiekty budowlane, obiekty komunikacyjne i infrastruktura drogowa;
- Rzuty budynków oraz przedmioty wyposażenia mieszkań i lokali;
- Zbiorniki i cieki wodne oraz urządzenia hydrotechniczne;
- Rzeźba i elementy pokrycia terenu.

Ze względu na miejsce wykonywania szkiców kryminalistycznych dzielimy je na:

- Szkice robocze;
- Szkice (plany) właściwe.

Szkice robocze wykonywane są na miejscu zdarzenie i charakteryzują się wykonaniem ich w sposób zgrubny, bez wykorzystania narzędzi kreślarskich. Poza tym cechą charakterystyczną wykonywania szkiców roboczych jest nanoszenie na nich wymiarów liniowych. Związane jest to z wykonywaniem szkiców roboczych bez zastosowania skali, a jedynie z zachowaniem zależności wielkości i relacji ułożenia przedmiotów i śladów przedstawianych na szkicu[40]. Pomiary przedstawione na szkicach roboczych powinny być wykonane z należytą starannością za pomocą legalizowanych urządzeń pomiarowych takich jak miary, taśmy miernicze, wózki miernicze dalmierze laserowe lub skanery 3D. Należy przy tym zwrócić szczególną uwagę na jednolitość i tożsamość wymiarów wpisanych w szkicu roboczym z tymi wpisanymi w protokół oględzin[41].

[40] Physical Evidence Handbook 8th Edition, Wisconsin Departament of Justice State Crime Laboratories, J.B. Van Hollen, 2009r.

[41] Praktycznie w każdym podręczniku kryminalistyki znajdziemy zasady dokumentowania oględzin miejsca zdarzenia. Por. także: P. Horoszowski, *Model miejsca oględzin w praktyce śledczej,* Problemy Kryminalistyki 4/56, s 89., R. Zelwiański, *Śledcze badanie miejsca zdarzenia,* Problemy Kryminalistyki 41/63 s. 29 i nast., B.I Skiba, *Kryminalistyczna problematyka oględzin miejsc zdarzeń,* Problemy Kryminalistyki 165/84, s. 383., M. Goc, *Organizacja kryminalistycznych badań miejsca zdarzenia,* Problemy Kryminalistyki 144/80, s. 244 i nast., S Flasiński, T, Stępień, *Z problematyki oględzin miejsca przestępstwa,* Problemy Kryminalistyki 169/85, s. 393 i nast.

Każdorazowo przed przystąpieniem do sporządzania szkicu należy dokonać analizy miejsca zdarzenia celem ustalenia:

- Jaki obszar oględzin należy umieścić na szkicu (obszar ten powinien pokrywać się z obszarem poddanym oględzinom);
- Jakie elementy na miejscu zdarzenia są szczególnie istotne, czyli takie które konieczne są do przedstawienia na szkicu w celu poprawnej jego wizualizacji;
- Rzutów w jakich konieczne będzie przedstawienie miejsca zdarzenia w celu jego czytelnego zobrazowania na szkicu[42].

Każdorazowo podczas wykonywania szkiców roboczych należy wykonać następujące czynności:

- Opisanie arkusza, na którym wykonywany jest szkic poprzez określenie obrazowanego miejsca oraz rodzaju szkicu, wpisania daty jego wykonania oraz stopnia imienia i nazwiska autora szkicu.
- Wyznaczenie za pomocą kompasu kierunku północnego i umieszczenie go na szkicu.
- Określenie stałych punktów oraz linii odniesienia od których podczas wykonywania oględzin dokonywane będą wymiary.
- Wykreślenie elementów miejsca zdarzenia niezmiennych takich jak drogi, budynki, ściany, opłotowania, elementy geograficzne (stawy, cieki wodne itp.).
- Wyrysowanie na szkicu śladów kryminalistycznych ujawnionych na miejscu zdarzenia wraz z wstawieniem w szkic wymiarów niezbędnych do usytuowania śladów względem wcześniej określonych stałych punktów i linii odniesienia.
- Wpisanie legendy opisującej wstawione w szkic oznakowanie numeryczne i graficzne w taki sposób, aby było to zrozumiałe dla osób dokonującej analizy zdarzenia za jego pomocą.
- Podpisanie szkicu przez osobę go wykonująca oraz osoby biorące udział w oględzinach.

Szkice robocze wykonuje się na białym arkuszu papieru lub papierze z nadrukowaną siatką centymetrową lub milimetrową. Wykonany szkic powinien stanowić załącznik do protokołu

[42] M. Kaczmarek*, Kryminalistyczne badanie miejsca zdarzenia w teorii i praktyce*, Wydawnictwo Szkoły Policji w Pile, Piła 2011 r., s .59

oględzin, a na jego podstawie oraz na podstawie protokołu oględzin powinno wykonać się plan miejsca zdarzenia.

Szkice oraz plany kryminalistyczne wykonuje się w sytuacjach kiedy charakter zdarzenia powoduje trudności w przejrzystym jego opisaniu, a w szczególności:

- Rozlokowaniu śladów na miejscu zdarzenia,
- Zobrazowania drogi dojścia lub odejścia sprawcy oraz ścieżki poruszania się po miejscu zdarzenia.

2.2) Plan kryminalistyczny

Kolejnym elementem obrazowania miejsca zdarzenia za pomocą rysunku jest sporządzenie planu. Plan wykonuje się w siedzibie jednostki. Warunkiem koniecznym podczas wykonywania Planów kryminalistycznych jest wykonanie go w skali dzięki czemu zbędne staje się wpisywanie przymiarów liniowych. Skala definiowana jest jako stosunek długości na mapie do odpowiadającej jej odległości w terenie. Wyrażenie skali na mapie, rysunku technicznym czy planie można przedstawić na trzy sposoby:

- Pierwszym z nich jest skala liczbowa przedstawiana jako ułamek, np. 1:100 w tej skali każdemu odcinkowi o długości 1 centymetra zmierzonemu na mapie odpowiada odcinek w terenie o długości równej 100 centymetrów. Jest to najpowszechniej stosowany sposób przedstawienia skali szkiców kryminalistycznych.
- Drugi sposób to przedstawienie skali w postaci skali mianowanej. W tym odległość mierzona na mapie oraz przypisana jej odległość w terenie opisywane są w dwóch jednostkach długości. Porównując ją do przykładu podanego w przypadku skali liniowej jej odpowiednik w postaci skali mianowanej wyglądał by 1cm – 1m.
- Trzecim sposobem jest zastosowanie skali liniowej, czyli przedstawienia skali za pomocą graficzną. W zależności od przyjętego sposobu może to być linijka z podziałka lub belka określająca odległość reprezentowaną na planie jako wskazana wielkość długości w przestrzeni.

Plany kryminalistyczne sporządza się przy pomocy szkicu roboczego oraz na podstawie treści protokołu oględzin miejsca. Do ich wyrysowania stosuje się papier milimetrowy, kalkę techniczną lub inne podłoże pozwalające na precyzyjne uwidocznienie rysunku. Jako środków

kryjących niezbędne jest zastosowanie środków trwale wiążących się z podłożem. Wszelkie opisy w wykonanym planie powinny odpowiadać wymogą pisma technicznego. W zależności od techniki wykonywania planów kryminalistycznych (technika manualna i technika komputerowa) przy wykonywaniu planów stosuje się przybory kreślarskie.

Niezbędne elementy planu kryminalistycznego to:

- Tytuł.
- Określenie miejsca które plan reprezentuje ze wskazaniem daty zdarzenia, jego położenia oraz charakteru zdarzenia.
- Sygnatury postępowania.
- Daty i miejsca sporządzenia planu.
- Treść graficzna planu z przedstawieniem śladów na miejscu zdarzenia oraz elementów miejsca zdarzenia mających wpływ na przebieg zdarzenia oraz usytuowanie miejsca zdarzenia w przestrzeni.
- Stopnia, imienia i nazwiska osoby wykonującej plan wraz z odręcznym podpisem.
- Legendy, w której znajdują się objaśnienia graficzne, liczbowe i literowe użyte w konstrukcji planu.
- Kierunek północny.
- Kierunek wiatru (w przypadku szkiców miejsca pożaru oraz innych miejsc zdarzenia, gdzie kierunek wiatru miał wpływ na przebieg zdarzenia).
- Kąt padania promieni słonecznych (w przypadku wypadków drogowych oraz innych zdarzeń, gdzie miało to wpływ na przebieg zdarzenia).
- Skala szkicu przedstawiana w postaci liniowej, liczbowej lub mianowanej.
- Opisanie rzutu w jakim wykonywany jest plan.

3) Przegląd urządzeń pomiarowych wykorzystywanych we współczesnej kryminalistyce.

3.1) Urządzenia manualne

Wymogi odnoszące się do urządzeń pomiarowych określone zostały w Rozporządzeniu Ministra Rozwoju z dnia 2 czerwca 2016 r. w sprawie wymagań dla przyrządów pomiarowych,

które to w załączniku nr 8 „wymagania dla materialnych miar długości i naczyń wyszynkowych" oraz załączniku nr 9 „wymagania dla przyrządów do pomiaru długości, pola powierzchni" precyzyjnie określa właściwości materialnych miar długości (przymiarów) oraz wskazuje błędy graniczne dopuszczalne mogące wystąpić w przymiarach wykonanych zgodnie z rozporządzeniem.

Zgodnie z zapisami załącznika nr 8 *„Do wytwarzania przymiarów używa się materiałów, które zapewniają, że w temperaturze otoczenia zawartej w granicach ±8 °C od temperatury odniesienia zmiany długości przymiaru nie przekraczają wartości błędów granicznych dopuszczalnych (MPE)."* (temperatura odniesienia wynosi 20°C, chyba że producent określił inaczej)

Kluczowym elementem rozporządzenia jest wprowadzenie pięciu klas dokładności przymiarów oraz określenie dla każdej z nich granicznych błędów dopuszczalnych. Klasy zostały określone jako I, II, III, D, S. Każdą z wyżej wymienionych klas wyróżnia graniczny błąd dopuszczalny obliczany według wzoru:

$$\Delta = a + bL$$

gdzie:

L - oznacza wartość długości zaokrągloną w górę do następnej całkowitej liczby metrów;

a i b – wartości z tabeli nr 1 zawartej w rozporządzeniu.

Klasa dokładności	a (mm)	b	c (mm)
I	0,1	0,1	0,1
II	0,3	0,2	0,2
III	0,6	0,4	0,3
D - do 30 m włącznie[1)]	1,5	0	0
S - dla każdych 30 m długości, kiedy taśma przymiaru jest rozłożona na płaskiej powierzchni	1,5	0	0
[1)] Jeżeli nominalna długość wstęgi przymiaru przekracza 30 m, uwzględnia się dodatkowy błąd graniczny dopuszczalny (MPE) o wartości 0,75 mm dla każdych kolejnych 30 m długości wstęgi.			

Tab. Nr 2 – Tabela klas dokładności zawarta w Rozporządzeniu Ministra Rozwoju z dnia 2 czerwca 2016 r. w sprawie wymagań dla przyrządów pomiarowych.

Z wskazanych wyżej elementów wynika, że mierząc za pomocą miar manualnych odcinek o długości 10 m graniczny błąd dopuszczalny wynosi odpowiednio dla poszczególnych klas dokładności:

Klasa I – 1,1 mm

Klasa II – 2,3 mm

Klasa III – 4,6 mm

Nie oznacza to jednak, że pomiary dokonane za pomocą manualnych przyrządów metrycznych cechowały się będą maksymalnym błędem 4,6 dla klasy III. W większości wypadków nieprawidłowe wykonanie pomiaru przez osoby je wykonujące wprowadza do uzyskanego wymiaru znacznie większe błędy pomiarowe. Typowe błędy opisane zostaną przy charakteryzowaniu poszczególnych najpopularniejszych urządzeń pomiarowych.

3.2) Przymiar liniowy (wstęgowy)

Najpopularniejszy przymiar stosowany do uzyskania wymiarów podczas prowadzenia oględzin. Niska cena oraz łatwość obsługi przymiarów wstęgowych spowodowała, iż są one podstawowym narzędziem metrologicznym, a ich zastosowanie nie wzbudza wątpliwości organów procesowych. Jednak tak jak opisano wyżej przyrządy metrologiczne powinny spełniać narzucone na nie przez instytucje wymagania powodujące znormalizowanie wyników za ich pomocą uzyskanych. Większość przymiarów wstęgowych stosowanych na potrzeby kryminalistyki spełnia te wymogi i należy do klasy dokładności drugiej. Praktyka pokazuje, że w niektórych przypadkach wyposażenie walizek kryminalistycznych stanowią przymiary liniowe nie posiadające określonych klas dokładności co powoduje duże trudności w ich zastosowaniu podczas wymiarowania miejsca zdarzenia na potrzeby procesowe.

W każdym przypadku zastosowania przymiarów wstęgowych należy starannie przeprowadzić pomiar, gdyż w związku z giętkością materiału zastosowanego przy ich produkcji przy niewłaściwym ich zastosowaniu błąd pomiarowy znacznie przekroczyć może graniczny błąd dopuszczalny wynikający z konstrukcji urządzenia pomiarowego. Najczęściej błąd taki powstaje w przypadkach, kiedy mierzone punkty znajdują się w dużej odległości od siebie przekraczającej długość przymiaru generując potrzebę kilkukrotnego jego odłożenia w celu uzyskania odległości całkowitej. W przypadkach wymiarowania dużej odległości, która nie jest umieszczona na płaszczyźnie również zauważamy błędy pomiarowe powstałe w skutek nieprawidłowego naprężenia wstęgi mierniczej. Otrzymany wymiar reprezentuje w tym

przypadku długość łuku wytworzonego przez przymiar, a nie prostolinijny pomiar pomiędzy dwoma punktami.



Ryc. Nr 8 – Przymiar wstęgowy stalowy z widoczną klasą dokładności II.



Ryc. Nr 9 – Przymiar wstęgowy z tworzywa sztucznego z widocznym oznaczeniem klasy dokładności, temperatury odniesienia oraz wartości naprężenia określonej przez producenta na 20N.

3.3) Koło pomiarowe

Zastosowanie koła pomiarowego na potrzeby kryminalistyki najszersze zastosowanie znalazło podczas oględzin zdarzeń drogowych. Powierzchnia asfaltowa lub utwardzona w inny

sposób dzięki charakterystyce zbliżonej do płaszczyzny pozwala na wygodne i precyzyjne wskazanie wymiarów śladów i przedmiotów na niej się znajdujących. Tak jak przy innych urządzeniach pomiarowych należy jednak szczególną uwagę zwrócić na zaplanowanie dokonania pomiaru oraz analizę dokonywanego pomiaru w celu dobrania instrumentu oraz sposobu działania. Podczas wymiarowania kołem pomiarowym należy zwrócić szczególną uwagę na elementy takie jak:

- Czy przez cały cykl mierniczy koło wózka miało kontakt z podłożem,
- Czy pomiędzy punktem początkowym wymiaru a punktem końcowym wymiaru w nawierzchni nie występują ubytki powodujące zafałszowanie wyniku liniowego,
- Czy pomiar dokonany został w linii prostej,
- Czy punkt początkowy i końcowy pomiaru reprezentowany był przez miejsce styku koła pomiarowego z podłożem.
- Czy wyzerowanie koła pomiarowego nastąpiło w początkowym punkcie pomiarowym.

Koła pomiarowe jako manualne urządzenia miernicze podlegają legalizacji przez instytucje posiadające do tego kwalifikacji. W przypadku wózków okres pomiędzy legalizacjami urządzeń nie powinien być dłuższy niż dwa lata.

Pomimo powszechności stosowania wózki pomiarowe cechują się dużą rozbieżnością uzyskanych wymiarów powstałych na skutek ich niewłaściwego użytkowania co zawęża ich zastosowani do specyficznego środowiska jakom będzie powierzchnia płaska bez ubytków i elementów przestrzennych na niej występujących w którym błędy pomiarowe w granicach jednego decymetra nie wpływają na wnioskowanie. Zaletą koła pomiarowego niewątpliwie jest łatwość wykonywania pomiarów nieliniowych takich jak ślady zarzucania czy hamowania.



Ryc. Nr 10 – Koła pomiarowe.



Ryc. Nr 11 – Widok licznika koła pomiarowego.

3.4) Urządzenia do pomiarów laserowych

3.4.1) Dalmierze laserowe



Ryc. Nr 12 - Dalmierz laserowy.

Urządzenia dokonujące pomiarów na podstawie obliczenia czasu potrzebnego na przebycie przez światło lasera dystansu od urządzenia do punktu pomiarowego i z powrotem. Pomiar polega na przyłożenie wskazanego, zależnego od modelu i producenta punktu reprezentującego początek pomiaru do jednego z punktów. Dalmierz laserowy to urządzenie o stosunkowo długiej historii. Świadczy o tym fakt, że już dwa pół roku po skonstruowaniu pierwszego lasera opracowano konstrukcję dalmierza laserowego[43].

Dzisiejsze dalmierze laserowe pozwalają w szybki i precyzyjny sposób dokonać pomiarów otoczenia, a wśród wielu funkcji przeliczeniowych pozwalających na przełożenie kilku pomiarów liniowych w inny niemożliwy do wykonania występują takie jak: - pomiar odległości

[43] T.H. Maiman , *Stimulated Optical Radiation in Ruby*, Nature, Vol.187, 493 (1960);

- pomiar ciągły min/max – służący do pomiaru przekątnych pomieszczenia lub odległości pionowej pomiędzy ścianami;
- wytyczanie – służy do wyznaczania odległości zadanych przez operatora. W momencie osiągnięcia zadanej długości urządzenie sygnałem dźwiękowym lub świetlnym wyznacza punkt wytyczania.
- dodawanie/odejmowanie – pomiar pozwala na dodawanie lub odejmowanie kolejno wykonanych pomiarów w celu uzyskania pomiaru końcowego.
- powierzchnia – funkcja automatycznie wylicza pole powierzchni na podstawie dwóch pomiarów pojedynczych. W przypadku pomiaru objętości za pomocą tej funkcji należy być pewnym, że pomierzone odcinki muszą być usytułowane pod kątem prostym względem siebie.
- powierzchnia trójkąta – za pomocą trzech dokonanych pomiarów jednostkowych wyznacza trójkąt, wskazując jednocześnie jego powierzchnię oraz kąty zawarte pomiędzy poszczególnymi bokami trójkąta.
- Objętość – za pomocą trzech pomiarów jednostkowych wylicza objętość, przy założeniu, że trzy pomierzone odcinki znajdują się prostopadle względem siebie.
- Trapez – tryb pomiaru umożliwiający pomiar pola powierzchni trapezu poprzez wskazanie i dokonanie pomiaru jego boku oraz przekątnej trapezu. Warunkiem koniecznym jest dokonywanie pomiaru trapezu prostokątnego.
- funkcja malarska (powierzchnia zwartościami cząstkowymi)
- funkcja Pitagoras 2-punktowa, 3-punktowa – funkcja pozwalająca na dokonanie pomiarów poprzez wskazanie i dokonanie pomiaru dwóch lub trzech punktów z zależności od wybranego przez operatora trybu z których jeden wykonany jest prostopadle do mierzonego odcinka. Po wykonaniu pomiarów urządzenie dzięki przekształceniu wyników za pomocą twierdzenia Pitagorasa oblicza odległość mierzonego odcinka. Pomiar ten należy traktować jako zgrubny.
- pomiar wysokich profili.
- pochyłe przedmioty.
- śledzenie wysokości.
- średnica – po zmierzeniu punktu kolumny lub drzewa usytułowanego w najmniejszej odległości od urządzenia oraz wskazaniu krańców szerokości kolumny na wykonanym

przez urządzeniu fotografii urządzenie wylicza średnicę oraz pole powierzchni przekroju kolumny lub drzewa.

- szerokość – zastosowanie trybu szerokości pozwala dzięki wykonaniu pomiaru punktowego prostopadłego do powierzchni, a następnie wskazanie na wykonanym przez urządzeniu zdjęciu punktów krańcowych uzyskanie wymiaru ukazującego szerokość obiektu pomiędzy wskazanymi krańcami.
- powierzchnia ze zdjęcia.

3.4.2) E –surve

W nauce technicznej jaką jest geodezja od lat stosowano urządzenia, dzięki którym możliwe było dokonanie pomiarów z dużą precyzją. Nie przekładało to się jednak na urządzenia miernicze powszechnie wykorzystywane w kryminalistyce. Spowodowane było to skomplikowaną obsługa geodezyjnych urządzeń pomiarowych. Urządzeniem, które w geodezji zyskało uznanie i do tej pory przez nią jest wykorzystywane jest tachimetr. Dzięki zastosowaniu tachimetru otrzymać można precyzyjne pomiary jednak w układzie współrzędnych biegunowych, a nie w powszechnie stosowanym układzie kartezjańskim. Problematyka przełożenia współrzędnych oraz skomplikowana obsługa urządzenia spowodowała, że nie znalazł on uznania w „codziennej" kryminalistyce. Sytuacja zmieniła cyfryzacja wyżej wymienionego sprzętu oraz wyposażenie go w dodatkowy element jakim jest dalmierz laserowy. Ponadto w Polsce krakowska firma CYBID, która od piętnastu lat opracowywała programy graficzne pozwalające na wizualizacje szkiców z miejsc wypadków drogowych w postaci cyfrowo opracowywanych szkiców wprowadziła na rynek tachimetr typu „total station" wyposażony w dalmierz oraz co najważniejsze dedykowane do kryminalistyki jego oprogramowanie. Dokładność pomiarowa wprowadzonego urządzenie wynosi do 2mm na odległości do 100m od urządzenia.



Ryc. Nr 13 – Zestaw eSURV firmy CYBID (total station wraz z wyposażeniem dodatkowym)

Dzięki zastosowaniu łatwego w obsłudze, intuicyjnego oprogramowania oraz kolorowego ekranu dotykowego urządzenie stało się doskonałym wzbogaceniem wyposażenia techników kryminalistyki oraz biegłych na miejscu zdarzenia. Ponadto w urządzenie wpisane jest mianownictwo przedmiotów oględzin dzięki czemu w łatwy sposób pomierzonym punktom można nadać precyzyjne i jednolite nazewnictwo. Cyfrowy charakter urządzenia przekłada się tym, że urządzenie w sposób automatyczny przelicza wyliczone kąty i odległości, a punktom pomiaru nadaje współrzędne kartezjańskie w układzie XYZ.

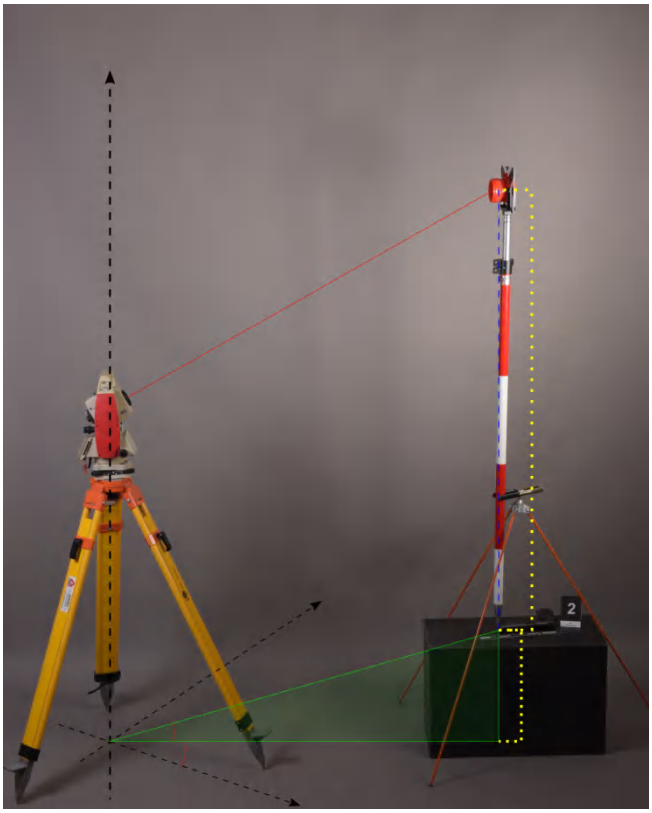
Obsługa urządzenia polega na jego inicjalizacji, zawierającej się w wypoziomowaniu trójnogu, wypoziomowaniu urządzenia i uruchomieniu aplikacji. Standardowo proces ten zajmuje ok 5 min. Po tym czasie urządzenie gotowe jest do dokonywania pomiarów. Początkiem układu współrzędnych jest punkt znajdujący się na podłożu dokładnie pod urządzeniem. Instrument pozwala jednak za szybką zmianę układu odniesienia dzięki wyznaczeniu za jego pomocą dwóch SLO zgodnie z zasadami dokonywania pomiarów i tworzenia szkiców kryminalistycznych.

Przy dokonywaniu pomiaru urządzenie do wyboru daje nam trzy możliwości i oferuje:

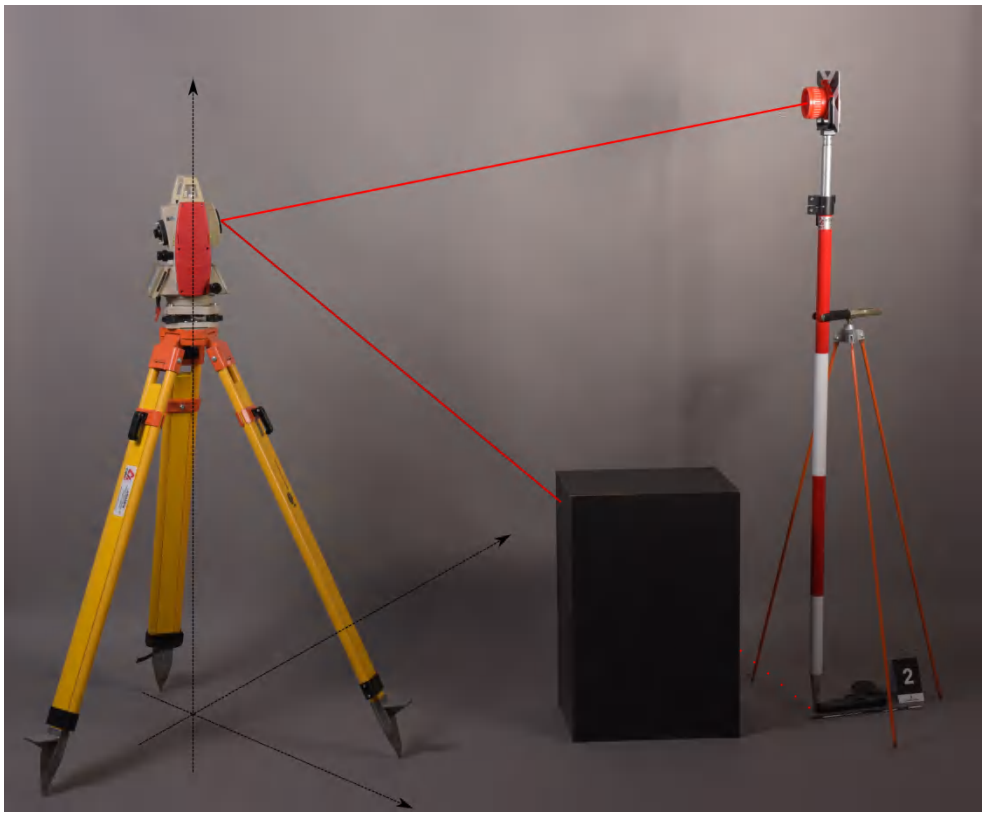
Pomiar bezpośredni – polega on na bezpośrednim wskazaniu przez wysyłaną przez przyrząd wiązkę lasera punkt oraz dokonaniu jego pomiaru. W przypadku silnego światła lub odległości uniemożliwiającej spostrzeżenie wskazanego prze laser punktu możliwe jest nakierowanie urządzenia za pomocą precyzyjnej lunety. W tym trybie odległość punktów możliwych do zmierzenia według producenta wynosi do 800 m, jednakże podczas praktycznego wykorzystania punkty znajdujące się w dalszej odległości niż 300 metrów były trudne do uzyskania pomiaru.

Pomiar na folię – w tym wypadku cele mierzone przez urządzenie powinny być wykonane z materiałów odblaskowych. Do takich elementów zaliczamy między innymi znaki drogowe, słupki heksometryczne, tablice rejestracyjne. Pomiar dokonywany jest poprzez wskazanie celu wiązką lasera. Możliwe jest wskazanie punktu tak jak w przypadku pomiaru bezpośredniego z wykorzystaniem lunety. Zastosowanie tego trybu znacznie zwiększa zasięg możliwych do dokonania pomiarów. Według producenta możliwe jest uzyskanie wyniku w odległości do 800 m tak jak w trybie pomiaru bezpośredniego. Praktyka wskazała, że optymalna odległość dla której można uzyskać wynik wynosi ok. 500 m.

Pomiar na lustro – w tym wypadku konieczne jest zastosowanie lustra zwrotnego będącego standardowym wyposażeniem systemu eSURVE, które musi zostać ustawione pionowo na tyczce której szpica reprezentuje punkt pomiarowy. Pomiar odbywa się poprzez dokonanie pomiaru odległości za pomocą odbitego w lustrze zwrotnym promienia lasera, a umiejscowienie punktu pomiarowego następuje poprzez przeliczenia wymiarów kątowych oraz odległości na układ kartezjański. W tym elemencie istotne jest podanie wysokości zastosowanej tyczki, gdyż wynik reprezentujący wysokość mierzonego punktu powstaje poprzez pomniejszenie wyniku pierwotnego o wysokość zastosowanej tyczki. W trybie pomiaru na lustro urządzenie pozwala na dokonanie pomiaru punktów znajdujących się w odległości do 5 km. Zastosowanie tyczki mierniczej w tym trybie pomiarów przydatne jest podczas dokonywania pomiarów które znajdują się za przeszkodami.



Ryc. Nr 14 – Schemat dokonywania pomiaru na lustro.



Ryc. Nr 15 – Pomiar punktu znajdującego się za przeszkodą

Z wymienionych powyżej trybów pomiaru tryb bezpośredni oraz tryb na folię doskonale sprawdza się w pomieszczeniach zamkniętych. Czerwony punkt lasera wskazujący punkt pomiarowy pozwala na szybkie i precyzyjne wykonanie pomiarów miejsca zdarzenia, a możliwości programowe zapisywania wykonanych pomiarów i możliwości nadania im jednolitego nazewnictwa pozwala na wykonanie wszystkich niezbędnych pomiarów niezależnie od sporządzania protokołu oględzin. Wynika to z możliwości odczytania dokonanych pomiarów w każdym momencie od ich wykonania.

Pomiar na lustro jest sposobem dokonywania pomiarów lepiej sprawdzających się w warunkach zewnętrznych, gdzie silne światło powoduje wielokrotnie problemy ze spostrzeżeniem plamki lasera oraz znaczne skrócenie możliwości dokonania pomiaru bezpośredniego. W takich wypadkach urządzenie daje możliwość płynnego przechodzenia pomiędzy trybami pomiarowymi, dzięki czemu pomiary wykonywane z bliskiej odległości można wykonać za pomocą pomiaru bezpośredniego, a te które wymagają pomiaru większych odległości lub punktów znajdujących się za przeszkodami wykonać można przy pomocy pomiaru na lustro.

Niewątpliwym atutem stosowania urządzenia jest bezpieczeństwo. Dzięki faktowi dokonywania pomiarów z pewnej odległości, poprawne wybranie punktów ustawienia urządzenia pozwala na prace w warunkach bezpiecznych poza strefą zagrożenia. Szczególnego znaczenia wybranie bezpiecznego punktu usytuowania urządzenia nabiera podczas dokumentowania zdarzeń drogowych, gdzie zagrożenie powstałe w skutek nieuwagi uczestników ruchu drogowego jest szczególnie duże. Odpowiednie dobranie takiego punktu oraz wykonywanie pomiarów bezpośrednich pozwalają na wykonanie czynności wtórnych na miejscu zdarzenia, bez konieczności powodowania utrudnień w postaci zamknięcia ruchu.

Dokumentowanie rozległego terenu za pomocą urządzenia eSURVE umożliwia funkcja przeniesienia urządzenia pomiarowego na nowe stanowisko. Elementem koniecznym do zastosowania tej procedury jest fakt widoczności co najmniej dwóch punktów pomiarowych których umiejscowienie zostało określone z poprzedniego stanowiska. Wskazanie tych dwóch punktów z nowego stanowiska pozwala na zlokalizowanie urządzenia w otaczającej przestrzeni i wpisania w istniejący układ współrzędnych XYZ.

Urządzenie eSURVE pozwala na uzyskanie niewątpliwie rezultatów pomiarowych i wizualizacyjnych wielokrotnie przewyższających jakoś uzyskiwaną za pomocą miarek i

wózków pomiarowych. Jednak efekt pracy jest ściśle uzależniony od umiejętności obsługi oraz zaangażowania operatora. Pomiar zostaje dokonany tylko we wskazanych punktach co nie zamraża obiektywnego obrazu miejsca, a jedynie ukazuje elementy przestrzeni wskazane jako najistotniejsze przez osobę obsługującą sprzęt.

ROZDZIAŁ II
Techniki skanowania 3D

Współcześnie nauka wypracowała wiele możliwości uzyskiwania materiału 3D. Obrazowanie tego typu uzyskuje się obecnie dzięki technikom optycznym wykorzystującym przeliczenia obrazów dwuwymiarowym na trójwymiarową rzeczywistość jak również techniką pomiarów laserowych, radiowych oraz z zastosowaniem innych długości promieniowania elektromagnetycznego pozwalającą na uzyskanie przedstawienia rzeczywistości w postaci objętościowych wizualizacji komputerowych 3D. Wielorodność zastosowanych technik pomiarowych łączy się z wielorodnością i zróżnicowaniem sprzętu specjalistycznego wykorzystywanego do dokonania wyliczeń. Sprzęty te charakteryzują się różną wielością, wymogami technicznymi doboru stanowisk pomiarowych, łatwością użytkowania oraz dokładnością dokonanych pomiarów[44].

1) Podział technik skanowania

Dokonując podziału technik skanowania 3D możemy wyróżnić techniki takie jak:

- Kontaktowe – techniki kontaktowe polegają na fizycznym kontakcie urządzenia pomiarowego ze sztywno osadzonym w przestrzeni mierzonym obiektem. Na podstawie wychyleń miernika określane jest położenie punktu oraz jego wektor normalny. Ze względu na dwa podstawowe aspekty zastosowania techniki kontaktowej dokonywania pomiarów czyli kontakt urządzenia pomiarowego z mierzonym obiektem, który może wpłynąć na obiekt pomiarowy oraz konieczność przytwierdzenia obiektu

[44] O unowocześnieniu pracy na miejscu zdarzenia myślano już znacznie wcześniej, por. T. Hanausek, *Rozwojowe perspektywy czynności kryminalistycznych związanych z badaniem miejsca zdarzenia,* Nowe Prawo 7-8, 1971, s.1133 i nast., R. Białostocki, *O możliwościach stosowania metod geofizycznych w praktyce śledczej,* Problemy Kryminalistyki 108/74, s, 232 i nast., K. Otłowski, *Audiowizualne utrwalanie czynności procesowych w świetle badań*, Problemy Kryminalistyki 187-188/90, s. 26 i nast., M. Zeller, *Podręcznik fotogrametrii,* Wyd. PWT, Warszawa 1950, I. Łuzgin, *Perspektywy wykorzystania stereoskopii w kryminalistyce,* Problemy Kryminalistyki 16/58, s.755 i nast., J. Mucha, *Możliwości odczytu odległości na podstawie zdjęć niemetrycznych,* Problemy Kryminalistyki 120/76, s. 158., Z. Pałasiński, *Uproszczona metoda określania rzeczywistych wymiarów i kątów przestrzennego usytuowania przedmiotów utrwalonych na zdjęciu fotograficznym,* Problemy Kryminalistyki 65/67, s. 92 i nast., T. Kozieł, W. Kowalczyk, *Zastosowanie fotogrametrii w badaniach kryminalistycznych,* Problemy Kryminalistyki 117/75, s. 515, Z. Żelazek, *Nowoczesne techniki dokumentacji miejsca zdarzenia*, Problemy Kryminalistyki 215/97, s. 71.

pomiarowego do stałej powierzchni co również oddziałuje na mierzony obiekt i może spowodować trudności pomiarowe technikę kontaktowego modelowania 3D obiektów i przedmiotów odrzucono z badań wykonywanych na potrzeby dysertacji.

- Bezkontaktowe aktywne – w których rejestrowana jest rzeczywistość trójwymiarowa z wykorzystanie detektorów czułych i skalibrowanych z wiązką promieniowania elektromagnetycznego w określonym zakresie charakterystycznym dla szczegółowej techniki. Urządzenia pracujące z wykorzystaniem technik bezkontaktowych aktywnych wykorzystują wiele specyficznych długości fal elektromagnetycznych. Wśród nich znajdują się urządzenia emitujące światło widzialne (światło strukturalne), lasery w różnym zakresie długości fal elektromagnetycznych jak również takie które emitują promieniowanie rentgenowskie czy ultradźwięki.
- Bezdotykowe pasywne – podczas skanowania za pomocą tej techniki urządzenia ją wykorzystujące nie emitują światła a jedynie zapisują za pomocą detektorów rejestrujących odbite światło otoczenia. W większości przypadków urządzenia wykorzystujące technikę skanowania bezdotykowego pasywnego rejestrują światło z zakresu światła widzialnego przez oko ludzkie. Techniki skanowania bezdotykowego pasywnego często wykorzystują proste detektory takimi jakimi są aparaty fotograficzne. Pozwala to na relatywnie małe koszty zastosowania wyżej wymienionych technik gdyż zastosowanie ich wymaga ogólnie dostępnego detektora (aparat fotograficzny) oraz programów komputerowych potrafiących przetworzyć dane wsadowe z aparatu na wizualizację 3D.

Ze względu na wyżej wymienione parametry technik skanowania oraz urządzeń niezbędnych do ich zastosowania na potrzeby dysertacji wybrano trzy podstawowe techniki z których dwie reprezentują bezkontaktowe aktywne oraz jedną reprezentującą bezkontaktowe pasywne z wykorzystaniem których wykonano badania mające na celu sprawdzenie ich możliwości wykorzystania na potrzeby kryminalistyki i procesu karnego. Techniki wykorzystane w dysertacji to:

- Skanowanie laserowe z zastosowaniem techniki Tof oraz skanera fazowego (bezkontaktowa aktywna),
- Skanowanie za pomocą skanera optycznego światła strukturalnego (bezkontaktowa aktywna),
- Skanowanie optyczne za pomocą techniki SFM (bezkontaktowa pasywna).

Wybór wymienionych technik został dokonany po analizie takich parametrów jak:

- Dokładność pomiarowa techniki,
- Koszt zastosowania,
- Łatwość użytkowania (obsługa interfejsu użytkownika)
- Rozmiar urządzenia pomiarowego,
- Czas wykonania pomiaru,

Jako pierwszy i zarazem najistotniejszy parametr doboru sprzętu wybrany został parametr dokładności pomiarowej. Zastosowanie skanowania trójwymiarowego na potrzeby kryminalistyki i procesu karnego w których wiarygodność oraz precyzja materiału dowodowego stanowi wymóg konieczny przeprowadzenia badań rekonstrukcyjnych oraz identyfikacyjnych wymusiła postawieniem tego parametru nad wszystkimi innymi zastosowanymi podczas wyboru technik skanowania 3D. Elementami branymi pod uwagę nie była tu tylko katalogowa zdolność pomiarowa ale również potwierdzenie jej w postaci certyfikatów jakości sprzętu oraz ugruntowanie jej pozycji w innych naukach takich jak budownictwo, geodezja czy archeologia. Pod uwagę zostało również wzięte opisanie techniki w piśmiennictwie naukowym.

Parametr kosztów zastosowania został przeanalizowany pod kątem możliwości wdrożenia techniki skanowania 3D dla wymiaru sprawiedliwości. Podczas oceny kosztów wzięto po uwagę cenę zakupu jednostkowego urządzenia na potrzeby jednostek wykonujących oględziny oraz badania kryminalistyczne śladów zabezpieczonych podczas śledczego badania miejsca zdarzenia, jak również koszty wyszkolenia operatora urządzenia. Ocenie poddano również techniki pod kątem zastosowania ich na różnych poziomach pracy dochodzeniowo-śledczej to jest podczas czynności technicznych na miejscu zdarzenia oraz podczas zabezpieczenia miejsca zdarzenia, jak również podczas analizy i badaniu śladów przez instytucje laboratoryjne zmierzające do wykonania ekspertyzy i wydania opinii.

Łatwość użytkowania przeanalizowano pod kątem zastosowania techniki skanowania 3D na miejscu zdarzenia przez technika kryminalistyki, którego czynność skanowania miejsca zdarzenia oraz śladów na nim się znajdującym jest jedną z wielu niezbędnych do wykonania przez niego na miejscu zdarzenia. Wielość zadań wykonywanych przez technika na miejscu zdarzenia generuje potrzebę zastosowania technik oraz urządzeń nieskomplikowanych, możliwych do wykonania po krótkotrwałym przeszkoleniu.

Rozmiar urządzenia pomiarowego jest elementem niezwykle istotnym podczas śledczego badania miejsca zdarzenia. Największe znaczenia zyskuje podczas wykonywania czynności oględzin w terenie trudno dostępnym, w którym zastosowanie dużych i ciężkich urządzeń powoduje utrudnienia lub niemożliwość ich dostarczenia na miejsce zdarzenia, ale również ich rozstawienie i zastosowanie. Analiza parametru wielkości została przeanalizowana pod kątem pracy technika kryminalistyki na miejscu zdarzenia. Zadaniem analizy było dopasowanie parametrów urządzenia do komfortu pracy na miejscu zdarzenia.

Ostatnim z analizowanych parametrów był czas wykonywania pomiaru. Podczas analizy parametru kierowano się zasadą poprawy jakości czynności oględzin. Podczas oględzin miejsca zdarzenia częstokroć dochodzi do sytuacji w których to czynność ta powoduje zakłócenie normalnego trybu środowiska życia i pracy, w którym czynność oględzin jest wykonywana (oględziny miejsca wypadku drogowego itp.). Jednak analizując głębiej problem czasochłonności oględzin przyjęcie założenia, iż wprowadzenie skanowania 3D do kryminalistyki i procesu karnego ma za zadanie skrócenie czasu oględzin jest błędem. Kierując się hipotezą, że wprowadzenie skanowania 3D ma za zadanie polepszenie jakości oględzin oraz zebranie jak największej ilości danych na temat samego zdarzenia, jak również śladów na nim się znajdujących, parametr czasu pomiaru był bardzo ważny[45].

2) Słowniczek skanowania i modelowania 3D

3D	*Przestrzeń trójwymiarowa zwana również przestrzenią kartezjańską w której każdy z punktów opisany jest za pomocą trzech liczb rzeczywistych (X,Y,Z) zwanych współrzędnymi.*
Błąd pomiarowy	*Odstępstwo wyniku jednostkowego pomiaru od wielkości rzeczywistej. Błąd pomiaru nie wynika jedynie z wyniku pomyłki, a jego zaistnienie należy traktować jako nieodłączny element dokonywania pomiarów.*

[45] Por. D.A. Komar, S.Davy-Jow, S.J. Decker, *The Use of a 3-D Laser Scaner to Document Ephemeral Evidence at Crime Scenes and Postmortem Examinations*, Journal of Forensic Sciences, Styczeń 2012, Vol. 57 No. 1, s. 188 i nast.

Cel (target)	*Element rzeczywistości ustawiany przez operatora skanera przed wykonaniem skanów w mierzonej przestrzeni w celu możliwości ich wskazania, a co za tym idzie złożenie wykonanych skanów w jedną spójną chmurę punktów. Cele ustawione w rzeczywistości muszą być widoczne na łączonych ze sobą skanach. Cele wykorzystywane są w przestrzeniach w których trudno znaleźć „naturalne" punkty charakterystyczne.*
Chmura punktów (point cloud)	*Chmura punktów to postać graficznego przedstawienia przestrzeni i jej elementów najczęściej uzyskiwana bezpośrednio ze skanera 3D. Jest to zbiór osadzonych w przestrzeni punktów. Każdy punkt nosi informację o swoich współrzędnych oraz o wartości koloru. Liczba punktów, czyli rozdzielczość chmury, zależy od zadanych parametrów wykonanego skanu. W odróżnieniu od trójwymiarowego modelu siatkowego (poly lub mesh), chmura punktów nie posiada informacji o przestrzeni pomiędzy jej punktami, dlatego nie może zostać zmapowana teksturą lub wykorzystana do pomiarów objętościowych brył. Jeżeli skaner wykorzystuje algorytm rekonstrukcji skali, to można wykonywać pomiary pomiędzy wybranymi jej punktami[46].*
Cliping box	*Funkcja oprogramowania Faro Scene pozwalająca na ukrycie (schowanie) wybranych punktów chmury za pomocą wirtualnego równoległoboku. Punkty chowane za pomocą cliping box w zależności od wyboru operatora mogą znajdować się na zewnątrz lub wewnątrz równoległoboku.*
Cloudcompere	*oprogramowanie do obróbki chmur punktów 3D (uzyskanych np. za pomocą skanera laserowego). Może też obsługiwać siatki trójkątów i kalibrowane obrazy. Dzięki zastosowaniu oprogramowania możliwe między innymi jest generowanie map wysokości, porównywanie odchyłków pomiędzy chmurami punktów, wizualizacji chmur punktów i*

[46] Por. K. Maksymowicz, *Zastosowanie technologii obrazowania 3D w opiniowaniu medyczno-sądowym*, Wyd. Uniwersytet Medyczny im. Piastów Śląskich we Wrocławiu, Wrocław 2016.

	modeli z siatki trójkątów w postaci plików wideo oraz wytworzenie ortofotomap niezbędnych do wytworzenia dokumentacji papierowej na potrzeby procesu karnego.
CMYK	*Przestrzeń barw w pracy z grafiką komputerową. W skład przestrzeni barwowej CMYK wchodzą cztery podstawowe barwy:* *C cyjan (ang. cyan)* *M magenta (ang. magenta)* *Y żółty (ang. yellow)* *K czarny (ang. black lub key colour)*
Dalmierz laserowy	*Urządzenie do pomiaru odległości za pomocą emitowanej przez urządzenia wiązki laserowej oraz odbiór sygnału odbicia lasera od mierzonego punktu.*
Dron	*Bezzałogowy pojazd (naziemny, lotniczy lub podwodny) sterowany zdalnie za pomocą aparatury lub wykonujący zaplanowaną wcześniej misję autonomicznej. Urządzenie to może byś wyposażone w dodatkowy osprzęt taki jak kamera wideo, aparat fotograficzny, chwytak i inne akcesoria.*
Dystorsja	*Błąd układu optycznego polegający na błędnym odwzorowaniu punktów wraz ze wzrostem odległości od osi optycznej układu. Dystorsje dzielimy na poduszkowate, beczkowate oraz faliste.*
EXIFF	*(ang. Exchangeable Image File Format) To standard stosowany między innymi w zdjęciach cyfrowych, umożliwiający zapis metadanych. Dzięki temu plik graficzny może zawierać również dane o autorze, parametry i ustawienia aparatu, słowa kluczowe, a nawet ilość wykonanych zdjęć przez aparat, którym wykonano zdjęcie. Standardy te są obsługiwane przez większość aparatów cyfrowych.* *W zależności od aparatu dane EXIF podają m.in.:* • *nazwę aparatu, którym wykonano zdjęcie*

	• *ustawienia aparatu podczas wykonywania zdjęcia (czas naświetlenia, wartość przysłony, ogniskowa obiektywu, czułość ISO czy balans bieli)* • *datę wykonania zdjęcia a także późniejszej edycji, wraz z podaniem nazwy programu, w którym zdjęcie został edytowane* • *wielkość pliku, rozdzielczość w pikselach* • *profil kolorów* • *miniaturkę obrazka* • *lokalizację zdjęcia w przypadku, gdy korzystamy z przystawki GPS* • *informacje o danych autorskich*[47]
FARO	*Producent sprzętu oraz oprogramowania służącego do wykonywania modeli 3D za pomocą metod dotykowych oraz bezdotykowych.*
Fotografia	*Techniki fotograficzne pozwalające na utrwalenie obrazu z wykorzystaniem światła zarówno w zakresie widzialnym dla nieuzbrojonego oka ludzkiego jak i w długościach światła niewidzialnych dla oka(nadfiolet i podczerwień).*
Fotogrametria	*Sposób przekształceń (obliczeń) w oparciu o pojedynczy lub wiele obrazów dwuwymiarowych pozwalający na określenie jego właściwości i wymiarów geometrycznych (trójwymiarowych)*[48]*.*
Geodata	*Meta dane pozwalające na zlokalizowanie wykonania skanu, fotografii lub pliku cyfrowego o innym formacie za pomocą współrzędnych geograficznych uzyskanych z zamontowanych lub dołączonych do urządzenia czujników GPS.*
Geomagic Control	*Oprogramowanie pozwalające na tworzenie szybkich analiz i porównań pomiędzy cyfrowymi modelami i realnymi przedmiotami. Pozwala na tworzenie kompletnych raportów kontrolnych oraz ich wizualizację za pomocą trójwymiarowych modeli dostępnych w formacie Adobe Reader*[49]*.*

[47] http://fotoblogia.pl/5524,dla-poczatkujacych-jak-czytac-dane-exif
[48] Por. Linder W., *Digital Photogrammetry,* wyd. Springer,Berlin 2003 r., s.25
[49] http://www.tpi.com.pl/pl/oprogramowanie/geomagic-control1

Glonass	*Rosyjski system pozycjonowania GPS w oparciu o 26 satelitów umiejscowionych na orbicie okołoziemskiej.*
Głębia ostrości	*W fotografii określenie zakresu odległości od układu optycznego w którym rejestrowany obraz postrzegany jest jako ostry (nierozmazany). Głębia ostrości zależna jest od trzech parametrów aparatu fotograficznego zastosowanych podczas wykonywania zdjęcia to jest:* *Przysłona* *Ogniskowa obiektywu* *Odległość ostrzenia*
GPS	*GPS–NAVSTAR (ang. Global Positioning System – Navigation Signal Timing and Ranging) system pozycjonowania satelitarnego opracowany przez Departament Obrony Stanów Zjednoczonych działający w oparciu o 31 satelit orbitujących wokół kuli ziemskiej.*
Granica błędu dopuszczalnego	*Wartość błędu pomiarowego mieszcząca się w wartości akceptowalnej. Wartości błędu dopuszczalnego określona jest odrębnie dla każdej techniki mierniczej.*
HDR	*(ang. High Dynamic Range) obraz o szerokiej rozpiętości tonalnej w którym możliwe jest zarejestrowanie szczegółów zarówno w mocno oświetlonych miejscach obrazu jak i w jego głębokich cieniach. W fotografii uzyskiwany za pomocą wykorzystania techniki bracketingu ekspozycji oraz połączenia kilku obrazów o różnej ekspozycji w jeden o szerokiej rozpiętości tonalnej.*
ISO	*parametr, określający wrażliwość matrycy lub filmu na światło znormalizowany przez ISO (International Organization for Standardization). Wyrażony skalą liniową, co oznacza, że dwukrotnemu zwiększeniu czułości w aparacie odpowiada dwa razy większa wartość ISO. Wartością podstawową w skali ISO uznaje się wartość równą 100,*

	która umożliwia prawidłowe naświetlenie zdjęcia przy natężeniu światła 0,1 luksa padającego na przetwornik w czasie jednej sekundy.
JPG	*(ang. Joint Photographic Experts Group) algorytm stratnej kompresji grafiki rastrowej, wykorzystany w formacie plików graficznych o tej samej nazwie.*
Kąt widzenia	*Fotografia - jest to kąt zawarty pomiędzy najbardziej skrajnymi promieniami światła dostającymi się do aparatu, które są rejestrowane przez materiał światłoczuły. Kąt widzenia aparatu zależny jest od parametrów takich jak ogniskowa obiektywu oraz wielkość użytego w nim materiału światłoczułego.*
Keypoint	*Punkt kluczowy (Agisoft photoscan) wskazywany na obrazach dwuwymiarowych. Punkt kluczowy widoczny jest na więcej niż dwóch fotografiach wykorzystanych do zdefiniowania ich położenia w przestrzeni trójwymiarowej. W celu utworzenia dobrej jakości chmury punktów na podstawie punktów kluczowych wskazanych na fotografiach niezbędne jest użycie od kilkunastu do kilkudziesięciu fotografii z odpowiednią ilością punktów kluczowych na nich widocznych.*
Klaster	*Klaster (z ang. cluster) to zgrupowanie przestrzenne lub powiązanie systemowe mniejszych obiektów w jeden większy. W przypadku skaningu laserowego grupa skanów połączonych (zarejestrowanych) ze sobą.*
Leica	*Producent skanerów laserowych optycznych oraz dalmierzy laserowych.*
Laser	*(ang.) Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation - urządzenie emitujące promieniowanie elektromagnetyczne z zakresu światła widzialnego, ultrafioletu lub podczerwieni, wykorzystujące zjawisko emisji wymuszonej. wzmocnienie światła poprzez wymuszoną emisję promieniowania. Intensywne, spójne monochromatyczne światło używane w skaningu laserowym, obrazach zakresowych i świetle strukturalnym.*

LiDAR	*System skanowania powierzchniowego w oparciu o odbicie wiązki laserowej od modelowanej powierzchni. Najczęściej wykorzystywana w systemach opartych o statki powietrzne. Uzyskane z wykorzystaniem technologii LiDAR cechują się monochromatycznością oraz częściową możliwością przenikania szaty roślinnej. Dzięki temu możliwe jest obrazowanie powierzchni gruntu w terenach pokrytych szatą roślinną.*
Metadane	*„dane o danych" zapis noszący ze sobą informacje na temat wytworzenia oraz edycji danych podstawowych. Najczęściej automatycznie osadzane w plikach cyfrowych generowanych przez urządzenie lub program tworzące dane podstawowe. W metadanych można znaleźć takie informację jak:* • *data i czas utworzenia pliku* • *adres lub położenie geograficzne miejsca utworzenia pliku* • *imię i nazwisko, nazwa firmy, nazwa komputera lub adres IP* • *nazwy wszystkich współtwórców dokumentu lub dodane komentarze* • *typ użytego aparatu i jego ustawienia podczas robienia zdjęcia* • *typ użytego urządzenia rejestrującego audio lub wideo i jego ustawienia podczas nagrywania* • *marka, model i operator smartfona itp.*
Meshlab	*oprogramowanie „open source" do przetwarzania i edytowania trójwymiarowych modeli 3D. Zawiera zestaw narzędzi do edycji, czyszczenia, naprawiania, sprawdzania, renderowania, teksturowania i przekształcania modeli. Posiada również funkcje umożliwiające przetwarzanie surowych danych generowanych przez narzędzia i urządzenia do skanowania i digitalizacji 3D oraz przygotowanie modeli do drukowania 3D.*
Model	*Odwzorowanie w pewnej skali mniejszych lub większych obiektów.*
Model 3D	*Cyfrowa, wirtualna makieta obiektu rzeczywistego lub kreowanego, odwzorowująca cechy fizykalne, ze szczególnym uwzględnieniem geometrii i koloru. Model 3D dzięki aplikacji komputerowej może być*

	oglądany z każdej ze stron, mierzony, poddawany symulacjom fizycznym etc[50]*.*
Ogniskowa	*wyrażana w milimetrach odległość pomiędzy ogniskiem układu optycznego, a punktem głównym układu optycznego.*
Ortofotomapa	*Sposób przedstawienia modelu 3D poprzez rzutowanie wszystkich z umiejscowionych w przestrzeni punktów modelu 3D na płaszczyzną prostopadłą punktu obserwacji. Wykorzystywana do tworzenia dwuwymiarowych planów modeli 3D np. modeli elewacji budynków, szkiców i planów kryminalistycznych itp..*
Piksel	*Najmniejsza jednorodna kolorystycznie jednostka obrazu wyświetlanego na ekranie, drukowanego lub uzyskana za pomocą urządzenia obrazującego takiego jak skaner, aparat fotograficzny, kamera itp.*
Przesłona	*Mechanizm znajdujący się w obiektywie aparatu fotograficznego lub kamery wideo pozwalający na regulację ilości światła wpadającego na materiał światłoczuły poprzez zawężanie lub rozszerzanie otworu przesłony. Dzięki możliwości regulacji otworu przesłony możliwy jest wpływ na głębię ostrości zgodnie z zasadą - Im większy otwór względny przysłony, tym mniejsza głębia ostrości*
Punkt referencyjny	*Inaczej „cel", „target" punk o znanej stałej lokalizacji w przestrzeni dzięki któremu możliwa jest rejestracja skanów, a w przypadku techniki SfM wyliczenie położenia punktów w przestrzeni kartezjańskiej X,Y,Z.*
RAW	*(z ang. Raw – surowy) negatyw cyfrowy, zapisujący obraz zapisu matrycy aparatu fotograficznego. W odróżnieniu od innych formatów nie podlega żadnej kompresji w związku z czym posiada o znacznie większą rozpiętość tonalną. Dzięki pracy na negatywach cyfrowych (RAW) możliwa jest wielokrotne „wywołanie" nieskutkujące kompresją obrazu, a co za tym idzie utratą części informacji zawartych w obrazie. Pliki*

[50] K. Maksymowicz, op. cit., s. 41..

	RAW pozwalają również na korekcję parametru balansu bieli bez ingerowania w plik[51].
Rejestracja skanu	*Złożenie jednostkowych skanów w jedną spójną chmurę punktów. Rejestracja może następować w sposób automatyczny w którym na podstawie automatycznego dopasowania elementów wspólnych występujących na dwóch skanach następuje ustalenie pozycji jednego do drugiego, lub w sposób manualny w którym operator wskazuje elementy wspólne dla obydwu skanów manualnie.*
Procesowanie skanu	*Wyliczenie realizowane przez oprogramowanie przeznaczone do łączenia i analizy danych uzyskanych z wykorzystaniem naziemnego skanera laserowego polegające na przemianie wymiarów kątowych na wymiary w układzie kartezjańskim, uporządkowaniu punktów na skanie oraz nadanie każdemu z punktów skanu wartości kolorystycznej na podstawie fotografii sferycznej.*
RGB	*Model przestrzeni barwowej opisany za pomocą współrzędnych RGB, którego nazwa powstała od pierwszych liter angielskich nazw kolorów które go definiują.* *R – red (czerwony)* *G – green (zielony)* *B – blue (niebieski)*
Rozdzielczość	*Poprzez pojęcie rozdzielczości skanu określa się zagęszczenie pomierzonych punktów na danym obszarze. Wraz ze wzrostem parametru rozdzielczości skanera wzrasta liczba danych uzyskanych w trakcie skanowania co ma duży wpływ na odwzorowanie szczegółów obiektu.*

[51] Por. Sekrety Cyfrowej Ciemni Scotta Kelby'ego. Edycja i obróbka zdjęć w programie Adobe Photoshop Lightroom, Helikon 2008.

Rzut izometryczny	*odwzorowanie przestrzeni trójwymiarowej na płaszczyznę, będące jednym z rodzajów rzutu równoległego. Istotą rzutu izometrycznego jest równa miara kątów (120°) między każdą parą osi, przez co skrócenie perspektywiczne każdej z osi jest takie samo.*
Rzut pionowy	*Rzut w którym płaszczyzna rzutowania jest pionowa (przedstawia powierzchnie boczne rzutowanych obiektów).*
Rzut poziomy	*Rzut w którym płaszczyzna rzutowania jest pozioma (rzutowane obiekty przedstawiane są z lotu ptaka)*[52]*.*
Sfera	*Element wykorzystywany jako obiekt referencyjny w postaci kuli o jednakowej średnicy umiejscawianej w przestrzeni skanowanego obiektu w taki sposób aby sfera widoczna była przez „skaner" z więcej niż jednej pozycji. Do poprawnej rejestracji dwóch skanów za pomocą sfer wymagane jest umiejscowienie co najmniej 3 sfer widocznych na obydwu skanach.*
SfM	*(ang. Structure from Motion) to technika obrazowania w zakresie fotogrametrycznym do szacowania struktur trójwymiarowych z dwuwymiarowych sekwencji obrazu.*
Siatka trójkątów	*Model wieloboczny wykorzystywany w grafice komputerowej. Punkty w chmurze łączone są liniami w trójkąty, które stykają się wierzchołkami i krawędziami obrazując geometrię obiektu. Model siatki trójkątów bardzo precyzyjnie pokazuje strukturę obiektu i daje wiele możliwości dalszej obróbki*[53]*.*
Skala	*ustalony stosunek zmniejszania się lub zwiększania rysunku, mapy, modelu w porównaniu z rozmiarami przedmiotu rzeczywistego.* *Wyrażona może zostać w postaci:*

[52] G. Kędzierska, W. Kędzierski red., *Kryminalistyka wybrane zagadnienia techniki*, Wyd. WSPol., Szczytno 2011, s. 419.
[53] http://www.smarttech.pl/slowniczek-pojec-skanowania-3d/siatka-trojkatow-mesh/

	Skali liczbowej – np. 1:100 *Skali mianowanej – np. 1 cm – 1km* *Podziałki liniowej – przedstawia odcinek na mapie który reprezentuje wskazana odległość w rzeczywistości.*
Skala szarości	*Tryb koloru w obrazach rastrowych w którym obraz reprezentowany jest poprzez kolor czarny, biały oraz całą gamę odcienia szarości.*
Skan 3D	*Dane zebrane w wyniku zastosowania urządzenia wykonującego skanowanie 3D. W zależności od etapu jak również potrzeb pomiarowych jako skan 3D określany jest pomiar wykonany z jednego cyklu pomiarowego lub przetworzone i zarejestrowane w jedną spójną całość pomiary z wielu cykli pomiarowych.*
Skaner 3D	*Skaner 3D jest urządzeniem, które analizuje obiekt lub otoczenie świata rzeczywistego w celu zgromadzenia danych na temat jego kształtu, oraz jego wyglądu. Zebrane dane mogą być następnie wykorzystane do skonstruowania cyfrowych trójwymiarowych modeli.*
Skaner laserowy	*Urządzenie pomiarowe wykorzystujące bezdotykową metodę pomiaru obiektów fizycznych. Dziejące na zasadzie wielokrotnego wysyłania wiązki lasera oraz wyznaczania na tej podstawie położenia mierzonego punktu w przestrzeni kartezjańskiej poprzez wyliczenie odległości (czas przelotu lasera do punktu i z powrotem) i danych położenia kątowego.*
Skaner optyczny	*Skanery 3D działające na zasadzie analizy światła emitowanego rzuconego na mierzony obiekt (np. skaner światła strukturalnego) lub analizy światła zastanego poprzez wyznaczenie punktów kluczowych i wyliczenie ich położenia w przestrzeni.*
****.STL***	*Format modelu płaszczyznowego najczęściej utworzony poprzez połączenie punktów pomiarowych (chmury punktów) w siatkę trójkątów.*

Tekstura	*Składnik grafiki komputerowej w której przechowywane są informacje na temat wartości koloru w poszczególnych elementach modelu. Dzięki zastosowania tekstury modele uzyskują fotorealistyczny wygląd. Tekstura najczęściej zapisywana jest w postaci dwuwymiarowych plików graficznych w którym rozkład kolorów trójwymiarowego modelu rozciągnięty jest na płaszczyznę 2D z użyciem algorytmu charakterystycznego dla użytkowanego programu.*
Teodolit	*Instrument geodezyjny służący do wyznaczania kątów pionowych i poziomych.*
TIFF	*(ang. Tagged Image File Format) format graficznych plików komputerowych, służących do zapisu dwuwymiarowej grafiki rastrowej. Dzięki zastosowania bezstratnej kompresji danych zawartych w plikach graficznych zapisanych w formacie TIFF wykorzystywany w grafice komputerowej, fotografii oraz branży wydawniczej.*
TLS	*(ang. TLS – Terrestrial Laser Scanning) Naziemny skaning laserowy*
Tof	*(ang. Time of flight) metoda dokonywania pomiaru za*
Total station	*Instrument geodezyjny służący do wyznaczania kątów pionowych, poziomych oraz odległości liniowej od mierzonego punktu.*
Triangulacja	*Metoda określania usytuowania punktów w oparciu o ich odległość os co najmniej*
Układ kartezjański	*Układ współrzędnych wprowadzony w traktacie La Geometrie przez francuskiego filozofa i matematyka Rene Descartes (Kartezjusz). Jest układ prostoliniowych, prostopadłych względem siebie osi X, Y, Z. Lokalizacja punktu w przestrzeni określana jest poprzez określenie wartości dla każdej z osi.* • *X - historyczna nazwa odcięta, łac. abscissa,* • *Y - historyczna nazwa rzędna, łac. Ordynata,*

- *Z* - historyczna nazwa kota, łac. *applicata*.

Układ współrzędnych	*Sposób przedstawienia położenia punktów w przestrzeni. Spośród najpopularniejszych można wyróżnić układy:* • *Kartezjański;* • *Biegunowy;* • *Walcowy;* • *Sferyczny;* • *Geograficzny;* • *Geodezyjny.*
Wektor normalny	*Wektor prostopadły do płaszczyzny, lub w wypadku innych powierzchni prostopadły do płaszczyzny stycznej do powierzchni w danym punkcie. Pojęcie to używane jest w matematyce, fizyce, biologii molekularnej, grafice 3D. W modelowaniu 3D element niezbędny do prawidłowego utworzenia powierzchni z chmury punktów. Kierunek wektora normalnego generuje postrzeganie powierzchni jako przedniej lub tylnej.*
Widok ortograficzny	*Widok w którym obiekty i ich wymiary nie zmieniają się niezależnie od tego, jak daleko znajdują się od punktu obserwacji. Ten typ reprezentacji jest powszechny w wielu systemach CAD.*
Widok Perspektywiczny	*jest widokiem, który odwzorowuje sposób postrzegania przez oko. Równoległe linie zbiegają się w odległym wyimaginowanym punkcie. Podczas obserwacji przestrzeni 3D w widoku perspektywicznym elementy znajdujące się w większej odległości od punktu obserwacji wydają się być mniejsze niż są w rzeczywistości.*
Zagęszczona chmura punktów (dense point cloud)	*(agisoft photoscan) Chmura punktów powstała w wyniku przeliczeń wykonanych po pierwszym zgrubnym oznaczeniu punktów kluczowych w przestrzeni. Wyliczenie zagęszczonej chmury punktów następuje na*

	podstawie stereograficznych obrazów po określeniu parametrów detektora w pierwszym etapie przeliczeń.
Balans bieli	*W fotografii parametr wyrażony w stopniach Kelvina pozwalający na postrzeganie koloru białego w sposób prawidłowy niezależnie od użytego do oświetlenia rejestrowanego kadru źródła światła.*
Wzorzec koloru	*wzorniki kolorów wykorzystywane w fotografii do profilowania (określania charakterystyki kolorystycznej), standaryzacji reprodukcji i balansu bieli. W dysertacji opracowane wzorce koloru zawarte na skalówce na potrzeby rzeczywistego zobrazowania kolorów na wykonywanych chmurach punktów oraz modelach 3d.*

3) Structure from Motion (SFM)

Technikę Structure from Motion (SFM) zdefiniować można jako technikę uzyskiwania modelu trójwymiarowego reprezentowanego przez chmurę punktów umieszczonych w przestrzeni w układzie XYZ poprzez automatyczne przeliczenia punktów charakterystycznych występujących na sekwencji fotografii (obrazów dwuwymiarowych) wizualizowanego przedmiotu, wykonanych z różnej wysokość i pod różnym kątem.

Zasada wykonywania pomiarów za pomocą SFM jest podobna do metody stereofotogrametrycznej w której za pomocą detektora (aparatu fotograficznego) o znanych parametrach odwzorowania optycznego wykonuje się co najmniej dwie fotografie[54]. Na wykonanych przez detektor fotografiach dzięki kalibracji oraz znanych parametrach optycznych wyznaczane jest rozmieszczenie punktów charakterystycznych, a dzięki przekształceniom geometrycznym pozycji detektora na poszczególnych fotografiach wyznaczane jest ich położenie w przestrzeni XYZ[55]. Zastosowanie stereofotogrametrii wymaga zastosowania specjalnie skonstruowanych urządzeń, a w związku niemożliwością

[54] Por. J. Bełkowski, *Fotogrametria w kryminalistyce,* Problemy Kryminalistyki 44-45/63, s. 547 i nast. a także M.B. Piasecki, *Fotogrametria lotnicza i naziemna,* Wyd. PPWK, Warszawa 1958.
[55] Por. D. Gonzalez-Aguilera, J. Gomez-Lahoz, *Forensic Terrestrial Photogrammetry from a Single Image,* Journal of Forensic Sciences, listopad 2009, Vol. 54 No. 6, s. 1376 i nast.

zautomatyzowania metody konieczne staje się użytkowanie jej przez wykwalifikowaną obsługę.

Wprowadzenie metody SFM znacznie ułatwiło modelowanie 3D fotografowanych obiektów. Po pierwsze do uzyskania modelu 3D nie potrzeba zastosować urządzeń, które wymagają kalibracji oraz specjalnej konstrukcji. Do wykonania zdjęć z których przeliczany będzie model wykorzystujemy standardowy aparat fotograficzny bez konieczności jakichkolwiek przeróbek. Tak jak w każdej metodzie obliczeniowej wprowadzenie kiepskiej jakości danych obliczeniowych powoduje brak możliwości uzyskania prawidłowego lub akceptowalnego wyniku tak i w przypadku techniki SFM wprowadzenie do obliczeń fotografii niskiej jakości lub takich, które nie zostały wykonane zgodnie ze sztuką fotografii, może spowodować błędy w przeliczeniu, a co za tym idzie nieprawidłowe złożenie modelu. W związku z tym zaleca się zastosowanie lustrzanek cyfrowych wysokiej klasy, w miarę możliwości z obiektywami stało ogniskowymi o wysokich parametrach optycznych.

Po drugie proces analizy i przeliczania serii fotografii na model 3D za pomocą techniki SFM jest w pełni zautomatyzowany co eliminuje potrzebę wykorzystania do jego przeprowadzenia wykwalifikowanej w tym zakresie kadry. Obsługa oprogramowania do tworzenia modelu 3D za pomocą techniki SFM ogranicza się do kilku czynności takich jak:

- Wprowadzenie danych w postaci wykonanych fotografii do programu.
- Rozpoczęcie przeliczeń czego wynikiem końcowym jest utworzenie zgrubnej chmury punktów.
- Analiza zgrubnej chmury punktów pod kątem poprawności złożenia modelu.
- Fakultatywne wyczyszczenie szumów obliczeniowych modelu zgrubnego.
- Rozpoczęcie przeliczeń chmury zagęszczonej (dense cloud), w rezultacie czego otrzymujemy wynik końcowy modelowania w postaci zagęszczonej chmury punktów.

Co do zasady proces wytworzenia modelu 3D za pomocą techniki SFM można podzielić na podstawowe etapy:

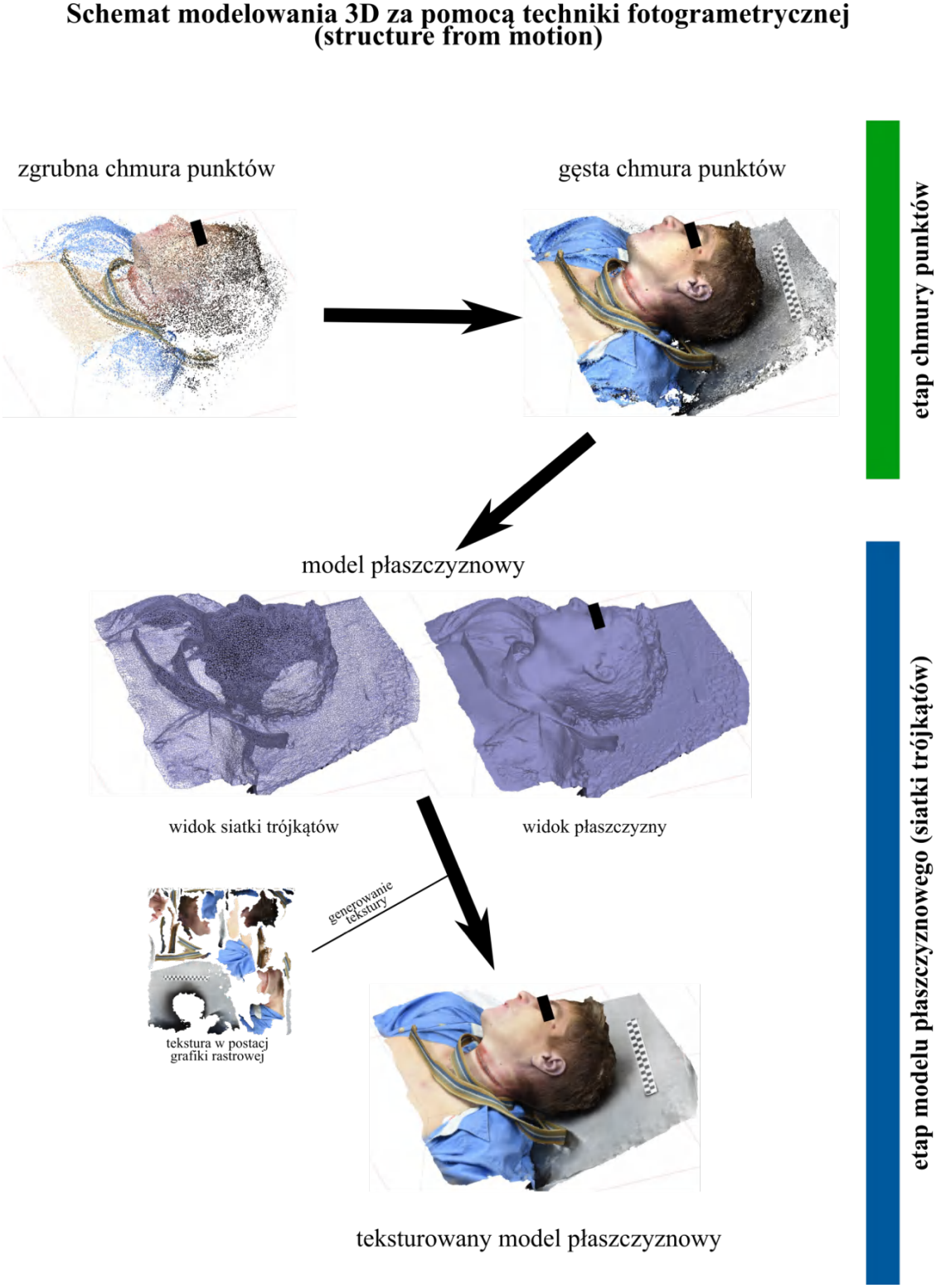
- W etapie pierwszym po zaimportowaniu wykonanych fotografii modelowanego przedmiotu do programu oraz rozpoczęciu procesów przeliczeniowych, komputer dokonuje wykrycia i zdefiniowania punktów charakterystycznych wskazując ich rozlokowanie na wszystkich wykorzystywanych do przeliczeń fotografiach. Na tej podstawie program określa lokalizację wykonanych zdjęć, kąty oraz parametry

optyczne wykorzystanego detektora w postaci aparatu fotograficznego. To między innymi dzięki temu etapowi obliczeń możliwe jest zastosowanie nieskalibrowanych detektorów, gdyż duża liczba obrazów oraz wyznaczanych na nich punktów charakterystycznych, jak również dane zawarte w plikach informacyjnych fotografii (EXIF) pozwalają na precyzyjne określenie pozycji oraz kąta osi optycznej aparatu, które to są niezbędne do wykonania dalszych obliczeń fotogrametrycznych.

- Drugim etapem tworzenia modelu za pomocą techniki SFM jest zlokalizowanie punktów charakterystycznych wskazanych wcześniej na fotografiach w jednakowym dla wszystkich przeliczanych obrazów układzie współrzędnych XYZ. Dzięki temu przeliczeniu uzyskujemy wizualizację modelowanego przedmiotu w postaci uproszczonej chmury punktów w układzie XYZ, w której każdy widoczny punkt umiejscowiony w przestrzeni reprezentuje punkt charakterystyczny wykryty i zdefiniowany na fotografii w pierwszym etapie przeliczenia. W zależności od typu wykonanego procesu w drugim etapie punkty umiejscowione w przestrzeni mogą być przedstawione za pomocą jednolitej barwy lub każdemu z nich może zostać przypisana barwa. Kolor przypisany dla każdego z punktów opinany jest w przestrzeni barwowej RGB (red-green-bluo) lub w innej palecie którą obsługuje program takiej jak CMYK (cyjan - magneta – yellow – karmazyn). Barwa reprezentująca punkt odczytywana jest z pojedynczych pikseli wskazanych na fotografiach jako punkty charakterystyczne.
- Trzeci etap to tworzenie zagęszczonej chmury punktów (Dense Cloud). Etap ten jest najdłuższy i w zależności od ilości przeliczanych fotografii oraz zadanej przez operatora dokładności trwa od kilkunastu minut nawet do kilkunastu godzin. Długi czas operacji generuje konieczność przed jej rozpoczęciem weryfikacji zgrubnej chmury punktów pod względem poprawności geometrii oraz wizualizacji modelowanego obiektu. W przypadku niepoprawnego zgrubnego złożenia należy ponownie przeprowadzić etap pierwszy i drugi aż do uzyskania rzeczywistego wyglądu modelowanego obiektu. W przypadku niedokonania powtórnie poprzednich etapów program dokona wyliczeń na podstawie błędnie określonych pozycji oraz parametrów detektora co spowoduje wygenerowanie niepoprawnego modelu zagęszczonego, na którym mogą występować artefakty takie jak „duchy” czy wielokrotne przedstawienie obiektów. W etapie tym następuje nadbudowanie zgrubnej chmury punktów o dodatkowe punkty umiejscowione o najbliższej okolicy punktów

charakterystycznych określonych na etapie tworzenia zgrubnej chmury punktów. Proces ten można indywidualizować określając parametry jakości uzyskanej chmury punktów. W przypadku wprowadzenia niskich parametrów proces ten może potrwać tylko kilka minut. Jednak rezultaty uzyskane z parametrami dobranymi w ten sposób mogą być niewystarczające. Wraz ze wzrostem jakości dobranych parametrów rośnie również gęstość uzyskanej chmury punktów, w związku z tym wzrasta możliwość wykorzystania chmury podczas analiz kryminalistycznych. Ponadto wraz ze wzrostem parametrów jakości wzrasta czas potrzebny do wyliczenia położenia punktów w przestrzeni. Proces taki potrafi zająć nawet kilkanaście godzin.

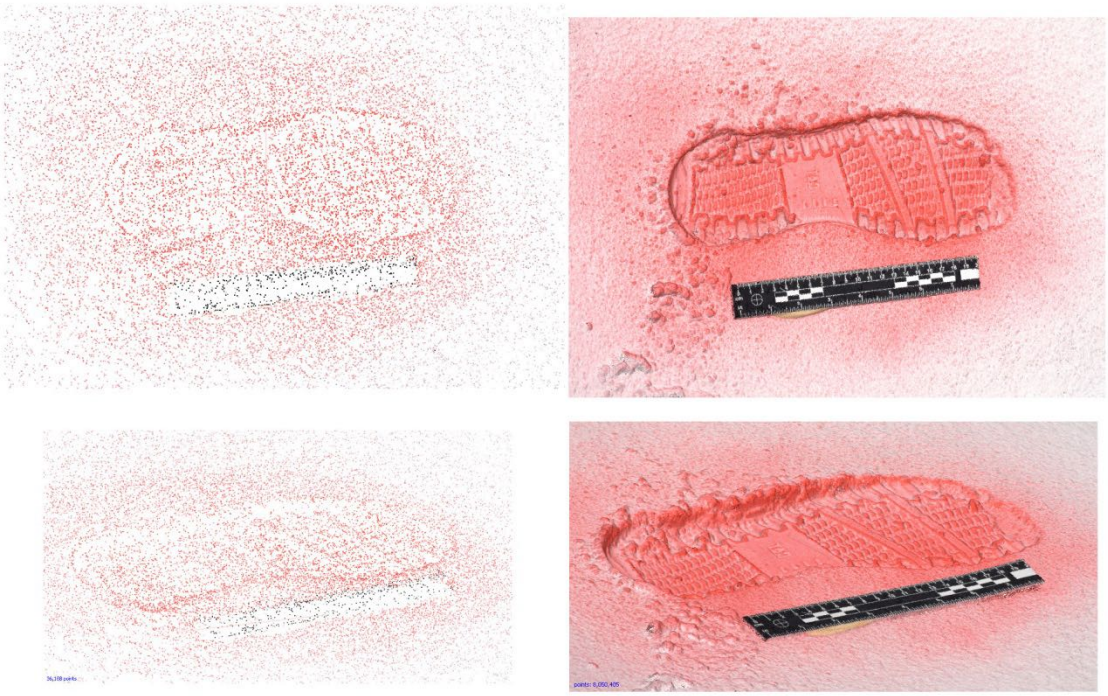
Po dokonaniu obliczenia ostatecznej chmury punktów fotogrametryczna metoda uzyskiwania modelu 3D jaką jest SFM pozwala na połączeniu punktów ulokowanych w układzie współrzędnych w siatkę trójkątów odwzorowującą geometrię powierzchni obrazowanego przedmiotu. Efekt tego procesu nie powinien być wykorzystywany do dokonywania pomiarów na potrzeby analiz kryminalistycznych, gdyż wytworzenie powierzchni poprzez połączenie chmury punktów w siatkę trójkątów powoduje pewne uogólnienia. Uogólnienia te mogą spowodować sytuację, w której wykonujemy pomiar nie pomiędzy pomierzonymi i umieszczonymi punktami w przestrzeni XYZ, a pomiędzy płaszczyznami nie będącymi bezpośrednim wynikiem pomiarów i przemian fotogrametrycznych. Siatka trójkątów znajduje jednak zastosowanie do wizualizowania śladów lub miejsc za jej pomocą. Dzięki stworzeniu płaszczyzny oraz „naciągnięciu" na nią skóry w postaci tekstury wytworzonej z fotografii użytych do wykonania modelu uzyskujemy realistyczny obraz w doskonały sposób wizualizujący modelowany obiekt. Tekstura pochodząca z fotografii powoduje, że model jest wygładzony oraz foto realistyczny, jednak należy pamiętać, że stanowi on pewne uogólnienie. Zastosowanie teksturowanych modeli celowe jest do rejestrowania wizerunku zwłok, obrażeń oraz ukazania wyglądu przedmiotów mogących zmieniać się wraz z upływem czasu.



Ryc. Nr 16 – Porównanie chmury zgrubnej, chmury gęstej i modelu teksturowanego.

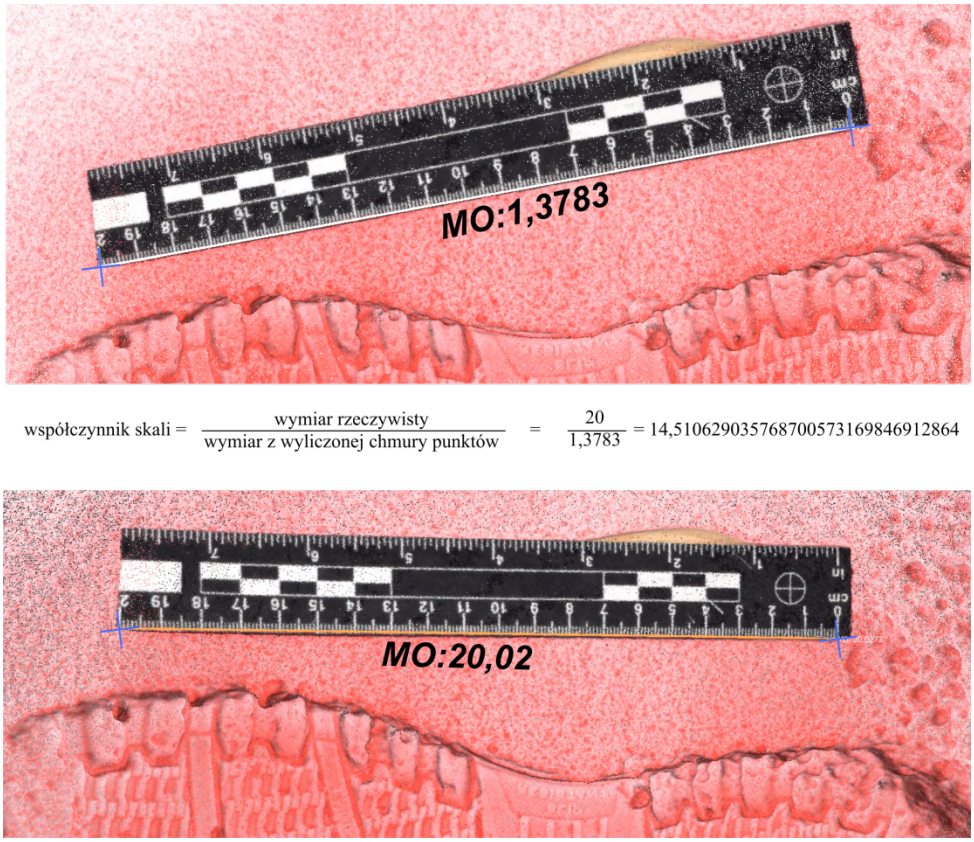
Rzeczą, na która trzeba zwrócić szczególna uwagę podczas rekonstruowania obiektów za pomocą techniki Structure from Motion jest fakt, że co do zasady metoda ta rekonstruuje geometrię danego przedmiotu. Oznacza to, że wymiary przedmiotu uzyskane po samym

przeliczeniu chmury punktów będą nie odpowiadały wymiarom faktycznym. Konieczne jest zatem zastosowanie elementów wzorcowych już na etapie wykonywania materiału fotograficznego lub filmowego, które to pozwolą na etapie obróbki końcowej przeskalować chmurę punktów do wymiarów rzeczywistych. Zastosowanie w tym przypadku znajduje skalówka kryminalistyczna (małe obiekty), łata geodezyjna (średnie obiekty), a przy obiektach wielko powierzchniowych pomiary punktów charakterystycznych za pomocą urządzeń geodezyjnych takich jak tachimetr lub precyzyjny odbiornik GPS.



Ryc. Nr 17 - Ułożenie przymiaru na wykonanym modelu 3D.

Zasadą wyboru odpowiedniego przymiaru do wielkości modelowanego obiektu jest to, że dobieramy przymiar większy od obiektu lub zbliżony do niego. Pozwala to na zniwelowanie błędu pomiarowego występującego podczas skalowania. Samo skalowanie obiektu polega na wskazaniu na wytworzonej już chmurze punktów dwóch punktów i zdefiniowanie odległości w jakiej od siebie one się znajdują w rzeczywistości. Następuje to poprzez wyliczenie współczynnika proporcji. Aby uzyskać współczynnik skali należy podzielić wymiar rzeczywisty przez wymiar uzyskany na chmurze punktów uzyskanej poprzez przekształcenia fotogrametryczne. Następnie należy przemnożyć rozmiar obiektu przez wyliczony współczynnik proporcji. W ten sposób uzyskujemy model 3D którego zarówno wymiary jak i geometria odpowiadają rzeczywistości.



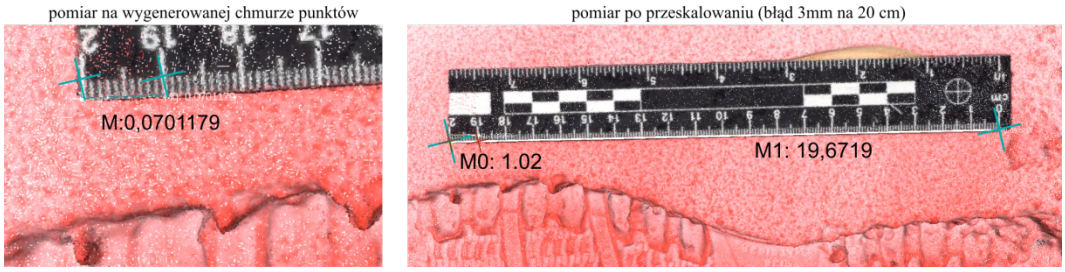
Ryc. Nr 18 – Prawidłowe przeliczenie współczynnika proporcji

Niestety proces ten w wypadku zastosowanie większości programów fotogrametrycznych pozwalających na rekonstrukcje 3D techniką SFM jest manualny. Oznacza to, że pomiary oraz wyliczenia współczynnika proporcji wykonywane są nie przez komputer, lecz przez człowieka. Powoduje to możliwość wprowadzenia do rekonstrukcji znacznego błędu pomiarowego. Powodami wprowadzenia błędu pomiarowego może być:

- **Zastosowanie zbyt małego wzorca wielkości, które to po wyliczeniu współczynnika proporcji i zastosowaniu skalowania zwielokrotnia manualny błąd pomiarowy pomiędzy punktami chmury punktów.**

  Zastosowanie wzorca o wielkości większej w stosunku do modelowanego obiektu pozwala na pomniejszenie błędu pomiaru manualnego w stosunku odpowiednim do pomiaru wykonywanego na przeskalowanym obiekcie na przykład: przy przeskalowaniu opartym na pomiarze 1 cm przy uzyskanym błędzie pomiarowym w granicach 0,5 mm pomiar o wielkości 10 cm obarczony będzie zwielokrotnionym dziesięciokrotnie błędem pomiarowym tj. ok 5mm. W sytuacji odwrotnej, gdzie pomiar manualny został wykonany na przestrzeni 20 cm z błędem pomiaru w granicach 0,5

mm, pomiar o wielkości 10 cm błąd pomiarowy ulegnie pomniejszeniu proporcjonalnie w stosunku do pomiaru początkowego (tj. połowa długości) co da nam błąd pomiarowy w granicach 0,25 mm.



Ryc. Nr 19 – Błędne przeliczenie współczynnika proporcji

- **Zastosowanie podczas wykonywania filmów lub fotografii na potrzeby modelowania techniką SFM pomiarów giętkich takich jak taśmy miernicze.**

  Zastosowanie takiego typu wzorców wielkości powoduje sytuacje, w której podczas próby przeskalowani uzyskanej poprzez przemiany fotogrametryczne chmury punktów utrudnione jest a niektórych sytuacjach wręcz niemożliwe odczytanie prawidłowej wartości wzorca. Pomiary dokonywane na potrzeby przeskalowania zawsze są pomiarami prostoliniowymi, co znaczy, że pomiar dokonywany jest poprzez wyznaczenie pomiędzy mierzonymi punktami linii prostej i dokonanie pomiaru jej długości. W przypadku, w którym wzorzec wielkości w obrazowanym otoczeniu przebiega nie w linii prostej (wisząca taśma tworząca łuk, taśma leżąca na nierównym podłożu, wygięta skalówka) niemożliwe jest odczytanie prawidłowej wartości pomiaru liniowego. Powoduje to uzyskanie dużych błędów pomiaru, a co za tym idzie błędne przeskalowanie modelowanego obiektu.

- **Nieprecyzyjne wykonanie pomiaru wstępnego na wygenerowanej chmurze punktów.**

  O ile dwie pierwsze przyczyny błędu skalowania powstają już na etapie wykonywania obrazów za potrzeby modelowania, „niechlujność” pomiaru występuje już na etapie obróbki uzyskanej chmury punktów. Błąd ten jednak powoduje kolejne w postaci błędnego wyliczenia współczynnika proporcji oraz przeskalowania z jego zastosowaniem. Jest on jednak możliwy do poprawy na etapie pracy z wytworzonym modelem poprzez dokonanie pomiarów kontrolnych i ponowne przeskalowanie modelu.

Po poprawnym przeskalowaniu uzyskanej chmury punktów otrzymujemy obraz końcowy który może być wykorzystywany w celu wnioskowania i wykonywania analiz kryminalistycznych oraz stanowi precyzyjny materiał poglądowy umożliwiający w sposób foto - realistyczny przedstawienie miejsca zdarzenia oraz poszczególnych przedmiotów na nim zabezpieczonych w postępowaniu przygotowawczym i sądowym.

3.1) Zasady wykonywania obrazów dwuwymiarowych na potrzeby modelowania techniką SFM.

3.1.1) Zasady ogólne

Fotogrametryczna technika modelowania 3D Structure from Motion wydaje się być techniką, którą stosunkowo łatwo jest implementować do pracy organów ścigania. Wiąże to się z faktem, iż na miejscu zdarzenia nie wykonywane są czynności wpływające na standardowy, powszechnie stosowany schemat wykonywania czynności oględzinowych. Filmowanie oraz fotografowanie miejsca zdarzenia oraz śladów na nim się znajdujących należy uznać jako element weń się wpisujący, bez którego trudno wyobrazić sobie większość z obecnie wykonywanych czynności na miejscu zdarzenia[56]. Zmiany, a właściwie uzupełnienia wymaga jedynie sposób wykonywania części z filmów i fotografii. Świadomość technika, że materiały z miejsca zdarzenia będzie wykorzystany na potrzeby rekonstrukcji 3D pozwoli mu na wykonanie dodatkowych fotografii zgodnie z „potrzebami" techniki Structure form Motion.

Technika modelowania opisana powyżej nie jest techniką wymagającą specjalistycznej wiedzy od osób wykonujących materiał na jej potrzeby. Technik wykonujący obrazy dwuwymiarowe powinien jednak wykonać je w sposób najbardziej precyzyjny, czyli taki który pozwoli ekspertowi wykonującemu rekonstrukcję na rzeczywiste zrekonstruowanie wyglądu, wymiarów i oraz geometrii obrazowanego miejsca lub obiektu. W tym celu konieczne jest wypracowanej jednolitej metodyki przeznaczonej dla funkcjonariuszy organów ścigania pozwalającej na zapewnienie jakości wykonywanych rekonstrukcji.

Elementami istotnymi podczas wykonywania obrazowania dwuwymiarowego na potrzeby SFM są:

[56] Por. E. Gruza, *Oględziny śledcze miejsca zdarzenia w praktyce procesowej,* Problemy Współczesnej Kryminalistyki. Tom I, Warszawa 1996, s. 123, a także R. Zelwiański, *Film w polskiej praktyce śledczo – sądowej,* Problemy Kryminalistyki 44-45/63, s. 521 i nast.

- Głębia ostrości;
- Ilość oraz kąty wykonywanych zdjęć;
- Wzorzec wielkości;
- Oświetlenie;

3.1.2) Głębia ostrości

Słownik języka polskiego określa głębię ostrości jako przedział odległości obejmujący obiekty odwzorowywane ostro na obrazie fotograficznym. Parametr ten jest niezwykle ważny podczas wykonywania fotografii na potrzeby modelowania 3D. Tak jak zostało to opisane, program fotogrametryczny potrzebuje do dokonania obliczenia pozycji oraz kąta sensora (aparatu fotograficznego lub kamery) punktów charakterystycznych tożsamych dla co najmniej dwóch obrazów. Aby je znaleźć program analizuje poddany obróbce materiał fotograficzny. W wypadku zastosowania „płytkiej" głębi ostrości w obrazach pozbawiamy się możliwości znalezienia takich punktów w obszarach znajdujących się poza głębią ostrości. Sytuacja taka w znacznym stopniu ogranicza nam możliwość wykonania rekonstrukcji. Ponadto należy pamiętać, że w wypadku tworzenia, a następnie teksturowania modelowanego obiekty, „skóra" którą naciągamy na model płaszczyznowy generowana jest z fotografii. Generowanie tekstury z fotografii o małym zakresie głębi ostrości mogą zatem powodować, że jej fragmenty będą „rozmydlone", nie niosące ze sobą możliwości poglądowych.

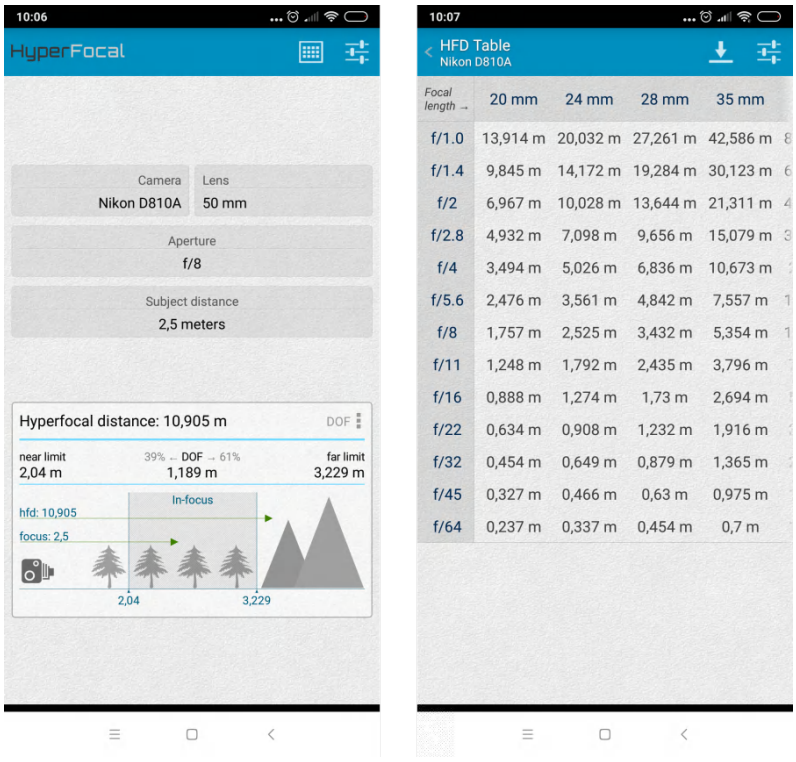


Ryc. Nr 20 – Po lewej widoczny model teksturowany z widocznym na czole rozmydleniem, po prawej „ostra" tekstura z widocznymi otarciami naskórka oraz pękniętymi naczyniami krwionośnymi w obrębie bruzdy wisielczej.

W celu poprawnego wykonania sekwencji fotografii lub materiału wideo należy pamiętać o trzech elementach wpływających na głębię ostrości:

- Ogniskowej obiektywu (wraz ze wzrostem ogniskowej zakres głębi ostrości ulega zwężeniu)
- Odległości aparatu od obrazowanego przedmiotu (im odległość przedmiotowa mniejsza tym mniejszy zakres głębi ostrości)
- Wartości przysłony (im wartość przesłony F większa tym większy zakres uzyskanej na obrazie głębi ostrości)

Zwrócić uwagę należy również na odległości hiperfokalną, czyli odległość na którą należy oddalić aparat od fotografowanego obiektu przy zadanych parametrach przesłony, wielkości sensora oraz ogniskowej obiektywu, aby uzyskać maksymalną głębię ostrości. Wyliczenia odległości hiperfokalnej oraz odwrócenie tych wyliczeń i uzyskanie przysłony niezbędnej do zastosowania z fotografowanej odległości w chwili obecnej dzięki wielu aplikacjom dostępnym dla telefonów komórkowych, nie wymaga pamiętania wzorów oraz dokonywania manualnych przeliczeń na miejscu zdarzenia. Zastosowanie ich w znacznym stopniu wpływa na jakość fotografii wykonanych na miejscu zdarzenia, a co za tym idzie jakość rekonstrukcji 3D.



Ryc. Nr 21 – Zrzuty ekranowe aplikacji służącej do wyliczania odległości hiperfokalnej.

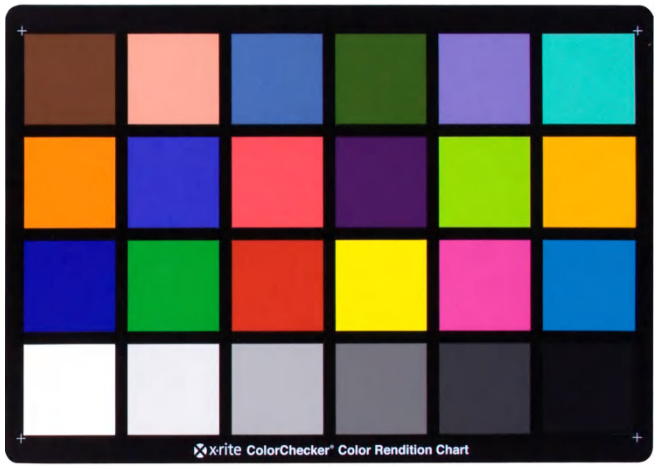
3.1.3) Przymiar

Przymiary w fotografii kryminalistycznej stosowane są już od czasów A. Bertillona. Tak jak i wtedy tak również i w dzisiejszych czasach pozwala to nam na ukazanie wielkości i rozmiarów obrazowanej przestrzeni. Przymiar jako wzorzec wielkości podczas wykonywania obrazowania dwuwymiarowego na potrzeby modelowani 3D pełni tą samą rolę. Ponadto pozwala na przeskalowanie modelowanego obiektu do wymiarów rzeczywistych. Zasada stosowania przymiarów (wzorca wielkości) jest identyczna w przypadku wykonywania powszechnie stosowanej fotografii kryminalistycznej jak również podczas wykonywania fotografii czy filmu na potrzeby modelowania fotogrametrycznego. Przymiar powinien charakteryzować się odpowiednią wielkością w stosunku do obrazowanego przedmiotu. I tak jak w przypadku fotografii szczegółowej ukazującej samochód osobowy niewłaściwe jest zastosowanie skalówki o długości 30 cm, skalówka taka nie jest wystarczająca podczas obrazowania na potrzeby modelowania 3D. W wypadku stosowania przymiarów na potrzeby modelowania 3D konieczne jest jednak, aby wymiar był prostolinijny i możliwe jest dokonania precyzyjnego pomiaru pomiędzy dwoma punktami. Podczas wykonywania fotografii i filmów na potrzeby techniki SFM warunkiem koniecznym jest zlokalizowanie wzorca wielkości w jednym miejscu i nieprzemieszczanie w czasie wykonywania całej sekwencji obrazowania. Przemieszczenie go spowodować może błędne określenie punktów charakterystycznych co uniemożliwić może wygenerowanie chmury punktów. W wypadku obrazowania 3D obszarów wielkopowierzchniowych na przykład z zastosowaniem fotografii wykonanych za pomocą bezzałogowych statków powietrznych za wzorzec wielkości możemy użyć pomiaru dokonanego za pomocą urządzeń geodezyjnych takich jak tachimetr. Należy w tym wypadku pamiętać, aby punkty pomiędzy którymi dokonano pomiarów oznaczyć w taki sposób, aby widoczne one były na fotografiach wykonanych z powietrza, a ich punkt centralny od którego dokonany został pomiar oznaczony w sposób pozwalający na ich precyzyjne zlokalizowanie.

3.1.4) Oświetlenie

Wpływ oświetlenia obszaru lub obiektu obrazowanego na potrzeby rekonstrukcji 3D jest bardzo duży i oddziałuje na kilka aspektów procesu modelowania. Po pierwsze zmiana kąta padania oświetlenia, natężenia oraz jego temperatury barwowej podczas wykonywania sekwencji obrazów może spowodować błędy na etapie lokalizacji punktów charakterystycznych na obrazach, co może się przełożyć na niezidentyfikowanie ich odpowiedniej ilości. Fakt ten spowodować może uniemożliwienie wygenerowania chmury

punktów reprezentujących geometrię modelowanego obiektu. Ponadto nierównomierne oświetlenie sceny, w której występować będą obszary w głębokich cieniach lub obiekty prześwietlone powoduje brak możliwości odwzorowania ich ułożenia w układzie współrzędnych XYZ. Równomierne oświetlenie uzupełnić można o wzornik koloru, który układamy w pobliżu modelowanego przedmiotu w taki sposób, aby był on widoczny na rejestrowanych obrazach. Dzięki takiemu rozwiązaniu w przypadku rejestrowania surowego obrazu w postaci plików RAW możliwe jest bezstratne, półautomatyczne dopasowanie poprawnej temperatury barwowej, jak również rozpiętości tonalnej, na której wszystkie poziomy szarości będą możliwe do odczytania.



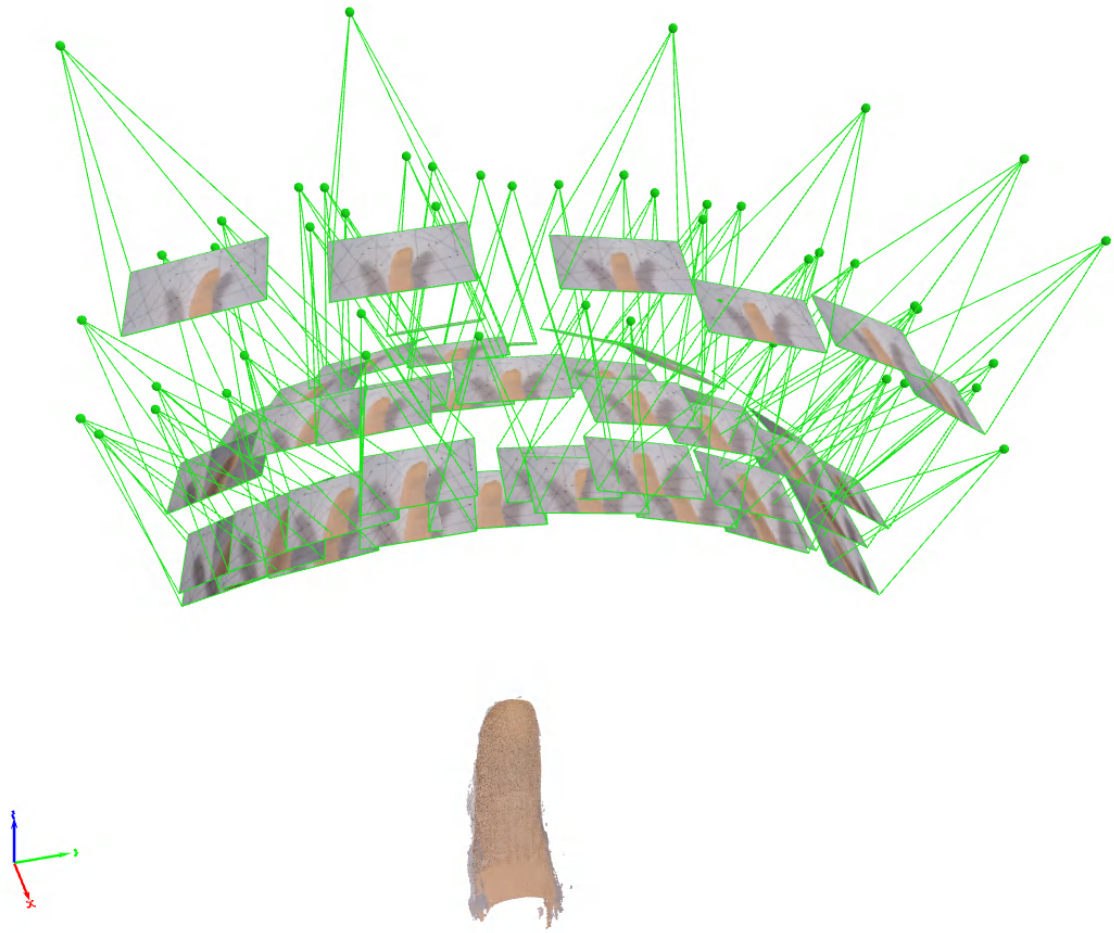
Ryc. Nr 22 – Wzornik kolorów.

Bardzo istotne z faktu wykonywania fotografii na potrzeby fotogrametrii jest to, aby nie zmieniać oświetlenia przedmiotu z czasie wykonywania sekwencji fotografii. Wyklucza to zastosowanie wbudowanej lampy błyskowej lub lampy mocowanej bezpośrednio na aparacie. Dobre rezultaty osiągane są z wykorzystaniem oświetlenia rozproszonego uzyskanego dzięki zastosowaniu namiotów bezcieniowych, softboksów oraz parasolek fotograficznych.

3.1.5) Kąty

Aby możliwe było określenie punktu charakterystycznego w przestrzeni niezbędne jest wykonanie obliczeń fotogrametrycznych bazujących na triangulacji punktu na dwóch różnych obrazach. W ten sposób dzięki zastosowaniu wielu ujęć przedmiotu uzyskujemy model 3D w postaci chmury punktów. Niezbędne jest zatem podczas wykonywania fotografii na potrzeby techniki SFM ujęcie przedmiotu pod różnym katem, pamiętając, że im więcej fotografii z

różnych ujęć, tym większe prawdopodobieństwo uzyskania modelu charakteryzującego się dużym odwzorowaniem szczegółów geometrii. Co do zasady pamiętać należy, że na wszystkich fotografiach obrazowany obiekt powinien znajdować się w całości, a oś optyczna obiektywu powinna być skierowana w środek obiektu. Od zasady tej stosuje się odstępstwa w przypadku, kiedy na modelowanym przedmiocie występuje rejon o szczególnym znaczeniu (drobne obrażenia, małe uszczerbki i porysowania itp.). W tym wypadku wykonuje się dodatkową serię zdjęć szczegółowych obrazujących ten rejon z różnych perspektyw. Należy przy tym pamiętać, że sekrecje zdjęć szczegółowych należy poprzedzić kilkoma zdjęciami pośrednimi pomiędzy fotografią obrazującą cały obiekt i zdjęcia szczegółowe pozwalającymi na zlokalizowanie oprogramowaniu przeliczeniowemu obrazowanego szczegółu.



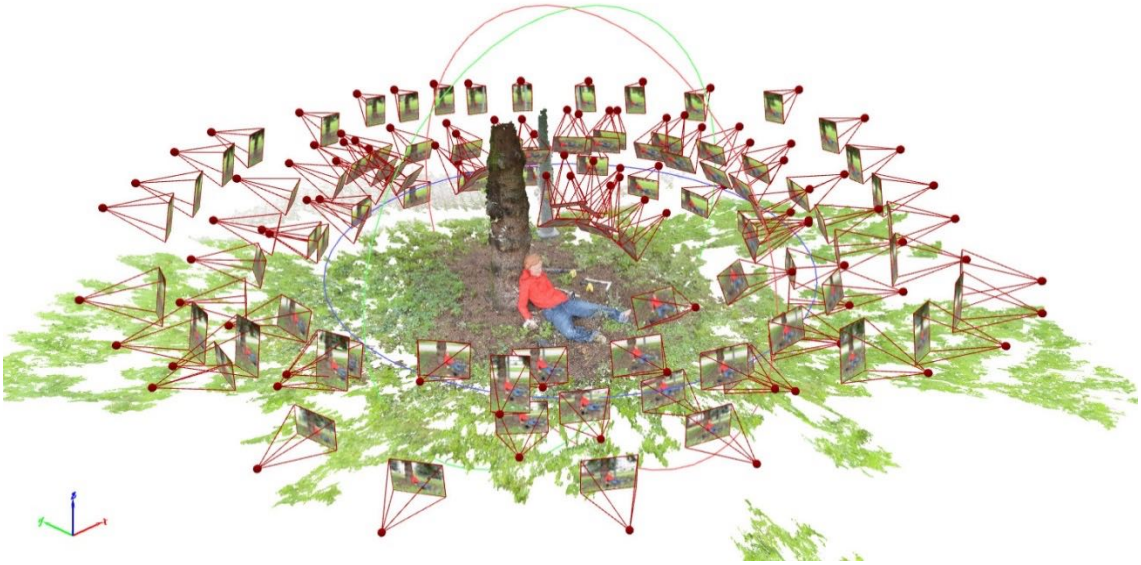
Ryc. Nr 23 – Kąty ustawienia sensora w stosunku do modelowanego obiektu.

3.1.6) Modelowanie miejsca zdarzenia

Modelowanie miejsca zdarzenia w całym jego zakresie techniki SFM nie należy do czynności standardowych i często wykorzystywanych. Wykonanie to, często nastręcza problemy takiego, jak lokalizacja miejsca w dwóch oddzielnych pomieszczeniach, duży obszar miejsca itp., a dokładność pomiarów wykonanych tą metodą odbiega jakością od pomiarów wykonywanych technikami laserowymi. Jednak w wypadku kiedy z przyczyn logistycznych nie istnieje możliwość zastosowania technologii skaningu laserowego, staje się ona jednym możliwością rekonstruowania 3D. Ponadto należy zauważyć, że w wielu przypadkach rekonstrukcji nie wymaga całe miejsce zdarzenia, a jedynie jego mały wycinek mający znaczenie dla analizy przebiegu zdarzenia taki jak np. ułożenie zwłok czy uszkodzenia pojazdów, do których zastosowanie techniki fotogrametrycznej SFM pozwala na uzyskanie ich precyzyjnej geometrii i rozmiarów. W przypadku wykonywania obrazowania miejsca zdarzenia przy pomocy techniki SFM należy pamiętać by:

- W przypadku fotografowania w świetle zastanym, starać się, aby fotografie sekwencji wykonywane były przy takich samych warunkach oświetleniowych. (np. w wypadku zajścia słońca za chmury w czasie wykonywania sekwencji należy powtórzyć całą sekwencję fotografii)
- Stosować odpowiednio długie wzorce wielkości lub pomiary tachimetryczne. (zastosowanie w tym wypadku znajdują teleskopowe łaty geodezyjne z możliwością przedłużenia do 5 metrów, które posiadają czytelną kontrastową podziałkę, a dzięki sztywnej konstrukcji zapewniają jakość wykonania liniowego pomiaru na potrzeby przeskalowania uzyskanej chmury punktów do wymiarów rzeczywistych).
- Nie przemieszczać wzorca wielkości w czasie wykonywania fotografii.
- Zdjęcia wykonywać w miarę możliwości dookoła obrazowanego otoczenia z co najmniej trzech wysokości.
- Podczas wykonywania fotografii utrzymywać całość obrazowanej przestrzeni w kadrze z osią optyczną obiektywu skierowaną w środek rejestrowanego otoczenia[57].

[57] Por. J. Fernandez-Hernandez, D. Gonzalez-Aguilera, P. Rodriguez-Gonzalvez, J. Mancera-Taboada, *Image-Based modelling from Unmanned Aerial Vehicle (UAV) photogrammetry: an effective, low-cost tool for archaeological applications, Archaeomerty 2015, nr. 57, s.128 i nast.*



Ryc. Nr 24 – Chmura punktów wygenerowana z fotografii wykonanych na miejscu zdarzenia z uwidocznionymi położeniem oraz kątem sensora w stosunku do obrazowanej przestrzeni.

3.1.7) Modelowanie śladów zabezpieczonych na miejscu zdarzenia

Poza modelowaniem całości miejsca zdarzenia często zachodzi konieczność modelowania pojedynczych śladów lub ich grupy na samym miejscu zdarzenia. Do sytuacji takiej dochodzi, kiedy ślady na miejscu zdarzenia, ich kształt oraz położenie pozwalają na dokonywanie rekonstrukcji przebiegu zdarzenia. Przykładem są ślady krwawe. Samo ich występowanie standardowo zabezpieczane jest w sposób fotograficzny jak również ślady są zabezpieczane pod kątem badań genetycznych, jednak na potrzeby odtworzenia sytuacji w jakiej powstały, oraz zlokalizowania położenia źródła krwawienia niezbędne jest ich zlokalizowanie w przestrzeni 3D. Doskonale do tego zadania sprawdzają się techniki 3D. Modelowanie śladów krwawych fotogrametryczne z wykorzystaniem techniki 3D pozwala na precyzyjne oddanie wyglądu rozmiarów i położenia śladów krwawych, a przy połączeniu wykorzystania fotografii macro możliwe jest wyliczenie kątów padania pojedynczych kropli analizując jej kształt. Poza śladami krwawymi wiele innych śladów kryminalistycznych na miejscu zdarzenia wykazują charakter trójwymiarowy, który pozwala na dokonanie analiz kryminalistycznych w późniejszym etapie postępowania przygotowawczego i sądowego. Do takich śladów należy zaliczyć między innymi:

- Ślady przestrzelin,
- Pojedyncze obrażenia zwłok,

- Ślady traseologiczne,
- Ślady mechanoskopijne itp.

Przy każdym z wyżej wymienionych śladów najlepsze rezultaty rekonstrukcji 3D pod kątem zlokalizowania ich w ogólnej przestrzenia miejsca zdarzenia da zastosowanie skanerów laserowych. Jednak analiza specjalistyczna poszczególnych śladów zrekonstruowanych z użyciem tych przedmiotów jest utrudniona, a przy małych rozmiarach śladów (przestrzelina, łuska, pojedyncza plama krwawa) wręcz niemożliwa. W tych sytuacjach „doskanowanie" poszczególnych śladów techniką fotogrametryczną lub inną precyzyjną na małych przedmiotach może pozwolić na bardziej kompleksową analizę 3D miejsca oraz śladów.

Zasady wykonywania fotografii poszczególnych śladów są takie same jak przy rekonstrukcji całego miejsca zdarzenia, należy jednak pamiętać, że rejon zainteresowania jest znacznie mniejszy więc kadrowanie należy zawęzić tylko do przedmiotu zainteresowania. W innym wypadku otrzymamy zbyt ogólny model nie pozwalający na analizę szczegółów. Kolejnym istotnym elementem modelowania na miejscu zdarzenia jest fakt, że zawsze podczas modelowania śladu na miejscu zdarzenia bez zmiany jego położenia nie jest możliwe odwzorowanie jego powierzchni stycznej do podłoża, na którym się znajduje. W tym wypadku należy przeanalizować jego powtórne modelowanie w warunkach pracowni laboratoryjnej lub przemieszczenie śladu po wykonaniu sekwencji fotografii umożliwiające uwidocznienie elementów niewidocznych, wykonanie drugiej sekwencji fotografii i połączenie całości modelu na etapie obróbki komputerowej.

3.1.8) Modelowanie małych obiektów

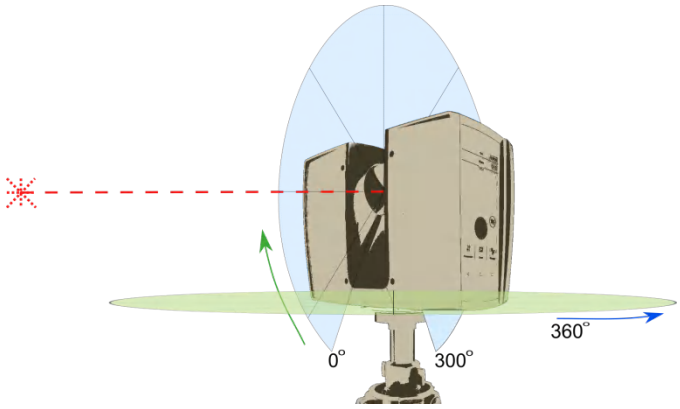
W postępowaniu przygotowawczym w celu dokonania analizy porównawczej pomiędzy śladami zabezpieczonym na miejscu zdarzenia, a przedmiotami je tworzonymi możliwe jest wykonanie modeli 3D w warunkach laboratoryjnych. Rekonstrukcje takie pozwalają na wykonanie precyzyjnego dopasowania śladu do przedmiotu w przestrzeni 3D. Wielopoziomowość trójwymiarowego dopasowania wielokrotnie zwiększa możliwości dopasowanie nie tylko śladu do przedmiotu, ale również mechanizmu i dynamiki ich wzajemnego oddziaływania. Ponadto modelowanie kilku elementów pochodzących z jednego przedmiotu, a rozdzielonych w czasie trwania zdarzenia pozwala na dokonanie cyfrowego badania na całość, którego bezsporną przewagą nad wykonywaniem takiego badania manualnie

jest fakt, że badane przedmioty nie stykają się w rzeczywistości co nie prowadzi do dodatkowych zniszczeń lub krzyżowej kontaminacji. Zasady dokonywania modelowania za pomocą techniki SFM w warunkach laboratoryjnych są takie same jak na miejscu zdarzenia. Możliwe jest zastosowanie kilku udogodnień ujednolicających sam proces wykonywania fotografii i wpływających na uzyskaną rekonstrukcję. Jedną z nich jest zastosowanie mocowania modelowanego przedmiotu i umiejscowienie go na elektronicznym stoliku obrotowym. Stolik taki pozwala na odwrócenie procesu, w którym fotografowany obiekt będzie zmieniał położenie w stosunku do sensora. Aby proces ten był możliwy do wykonania konieczne jest zastosowanie kilku innych elementów pozwalających na uzyskanie jednolitego oświetlenia oraz jednolitego tła na wszystkich wykonanych fotografiach. Aby to uzyskać stosuje się namioty bezcieniowe rozwiązujące oba ze wskazanych problemów. Po pierwsze dyfuzory znajdujące się wokół namiotu rozpraszają zastosowane światło w sposób umożliwiający jednolite oświetlenie przedmiotu na całej jego powierzchni. Po drugie wykonane fotografie cechują się jednolitym białym tłem pozbawionym cieni. Ponadto możliwe jest zastosowanie różnych kolorów tylnej ścianki namiotu bezcieniowego. Zabieg taki pozwoli na wykonanie modelowania obiektów jasnych, w których białe tło mogło spowodować by zlanie się obiektu z tłem.

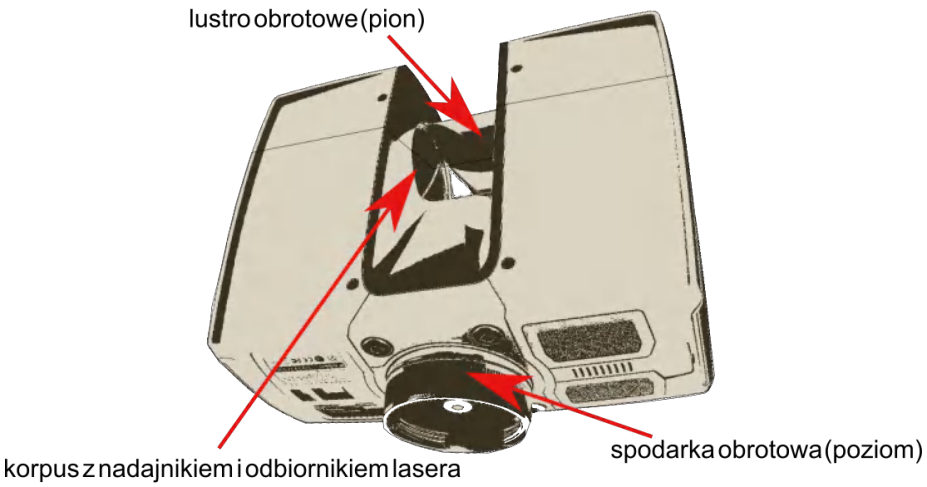
4) Skaning laserowy

Skaning laserowy to technika powstała poprzez rozwinięcie takich urządzeń jak tachimetry geodezyjne. Zasady działania tych dwóch urządzeń (skaner laserowy i tachimetr) są identyczne z tą tylko różnicą, że w wypadu skanera laserowego pomiar został zautomatyzowany i zwielokrotniony. I tak w przypadku, kiedy z wykorzystaniem tachimetru operator urządzenia musi wskazać punkt w przestrzeni, aby uzyskać jego dokładne położenie, tak w przypadku skaningu laserowego urządzenie automatycznie dokonuje rejestracji wszystkich punktów znajdujących się naokoło niego. W aktualnym stanie technologii w czasie minuty wykonywania pomiarów skaner laserowy potrafi wykonać około 11 milionów pomiarów. W tym samym czasie doświadczony operator tachimetru wykona zaledwie kilka pomiarów. Ponadto dzięki zainstalowanemu wewnątrz skanera laserowego aparatowi fotograficznemu skaner laserowy nie tylko potrafi określić umiejscowienie danego punktu w układzie kartezjańskim, lecz również nadaje każdemu z pomierzonych punktów w przestrzeni kolor. Dzięki takiemu połączeniu danych otrzymujemy fotorealistyczny obraz trójwymiarowy.

Skaner laserowy zbudowany jest z korpusu umiejscowionego na automatycznej obrotowej w poziomie spodarce. W korpusie urządzenia znajduje się lustro automatyczne obracające się na osi pionowej. Wewnątrz korpusu usytułowany jest nadajnik oraz odbiornik lasera, dzięki któremu możliwe jest wykonanie pomiaru odległości, w jakiej znajduje się mierzony punkt od środka urządzenia. Podczas każdorazowej emisji impulsu laserowego w urządzeniu zapisywane są trzy parametry kąt poziomy urządzenia, kąt pionowy lustra oraz odległość mierzonego punktu od urządzenia.



Ryc. Nr 25 – Schemat kątów działania skanera laserowego.



Ryc. Nr 26 – Elementy składowe skanera laserowego.

Proces skanowania 3D z wykorzystaniem naziemnego skanera laserowego możemy podzielić na dwa etapy:

- Etap wymiarowania punktów w przestrzeni;

- Etap uzyskiwania informacji na temat koloru punktów.

W pierwszym etapie skaner wykonuje obrót w płaszczyźnie poziomej, z jednoczesnym szybkim obrotem lustra. W tym czasie skaner wysyła z dużą częstotliwością impulsy laserowe i na podstawie danych z urządzenia (kąta poziomego urządzenia oraz kata pionowego lustra) i danych zwrotnych otrzymanych z impulsu laserowego (czas przelotu lasera na trasie sensor – punkt -sensor, oraz siła powrotna impulsu lasera) oprogramowani zainstalowane w urządzeniu pomiarowym dokonuje umiejscowienia punktu w przestrzeni. Proces ten jest bardzo ciągły, szybki i całkowicie zautomatyzowany, bez ingerencji operatora w urządzenie pomiarowe. Podczas jednego obrotu skaner dokonuje w zależności od zadanych przez operatora parametrów od kilkunastu do kilkuset milionów pomiarów, na podstawie których tworzy chmurę punktów pomiarowych reprezentujących geometrię rejestrowanej sceny. Rozdzielczość chmury (ilość pomiarów) determinuje czas obrotu i w zależności od niej etap ten może trwać od minuty (skany małej rozdzielczości) do godziny (skany o wysokiej rozdzielczości). Standardowo podczas rejestrowania miejsca zdarzenia wykorzystuje się czasy w zakresie od 2 do 8 minut. Pozwalają ode zarejestrować otoczenie z wysoką precyzją, a jednocześnie nie generują długiego czasu skanowania na miejscu zdarzenia. W czasie takiego pomiaru rejestrowane jest od 20 do 100 milionów punktów reprezentujących rejestrowane otoczenie.

W drugim etapie urządzenie wykonuje drugi obrót w płaszczyźnie poziomej. W odróżnieniu od pierwszego etapu skoki urządzenia są większe, a obroty lustra etapowe. W etapie tym zamontowany współosiowo z sensorem aparat fotograficzny wykonuje serię zdjęć. W zależności od producenta i zastosowanych rozwiązań jest to od kilkunastu do kilkudziesięciu zdjęć, które oprogramowanie urządzenia zmienia w panoramę sferyczną umiejscowioną w przestrzeni identycznie jak chmura punktów uzyskana w pierwszym etapie pomiarów. Następnie oprogramowanie próbkuje każdy z pikseli uzyskanej fotografii zgodnie z wartością kąt poziomy, kąt pionowy dane kolorystyczne (wartości R-red, G-green, B-blue). Wartości te przyporządkowuje do punktów o tej samej wartości kątowej otrzymanych w pierwszym etapie pomiarów. Dzięki temu procesowi geometria uzyskuje wartości kolorystyczne i możliwa jest jej prezentacja w postaci kolorowego, metrycznego modelu 3D utworzonego z gęstej chmury kolorowych punktów.

4.1) Zasady skanowania miejsca zdarzenia z wykorzystaniem naziemnego skanera 3D

4.1.1) Dobór stanowiska pomiarowego

Opisany powyżej proces przedstawia zasady działania urządzenia jakim jest naziemny skaner 3D. Urządzenie nie jest jednak rozwiązaniem, które całkowicie pracuje bez pomocy operatora na miejscu zdarzenia. Laser w nim zastosowany ma ograniczenia, nie przenika przez powierzchnie, a co się z tym wiąże proces skanowania nie ogranicz się do ustawienia go w jednym miejscu i rozpoczęcia jego pracy. Każdy z pojedynczych skanów posiadają martwe pola niezarejestrowane przez skaner w związku z tym, że pomiędzy punktem a urządzeniem znajduje się inny przedmiot jak krzesło, drzewo, samochód czy zwłoki. Niezbędne zatem jest powtórzenie całego procesu z takich miejsc, które wypełnią powstałe luki. W zależności od rozległości oraz charakterze poddanego pomiarom otoczenia może być to trzy, sześć, a nawet sto stanowisk pomiarowych w przypadku zdarzeń masowych. Bywają również przypadki, że z pozoru małe miejsce zdarzenia może wymagać dużej liczby stanowisk pomiarowych. Jako przykład można tu wskazać salę lekcyjną, gdzie wiele elementów rozmieszczonych jest na środku pomieszczenia. Ograniczają one w znacznym stopniu pole widzenia przez co wypełnienie martwych pól wymaga wielokrotnego skanowania pomiędzy przeszkodami oraz z zastosowanie różnej wysokości położenia skanera. I tak w przypadku, kiedy w pomieszczeniu o wielkości sali lekcyjnej z rozmieszczeniem mebli przy ścianach skanowanie z trzech miejsc pomiarowych pozwala w pełni zwizualizować przestrzeń, sala lekcyjna z ustawionymi ławkami wielokrotnie wymaga zastosowania 8,9 a nawet kilkunastu stanowisk, aby model wypełnił wszystkie martwe pola. Dokładny dobór stanowisk pomiarowych zostanie omówiony w dalszej części dysertacji, traktującej o naziemnym skanowaniu laserowym w kontekście konkretnych przypadków kryminalistycznego wykorzystania skaningu 3D w czasie oględzin i analizy śladów.

Kolejnym z ograniczeń naziemnego skanera 3D jest jego zasięg. Obecnie zasięg skaningu laserowego pozwala na dokonanie pomiarów punktów znajdujących się w odległości nawet 400 metrów od urządzenia. Pozwala to zarejestrować punkty znajdujące się w sferze o średnicy 800 m, w której centralnym punkcie znajduje się skaner. Fakt ten nie oznacza jednak, że w przypadku skanowania terenu otwartego stanowiska pomiarowe mogą byś oddalone od siebie trzysta metrów. Związane jest to z faktem, że gęstość skanowania (rozdzielczość) maleje

wraz z odległością pomiarową. I tak kiedy na 10 m punkty umiejscowione tak gęsto, że wydają się tworzyć jednolite płaszczyzny, na odległości 200 metrów odległość między najbliższymi punktami może sięgać nawet kilkunastu centymetrów. Fakt ten powoduje, że stanowiska pomiarowe oddalone od siebie na dużą odległość nie mają wspólnych gęstych elementów geometrycznych pozwalających na ich wzajemne precyzyjne dopasowanie względem siebie. Doświadczenie wskazuje, że przy skanowaniu miejsca zdarzenia odległość pomiędzy poszczególnymi stanowiskami pomiarowymi nie powinna przekraczać 20 metrów, a w przypadku miejsc o płaskiej jednolitej powierzchni tak jak wyasfaltowana droga powinna ona być nawet mniejsza. Duże znaczenie w tym wypadku ma również rozmieszczenie elementów architektury oraz środowiska wokoło oraz na samym miejscy zdarzenia. Pozwalają one na precyzyjne połączenie płaskiego, jednolitego otoczenia jakim jest droga, w precyzyjny sposób dzięki charakterystycznym pionowym elementom jak architektura, elementy infrastruktury drogowej czy charakterystyczne drzewa[58].

Istotnym elementem podczas planowania stanowisk pomiarowych jest również wysokość, na której umieszczony będzie skaner. W przypadku pomieszczeń zamkniętych niejednokrotnie niezbędne jest umiejscowienie skanera bezpośrednio na podłodze. Pozwala to w sposób precyzyjny przedstawić spodnia część stolarki meblowej. Sposób ten wykorzystywany jest również na miejscach wypadków drogowych czy katastrof budowlanych. W tych wypadkach umożliwia on wizualizację podwozia pojazdu uczestniczącego w zdarzeniu czy pokazanie miejsc trudno dostępnych na gruzowisku.

Wskazane powyżej elementy jednoznacznie pokazują, że proces skanowania miejsca zdarzenia nie może być czynnością spontaniczną. Wymaga on precyzyjnego zaplanowania poprzedzonego analizą miejsca zdarzenia. Proces taki pozwoli na całościowe zobrazowanie rejestrowanej przestrzeni, ponadto pozwoli on na szacunkową ocenę czasu trwania czynności skanowania, co jest niezwykle istotne w całościowym procesie śledczego badania miejsca zdarzenia.

[58] Por. D. Costantino, M. Giuseppa Angelini, *Three-dimensional Integrated Survey for Building Investigations,* Journal of Forensic Sciences, wrzesień 2015, Vol. 60 No. 6, s. 1625 i nast.

4.1.2) Parametry skanowania

Operator skanera 3D przed przystąpieniem do skanowania powinien określić parametry skanowania. W większości dostępnych na rynku skanerów 3D można wyróżnić następujące parametry skanowania:

- Rozdzielczość;
- Jakość.
- Skanowanie z kolorem lub bez koloru.

Rozdzielczość jako parametr skanowania mówi nam z jaką częstotliwością kątową urządzenie będzie wysyłało impuls laserowy. Dzięki temu parametrowi decydujemy o gęstości punktów pomiarowych. Ustawienie dużej rozdzielczości skanowania spowoduje, że obrazowane otoczenie będzie reprezentowane przez dużą liczbę punktów przez co bardziej zwarte. Należy jednak wziąć pod uwagę, że czasy skanowania wraz ze wzrostem rozdzielczości wydłużają się. Należy zatem każdorazowo rozważyć rozdzielczość skanowania w powiązaniu do skanowanego miejsca zdarzenia. Zamknięte pomieszczenia w których odległość do najodleglejszego punktu pomiarowego nie przekracza 10 metrów nie wymagają zastosowania wysokiej rozdzielczości. Jednak zastosowanie tej samej rozdzielczości w przypadku rozległego zdarzenia w otwartym terenie może spowodować niemożliwość wzajemnego powiązania skanów względem siebie.

Jakość jako parametr mówi nam, ile razy wysyłana jest wiązka lasera w celu zmierzenia pojedynczego punktu. Skaner jako urządzenie precyzyjne w celu uniknięcia błędów pomiarowych wysyła impuls laserowy kilkukrotnie w jeden punkt. Następnie wynik takiego pomiaru jest uśredniany, a w wypadku dużych odchyleń usuwany jako błędny. Użytkownik urządzenia może w celu zwiększenia precyzji badania zwiększyć ilość próbkowania pojedynczego punktu. Wiąże to się jednak z każdorazowym wydłużeniem pracy urządzenia na stanowisku pomiarowym. Standardowo jakość skanowania przyjmuje się jako x3. Oznacz to, że każdy punkt mierzony jest trzykrotnie. Wyklucza to powstanie dużych błędów pomiarowych. Możliwe jest ustawienie tego parametru x4, a nawet x8. Oznacza to jednak w przypadku skanowania z jakością x8 prawie trzykrotnie dłuższy czas skanowania niż w przypadku parametru jakości x3. W przypadku skanowania na potrzeby kryminalistyki i procesu karnego nie zaleca się zastosowania parametru jakości mniejszego niż x3. Może to

spowodować niewiarygodność uzyskanego materiału, a co za tym idzie niemożliwość wykorzystania go w postepowaniu przygotowawczym i sądowym.

Skanowanie z kolorem lub bez koloru. Parametr ten determinuje drugi obrót urządzenia w cyklu pomiarowym. Przy skanowaniu bez koloru drugi obrót z wykonywaniem fotografii sferycznej jest pomijany. Skraca to czas skanowania z pojedynczego stanowiska pomiarowego, jednak w tym wypadku niemożliwe jest zebranie wartości koloru (RGB) dla każdego z punktów. Nie oznacza to jednak, że każdy z wymiarowanych punktów będzie tego samego koloru. Sensor zamontowany w urządzeniu nie tylko rejestruje czas przelotu impulsu laserowego. Pozwala on również na zbadanie absorbcji lasera w badanym punkcie. Na podstawie tych danych oprogramowanie nadaje punktom wartość w skali szarości. Dzięki takiemu rozwiązaniu otrzymujemy czarnobiały skan 3D. Cecha ta jest przydatna na miejscu zdarzenia, na którym występują ograniczające widoczność warunki takie jak noc, mgła czy zadymienie. Dzięki temu do czynności skanowania przystąpić można niezwłocznie bez konieczności oczekiwania na oświetlenie zewnętrzne czy poprawę warunków atmosferycznych. W przypadku skanowania z kolorem każdorazowo skaner wykona drugi obrót. W parametr ten istnieje możliwość ingerencji polegająca na wyborze metody pomiaru światła. Urządzenie daje nam możliwość pomiaru horyzontalnego, wertykalnego lub centralnie ważonego. Ustawienia te są uzależnione od warunków, w których się znajdujemy. I tak w przypadku skanowania pomieszczeń w których występuje duże przeszklenie jako silne źródło światła niezbędne jest zastosowanie pomiaru wertykalnego w którym jasność zdjęć i balans bieli dopasowany jest do elementów nad skanerem (w tym wypadku sufitu). W terenie otwartym każdorazowo należy wykorzystać pomiar horyzontalny, gdyż w przypadku zastosowania pomiaru wertykalnego całość fotografii dostosowana będzie do jasności nieba, przez co niedoświetlona. Pomiar centralnie ważony przeznaczony jest do miejsc w których występuję wiele źródeł światła o różnej temperaturze barwowej. W tym przypadku zarówno balans bieli jak i pomiar światła dokonywany jest dla każdego zdjęcia składowego oddzielnie. Nie zalecane jest stosowanie pomiaru centralnie ważonego na potrzeby kryminalistyki, gdyż uzyskane za jego pomocą kolory częstokroć są niespójne dla całości obrazowanej przestrzeni.

4.1.3.) Czujniki skanera laserowego.

Poza parametrami skanowania operator urządzenia ma wpływ na czujniki które będą wykorzystane przez urządzenie w czasie pomiarów. Do podstawowych czujników w skanerach laserowych zaliczamy:

- GPS;
- Inklinometr;
- Wysokościomierz;
- Kompas;

Dzięki czujnikowi GPS do każdego z pojedynczych skanów dodawana jest informacja o szerokości i długości geograficznej w jakiej znajdowało się urządzenie w czasie skanowania. Jest to informacja wykorzystywana przez oprogramowanie w czasie składania pojedynczych skanów do wstępnego ich usytuowania. W kryminalistyce jest ona również niezwykle pomocna w czasie dokonywania oględzin w terenie nie posiadającym punktów charakterystycznych mogących zostać przyjętych jako stałe punkty odniesienia.

Inklinometr jest czujnikiem określającym odchylenie urządzenie od pionu. Dzięki niemu urządzenie w łatwy sposób niweluje odchylenia od pionu. Jest to duże ułatwienie dla operatora, który nie musi każdorazowo po zmianie stanowiska poziomować urządzenia jak ma to miejsce w przypadku tachimetru geodezyjnego. Urządzenie na podstawie danych z inklinometru wykonuje tą operację cyfrowo.

Wysokościomierz na podstawie ciśnienia atmosferycznego wskazuje na jakiej wysokości znajduje się urządzenie. Jako że czujnik działa na podstawie ciśnienia atmosferycznego podczas pracy z wykorzystaniem wysokościomierza operator musi pamiętać o zerowaniu ustawień czujnika na poziomie bazowym. W innym wypadku w pliku skanu mogą występować informacje nieprawdziwe wskazujące, że skany zostały wykonane np. na poziomie -123 metry. Dzięki zastosowaniu wysokościomierza podczas składania skanów znajdujących się w nad sobą (np. podczas skanowania wielopoziomowych budynków) oprogramowanie posiada informacje na temat wysokości znajdowania się skanu i nie próbuje połączyć błędnie przestrzenie znajdujących się na innym poziomie.

Kompas jako czujnik wskazuje usytuowanie pojedynczego skanu względem północy. Tak jak inne powyższe dane zawarte w pliku skanu informacja ta wspomaga proces łączenia skanów. Informacja ta jest niezwykle przydatna i wykorzystywana na potrzeby wykorzystania skanów 3D w kryminalistyce, gdzie lokalizacja miejsca oraz jego usytuowanie względem północy stanowią podstawę wizualizacji miejsca zdarzenia. W tym wypadku należy jednak pamiętać, że występuję wiele miejsc o zaburzonej strukturze magnetycznej, gdzie dane z nieprawidłowe dane kompasu mogą zaburzyć obraz usytuowania miejsca zdarzenia. W takich

wypadkach należy wyłączyć czujnik kompasu w czasie skanowania, a kierunek północy ustalić na podstawie innych sprawdzonych źródeł.

4.2) Łączenia skanów w jednolitą chmurę punktów

Skanowanie miejsca zdarzenia jako czynność na miejscu zdarzenia trzeba traktować jako pierwszy krok w procesie wytworzenia modelu 3D, a następnie jego wykorzystania na potrzeby procesu karnego. Kolejnym niezwykle istotnym krokiem w tym procesie jest połączenie pojedynczych skanów w jedną spójną całość. Jako całość należy rozumieć chmurę punktów reprezentującą miejsce zdarzenia, składającą się z jednostkowych skanów (chmur punktów) usytułowanych względem siebie z jak największą dokładnością. Proces ten realizowany jest na zewnętrznej jednostce komputerowej, po dokonaniu całości skanowania. Wraz z rozwojem technologii naziemnego skaningu laserowego skraca się czas niezbędny do przeprowadzenia procesu łączenia danych wyjściowych. Należy zauważyć, że w roku 2015 kiedy sam proces skanowania był wysoce rozwinięty wręcz niemożliwe było przeprowadzenia rejestracji skanów względem siebie na miejscu zdarzenia. W roku 2022 poza znacznym udoskonaleniem systemu skanowania przyśpieszeniu uległ proces łączenia skanów. Obecnie przy zastosowaniu wydajnych przenośnych jednostek komputerowych możliwe jest złożenie skanów w jednolitą całość na miejscu zdarzenia oraz dokonywania pomiarów tego miejsca i śladów się znajdujących w sposób cyfrowy na skanie w czasie trwania czynności oględzin. Same zasady łączenia skanów nie uległy zmianie i można je podzielić na:

- Łączenie automatyczne:
- Łączenie manualne.

4.2.1) Automatyczne łączenie skanów

Podczas automatycznego łączenia skanów operator nie ma większego wpływu na procesy i obliczenia realizowane przez oprogramowanie. Jednym z nielicznych parametrów na jaki mamy wpływ to algorytm wykonywania łączenia. Oprogramowanie SCENE firmy faro oferuje trzy algorytmy składania:

- Top view (widok z góry) – oparty na łączeniu skanów na podstawie ich rzut z góry;
- Cloud to cloud (chmura do chmury) – oparty na łączeniu skanów na podstawie nakładania się elementów geometrycznych;

- Top view and cloud to cloud (widok z góry i chmura do chmury) – w którym wstępne łączenie wykonywane jest na podstawie rzutu z góry, a optymalizacja łączenia na podstawie nakładania się elementów geometrycznych.

4.2.2) Manualne łączenie skanów

Łączenie manualne polega na wskazaniu punków lub elementów występujących na więcej niż jednym skanie. Po wskazaniu minimalnie trzech lub czterech takich elementów następuje wyliczenie usytuowania skanów względem siebie i wstępna rejestracja śladów. Elementami takimi mogą być:

- Punkty referencyjne – w postaci kontrastowej szachownicy;
- Sfery – kule ustawione przez operatora w skanowanym otoczeniu o określone średnicy;
- Płaszczyzny – ściany, podłogi lub inne elementy o płaskiej charakterystyce znajdujące się na miejscu zdarzenia;
- Punkty naturalne – występujące naturalnie na miejscu zdarzenia punkty charakterystyczne więcej niż na jednym skanie.

Po zatwierdzeniu rezultatów wstępnej rejestracji niezbędne jest wykonanie optymalizacji złożenia. Można ją wykonać w oparciu o wskazany wcześniej algorytm cloud to cloud lub w oparciu o optymalizację na podstawie ścisłego dopasowania punktów charakterystycznych. Zarówno po automatycznym jak i manualnym złożeniu skanów oprogramowanie generuje raport złożenia, w którym wyszczególnione są dane takie jak:

- Maksymalny błąd złożenia;
- Minimalne pokrycie skanów względem siebie (określone w procentach);
- Średni błąd;
- Ilość punktów tworzących jednolity skan;

W danych szczegółowych raportu opisane są ponadto dane złożenia pojedynczych skanów względem siebie. Raport ten jest przedstawiony w formacie nieedytowalnego pliku pdf.

4.3) Ograniczenia laserowego skaningu naziemnego

Tak jak każde urządzenie metryczne skaner 3D nie jest urządzeniem nie posiadającym ograniczeń, a jego nieprawidłowe zastosowanie może powodować błędy wnioskowania. Do podstawowych ograniczeń skanera 3D możemy zaliczyć:

- Niemożliwość wykonania rzetelnego skanowania w czasie opadów atmosferycznych;
- Zastosowanie skanera 3D w przestrzeniach wysoko refleksyjnych jak i w takich które zawierają takie elementy;
- Niemożliwość rejestrowania elementów transparentnych;
- Niemożliwość rejestrowania płynów;
- Niemożliwość rejestrowania elementów doskonale czarnych.

Opady atmosferyczne.

Wielu producentów skanerów deklaruje wodoszczelność oraz odporność urządzenia na opady atmosferyczne. Należy jednak zwrócić uwagę, że odporność urządzenia na opady nie mówi nam nic na temat dokładności skanowania w czasie takich opadów. Analizując podstawowe pojęcia optyki i zagadnienie kąta załamania światła w innym ośrodku należy stwierdzić, że impuls lasera jako fala elektromagnetyczna natrafiając na inny ośrodek niż powietrze (woda z opadów atmosferycznych) ulegnie załamaniu, a co z tym się wiąże otrzymany w ten sposób pomiar będzie nieprawidłowy. Należy więc kategorycznie stwierdzić, że nie należy wykonywać skanowania laserowego, kiedy w skanowanym obszarze występują opady atmosferyczne.

Powierzchnie refleksyjne

Powierzchnie charakteryzujące się dużym współczynnikiem odbicia takie jak lustro spowodują fakt, że nie będą one rejestrowane przez skaner, gdyż impuls laserowy po odbiciu od takiej powierzchni odbije się od lustra trafi w punkt pomiarowy i wróci do sensora poprzez lustro. Powoduje to utworzenie obrazu symetrycznego otoczenia w odbiciu lustrzanym. Nie oznacza to jednak, że kiedy tylko w skanowanym otoczeniu występują powierzchnie lustrzane niemożliwe jest wykonanie skanowania takiego pomieszczenia. W tym wypadku należy jednak pamiętać, że każdy z wykonanych skanów przed połączeniem ich w jednolity skan należy poddać obróbce polegającej na usunięciu lustrzanego obicia otoczenia powstałego na skutek błędnego pomiaru. Obróbka taka spowoduje, że możliwe będzie pełnowartościowe połączenie wykonanych skanów. Należy przy tym pamiętać, że powierzchnia lustra będzie niewidoczna. Innym rozwiązaniem jest oprószenie lustrzanych powierzchni matowymi środkami do skaningu laserowego (np. tlenek tytanu). Czynność ta spowoduje, że odbicia lustrzane będą niewidoczne a powierzchnia lustrzana zostanie uwidoczniona na skanie 3D. Oprószenie może zostać wykonane tylko w przypadku, kiedy istnieje stuprocentowa pewność, że na powierzchni

lustrzanej nie występują ślady kryminalistyczne takie jak ślady daktyloskopijne czy biologiczne.

Elementy transparentne.

W przypadku obiektów charakteryzujących się przezroczystością niemożliwe jest ich poprawne zarejestrowanie z wykorzystaniem impulsu laserowego. W takim wypadku impuls przenika taki obiekt. Należ w tym wypadku pamiętać, że w związku ze zmianą kąta załamania impulsu nawet jeżeli punkty znajdujące się za obiektem transparentnym zostaną zarejestrowane nie mogą zostać one uznane jako pomiary rzeczywiste gdyż są obarczone zmianą kąta załamania. Tak jak w wypadku obiektów lustrzanych obiekty takie mogą zostać zmatowione (np. tlenkiem tytanu) w celu ich uwidocznienia na skanach. Ponadto bardzo rzadko w naturze mamy do czynienia z elementami o dużym stopniu transparentności, a każde ich naturalne zabrudzenie jak zakurzenie czy zachlapanie działa jak zmatowienie obiektu w związku z powyższym jest on rejestrowany na skanach.

Rejestrowanie płynów.

Niestety dynamika płynów oraz ich nieprzewidywalna refleksyjność powodują, że nie zostają one zarejestrowane na skanach. Przestrzenie płynów reprezentowane są na skanach poprzez puste miejsca. Powoduje to, że jeżeli w skanowanej przestrzeni znajdują się zbiorniki wodne, a nawet drobne nagromadzenia wody takie jak kałuże dane o tych punktach nie zostaną zarejestrowane. Stanowi to problem niemożliwości określenia poziomu wody, jak również niemożliwości określenia głębokości ubytków gruntu i jego ukształtowania zalanych wodą.

Elementy doskonale czarne.

Analizując teorie odbicia oraz fal elektromagnetycznych zasadnym jest stwierdzeniem, że każda fala elektromagnetyczna natrafiająca na punkt doskonale czarny jest przez niego całkowicie absorbowany, w związku z tym informacja zwrotna nie trafia do sensora. Praktyka realizacji czynności skanowania na różnych miejscach zdarzeń w tym pogorzeliskach, gdzie wiele z elementów cechuje się wysoce nasyconym kolorem czarnym nigdy nie napotkano sytuacji całkowitej absorbcji. Elementy czarne reprezentowane były bardzo wyraźnie, przez gęste chmury punktów. Należy zatem stwierdzić, że tak jak elementy całkowicie transparentne tak elementy doskonale czarne w środowisku naturalnym występują bardzo rzadko.

ROZDZIAŁ III

Możliwości zastosowania skanowania 3D we współczesnej kryminalistyce

1) Zastosowanie modelowania 3D w badaniu wypadków komunikacyjnych

Wypadki komunikacyjne, ze względu na dużą dynamikę przebiegu zdarzenia oraz konieczność analizy wielu procesów fizycznych wymagają od biegłego z zakresu ich rekonstrukcji dużej wiedzy oraz uzyskania wielu danych wejściowych niezbędnych do przeprowadzenia rzetelnej rekonstrukcji[59]. Należy równie zauważyć, że należą one do jednych z najliczniejszych zdarzeń, w których niezbędne jest uzyskanie opinii biegłego celem wyjaśnienia ich przyczyn oraz przebiegu. Wypadki komunikacyjne można podzielić na wypadki w:

- transporcie lądowym w tym:
  - wypadki drogowe;
  - wypadki kolejowe;
- transporcie wodnym;
- transporcie powietrznym.

Badanie wypadków komunikacyjnych należy do jednych bardziej skomplikowanych rekonstrukcji w kryminalistyce o czym świadczy chociażby fakt, że na potrzeby każdego z rodzajów transportu niemal każde rozwinięte państwo powołuje specjalistyczne komisje badania wypadków. W Polsce na potrzeby badania wypadków komunikacyjnych powołane są następujące komisje:

- Państwowa Komisja Badania Wypadków Kolejowych – działająca przy Ministerstwie Infrastruktury.

[59] Por. J. Polony, *Wypadki drogowe. Problematyka kryminalistyczna,* Wydawnictwo Prawnicze, Warszawa 1978, s. 53 i nast., a także por. K. Pawelec, T. Diupero, *Rekonstrukcja wypadku i zdarzenia drogowego,* Dom Wydawniczy ABC, Warszawa 2006, J. Gryglewski, *Wskazówki metodyczne do oględzin na miejscu wypadku drogowego,* Wyd. Biuro Techniki Kryminalistycznej KGP, Warszawa 1991.

- Państwowa Komisja Badania Wypadków Lotniczych – działająca przy Ministerstwie Infrastruktury.
- Państwowa Komisja Badania Wypadków Morskich – działająca przy Ministerstwie Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej.
- Komisja Badania Wypadków Lotniczych Lotnictwa Państwowego – działająca przy Ministerstwie Obrony Narodowej.

Zaznaczyć trzeba, że celem komisji jest wyjaśnienie przyczyn wypadku nie tylko na potrzeby wymiaru sprawiedliwości, lecz wypracowanie zasad bezpieczeństwa pozwalających na uniknięcie wystąpienia podobnych wypadków w przyszłości. Wyjaśnieniem wypadków komunikacyjnych na potrzeby postępowania karnego zajmują się ograny do tego przeznaczone takie jak Policja, Żandarmeria Wojskowa[60] czy Straż Graniczna. Zakres czynności wykonywanych przez wszystkie wymienione wyżej instytucje jest zbieżny jedyną różnicą jest brak określenia winy przez Komisje. Wszystkie ograny wyjaśniające przyczyny zaistnienia wypadków komunikacyjnych do wyjaśnienia przebiegu zdarzenia wykorzystują dane metryczne zebrane na miejscu zdarzenia oraz uzyskane poprzez badania obiektów w nim biorących udział. Standardowe pomiary wykonywane na miejscu zdarzenia ograniczają się jednak do pomiarów wskazanych manualnie przez prowadzącego czynności punktów. W wyniku badania miejsca uzyskiwana jest ograniczona ilość danych często nie pozwalająca na ich uzupełnienie w związku z koniecznością oddania ciągów komunikacyjnych do użytkowania. Zastosowanie technik modelowania trójwymiarowego w przypadku badania wypadków komunikacyjnych pozwala na uzyskanie dużej ilości danych. Przewagą skanowania miejsca jest uzyskanie dużej liczby pomiarów bez charakteru subiektywności wskazywanych punktów. Punkty rejestrowane są niezależnie bez wpływu na wyniki prowadzącego czynności co pozwala na obiektywne zamrożenie miejsca zdarzenia[61].

[60] Por. J. Kasprzak, *Kryminalistyka w wojsku,* Przegląd Wojsk Lądowych, nr 8(434), 1995, s. 92 i nast.
[61] Por. P. Hachulski, *Oględziny w przypadkach katastrof kolejowych,* Studia Kryminologiczne, Kryminalistyczne i Penitencjarne, Tom I, Wyd. PWN, Warszawa 1974, s. 277 i nast. , M. Rusek, *Dron na oględzinach,* Problemy Kryminalistyki 293/2016, s. 36 i nast., W. Pawłowski, *Oględziny i badania miejsc wybuchów,* Problemy Współczesnej Kryminalistyki, Tom XXIV, Warszawa 2020, s 85 i nast.

2) Słownik definicji

Katastrofa – jest to wydarzenie nagłe, tragiczne w skutkach, w którym ktoś ucierpiał lub poniósł śmierć, powodujące straty materialne, obejmujące swoim zasięgiem duży obszar[62].

Katastrofa budowlana – jest to niezamierzone, gwałtowne zniszczenie obiektu budowlanego lub jego części, a także konstrukcyjnych elementów rusztowań, elementów urządzeń formujących, ścianek szczelnych i obudowy wykopów[63].

Katastrofa komunikacyjna – zdarzenie w ruchu lądowym, wodnym lub powietrznym, powodujące śmierć lub ciężki uszczerbek na zdrowiu wielu osób, zagrażające życiu lub zdrowiu wielu osób albo mieniu w wielkich rozmiarach[64].

Katastrofa kolejowa – rozumiana jako wypadek lub poważny wypadek. Wypadek jest to niezamierzone, nagłe zdarzenie lub ciąg takich zdarzeń z udziałem pojazdu kolejowego, powodujące negatywne konsekwencje dla zdrowia ludzkiego, mienia lub środowiska; do wypadków zalicza się w szczególności: kolizje, wykolejenia, zdarzenia na przejazdach, zdarzenia z udziałem osób spowodowane przez pojazd kolejowy będący w ruchu, pożar pojazdu kolejowego.

- Poważny wypadek jest to wypadek spowodowany kolizją, wykolejeniem pociągu lub innym podobnym zdarzeniem:
    - z przynajmniej jedną ofiarą śmiertelną lub przynajmniej pięcioma ciężko rannymi,
    - powodujący znaczne zniszczenie pojazdu kolejowego, infrastruktury kolejowej lub środowiska, które mogą zostać natychmiast oszacowane przez komisję badającą wypadek na co najmniej 2 miliony euro, mające oczywisty wpływ na regulacje bezpieczeństwa kolei lub na zarządzanie bezpieczeństwem[65].

Katastrofa lotnicza – rozumiana jako wypadek lotniczy, jest to zdarzenie związane z eksploatacją statku powietrznego, które zaistniało od chwili, gdy jakakolwiek osoba weszła na

[62] Słownik Języka Polskiego PWN, Wyd. PWN, Warszawa 2008.
[63] Art. 73 ust. 1 ustawy – Prawo budowlane (tekst jednolity Dz.U. z 2010 r. Nr 243, poz. 1623 z późn. zm.).
[64] Art. 173 ustawy z dnia 6 czerwca 1997 r. Kodeks karny (Dz.U. Nr 88, poz. 553 z późn. zm.)
[65] Art. 4 ust. 45 i 46 ustawy z dnia 28 marca 2003 r. o transporcie kolejowym (tekst jednolity Dz.U. z 2007 r. Nr, 16 poz. 94).

jego pokład z zamiarem wykonania lotu, do momentu, gdy wszystkie osoby znajdujące się na pokładzie opuściły ten statek powietrzny i podczas którego:

- jakakolwiek osoba doznała obrażeń ze skutkiem śmiertelnym lub poważnego obrażenia ciała w rezultacie:
  - znajdowania się na pokładzie danego statku powietrznego;
  - bezpośredniego zetknięcia się z jakąkolwiek częścią statku powietrznego, w tym częścią, która oddzieliła się od danego statku powietrznego;
  - bezpośredniego oddziaływania powietrza albo strumienia gazów wywołanego przez statek powietrzny,
- statek powietrzny został uszkodzony lub nastąpiło zniszczenie jego konstrukcji, w rezultacie czego naruszona została trwałość konstrukcji, pogorszeniu uległy techniczne lub lotne charakterystyki statku powietrznego oraz wymagane jest przeprowadzenie poważnego remontu lub wymiana uszkodzonego elementu
- statek powietrzny zaginął lub znajduje się w miejscu, do którego dostęp jest niemożliwy[66].

Katastrofa morska – wypadek morski, w którym ginie wiele osób lub zostaje utracony czy też uszkodzony w znacznym stopniu statek lub zostaje wyrządzona duża szkoda w środowisku naturalnym. Wypadek morski jest to rozbicie, wywrócenie, zderzenie lub wejście na mieliznę statku, wybuch lub pożar na statku albo jego uszkodzenie[67].

Katastrofa w ruchu drogowym – zdarzenie w ruchu lądowym powodujące śmierć lub ciężki uszczerbek na zdrowiu wielu osób, zagrażające życiu lub zdrowiu wielu osób albo mieniu w wielkich rozmiarach.

Katastrofa żeglugowa – rozumiana jako wypadek żeglugowy, jest to zdarzenie związane z ruchem lub postojem statku na wodach śródlądowych, w wyniku którego nastąpiło uszkodzenie ciała powodujące rozstrój zdrowia lub śmierć człowieka, uszkodzenie mienia znacznej wartości albo poważna awaria[68].

[66] Załącznik nr 13 do Konwencji o międzynarodowym lotnictwie cywilnym (Dz.U. z 1959 r. Nr 35, poz. 212, z późn. zm.).
[67] Art. 3 ust. 5 Załącznika nr 1 do Konwencji Ateńskiej w sprawie przewozu morzem pasażerów i ich bagaży (Dz.Urz. UE C74E/567).
[68] Art. 5 ust. 1 pkt 7 ustawy z dnia 21 grudnia 2000 r. o żegludze śródlądowej (tekst jednolity Dz. U. z 2017 r. Nr 2128, z późn. zm.)

3) Wykorzystanie modelowania 3D na potrzeby kryminalistycznego badania miejsca wypadku lotniczego

Wypadki lotnicze w związku ze skomplikowaną budową techniczną statków powietrznych oraz dynamiką zdarzeń w czasie wypadku powodującą dużą ilość śladów na miejscu zdarzenia stanowią jedne z bardzie czasochłonnych czynności oględzinowych w których niezbędne staje się przybranie do czynności specjalistów oraz ekspertów z wielu dziedzin. Ze względu na rodzaj posiadanej wiedzy specjalistycznej biegłych wykorzystywanych na potrzeby ustalenia przyczyn oraz przebiegu katastrof lotniczych wymienić można biegłych z zakresu:

- badania wypadków lotniczych;
- napędów lotniczych;
- awioniki;
- sterowania,
- dynamiki lotów,
- lotniczych procedur ruchu lotniczego,
- pilotażu,
- budowy płatowców,
- lotniczych systemów sterowania i osprzętu lotniczego,
- odczytu i deszyfracji oraz analizy pokładowych rejestratorów parametrów lotów, pokładowych rejestratorów rozmów,
- meteorologii lotniczej,
- medycyny lotniczej i medycyny sądowej itp.

Praca wszystkich z wymienionych ekspertów musi nosić znamiona kompleksowości co oznacza, że biegli ci muszą współpracować ze sobą celem całościowego oraz cząstkowego (ze swojego zakresu wiedzy) stwierdzenia przyczyn oraz przebiegu katastrofy.

Koordynacja pracy na miejscu katastrofy lotniczej jest niezwykle trudna. Na fakt ten wpływa nie tylko konieczność podziału miejsca na sektory, w których działają odrębne zespoły specjalistów i ekspertów, lecz również konieczność współpracy dwóch odrębnych organów to jest prokuratury oraz komisji badania wypadków lotniczych, które w wielu przypadkach muszą rozstrzygać spory kompetencyjne co do zabezpieczonych śladów i kluczowych elementów

statku powietrznego (rejestratory lotu i inne urządzenia przenoszące informacje o przebiegu lotu). Co do zasady należy przyjąć, że gospodarzem czynności wykonywanych na miejscu katastrofy lotniczej jest prokurator, który w porozumieniu z członkami komisji badania wypadków lotniczych podejmuje decyzję co do wszystkich czynności wykonywanych na miejscu zdarzenia. W celu sprecyzowania zasad współpracy oraz wypracowania zasad poprawiających wydajność pracy podczas badania miejsca wypadku lotniczego 5 listopada 2014 r. zostało podpisane porozumienie regulujące zasady współpracy organów prowadzących postępowanie karne i Komisji Badania Wypadków Lotniczych Lotnictwa Państwowego. Porozumienie zostało zawarte pomiędzy Ministerstwem Obrony Narodowej, a Prokuraturą Generalną.

Jednym z najistotniejszych zadań na miejscu wypadku lotniczego jest dokonanie dokładnego obrazowania oraz wykonanie pomiarów pozwalających na usytuowanie statku powietrznego oraz jego istotnych elementów na miejscu zdarzenia. W sytuacjach, kiedy w wyniku wypadku lotniczego śmierć poniosły osoby należy równie dokładnie zobrazować wygląd oraz rozmieszczenie ciał na miejscu zdarzenia. Czynności te pozwalają w dalszym etapie badania wypadku lotniczego na rekonstrukcje ostatnich sekund przebiegu zdarzenia, które to nie są możliwe do odtworzenia z wykorzystaniem parametrów lotu zapisanych na rejestratorach zamontowanych w statku powietrznym. Czynności te należy wykonać z maksymalną precyzją i w sposób logicznie przedstawiający miejsce zdarzenia. Chaotyczne wykonanie wyżej wskazanych czynności w połączeniu z duża ilością rozkawałkowanych drobnych elementów statku powietrznego mogą spowodować, że poddanie uzyskanego materiału analizie będzie bardzo utrudnione, a w skrajnych przypadkach wręcz niemożliwe. Jako przykład chaotycznie prowadzonych czynności można podać oględziny miejsca katastrofy samolotu rządowego TU 154M o numerze bocznym 101 zaistniałej na terenie Federacji Rosji w dniu 10 kwietnia 2010 r. Czynności prowadzone przez ograny ścigania Federacji Rosyjskiej pomimo obszerności wytworzonej w ich trakcie dokumentacji zarówno w postaci protokołów jak również fotografii oraz materiałów wideo nie pozwalają na dokładne zrekonstruowanie usytuowania elementów wraku na miejscu zdarzenia. Niemożliwe jest również wygenerowanie na ich podstawie mapy pokazującej usytuowanie zwłok oraz ich fragmentów. Fakt ten z znacznej mierze utrudnia dokonanie właściwej analizy przebiegu katastrofy. Pomimo niezbyt długiego czasu od zaistnienia „katastrofy smoleńskiej", należy zauważyć, że możliwości techniczne w zakresie obrazowania miejsca zdarzenia w chwili obecnej pozwoliły by na

wykonanie precyzyjnego modelu 3D, i tym samym, na dokonanie wielu specjalistycznych analiz, pomimo metodyczno formalnych błędów wykonywanych przez organy procesowe Federacji Rosyjskiej.

Zastosowanie podczas badania wypadków lotniczych znajdują wszystkie z opisanych w dysertacji techniki modelowania 3D, to jest skanowanie laserowe, techniki fotogrametryczne SFM (wraz z obrazowaniem z powietrza z wykorzystaniem bezzałogowych statków powietrznych), skanowanie z wykorzystaniem światła strukturalnego oraz mikroskopia 3D. Zakres badań możliwych do wykonania z wykorzystaniem technik 3D zawiera się w szerokim przedziale ogólnego poglądu i pomiarów miejsca katastrofy poprzez identyfikację zwłok, analizę elementów statku powietrznego pod kątem jego cyfrowej rekonstrukcji, do szczegółowych badań mechanoskopijnych i wielu innych badań.

3.1) Wykorzystanie skanowania laserowego na potrzeby badania wypadków lotniczych

Cechy miejsca katastrof oraz wypadków lotniczych takie jak rozległość terenu oraz duża ilość śladów powodują, że zastosowanie skanowania laserowego na miejscu zdarzenia jest często jedyną obiektywną techniką rejestrowania wyglądu oraz precyzyjnych wymiarów katastrofy. Nie bez znaczenia jest również aspekt bezpieczeństwa. W wielu nowoczesnych statkach powietrznych występują elementy zawierające materiały radioaktywne, które w wypadku uszkodzeni takiego elementu w trakcie zdarzenia mogą spowodować zagrożenie dla zdrowia osób pracujących na miejscu zdarzenia. W takim wypadku czas niezbędny do określenia takiego zagrożenia przez wyspecjalizowane jednostki wykorzystać można na zastosowanie techniki skanowania laserowego, która to nie wymaga zbliżania się do strefy zagrożenia, a jednocześnie z jej wykorzystaniem można dokonać pomiarów o dokładności sięgającej 1 mm[69]. W rozdziale przedstawione zostaną doświadczenia z zakresu badania i analizy pięciu katastrof lotniczych. W czynnościach badania wszystkich z pięciu katastrof autor uczestniczył osobiście w roli eksperta wykonującego czynności skanowania na miejscu

[69] Por. A. Drews, *Helikopter w służbie policji,* Problemy Kryminalistyki 35/62, s. 113, C. Moretti, *Helikopter policyjny w służbie społeczeństwa,* Problemy Kryminalistyki 55/65, s. 405, czy też J. Pawlik, *Lotnictwo w służbie policji,* Przegląd Policyjny 1(33), 1994, s. 14 i nast.

zdarzenia oraz w toku badania zdarzeń jako biegły wykonujący analizę danych uzyskanych na miejscu zdarzenia.



Ryc. Nr 27 – Widok chmury punktów 3D uzyskanej w skutek zastosowania na miejscu wypadku lotniczego skanera laserowego (na rycinie widoczne miejsca ustawienia skanera wokół statku powietrznego)

Badania wykonano na potrzeby Komisji Badania Wypadków Lotniczych Lotnictwa Państwowego oraz na potrzeby prokuratur. Na potrzeby opracowania nie przytoczone lub zmienione zostały rodzaje statków powietrznych, miejsce oraz czas wystąpienia zdarzenia. Przedstawione zostaną same mechanizmy oraz sposoby wykonania czynności analizy danych uzyskanych za pomocą skanera laserowego bez wskazywania realnych wyników wykonanych badań.

3.1.1) Czynności wykonane na miejscu zdarzenia

Do czynności skanowania miejsca zdarzenia należy przystąpić niezwłocznie po przybyciu na miejsce. Jeżeli na miejscu katastrofy trwają jeszcze czynności ratowniczo gaśnicze należy rozpocząć skanowanie niezwłocznie po ich zakończeniu. Skanowanie miejsca zdarzenia winno być wskazane w protokole oględzin miejsca zdarzenia z wyszczególnieniem takich elementów jak:

- operator urządzenia;
- typ, model oraz numer seryjny urządzenia;

- data, godzina rozpoczęcia i zakończenia czynności skanowania miejsca zdarzenia;
- liczba wykonanych skanów.

Ponadto w protokole oględzin powinien znaleźć się zapis stwierdzający, że materiały powstałe w skutek skanowania laserowego po dokonaniu obróbki komputerowej zostaną przekazane w formie cyfrowej umożliwiającej ich odtworzenie wraz ze sprawozdaniem szczegółowo opisującym proces przetwarzania pojedynczych skanów w jednolitą chmurę punktów. Dokładny opis wraz z omówieniem w rozdziale dotyczącym procesowych aspektów modelowania 3D.

Częstokroć w związku z rozległością miejsca katastrofy, na potrzeby wykonania czynności oględzin, dzielone jest ono na sektory, w których czynności oględzin w poszczególnych sektorach realizowane są przez odrębne zespoły oględzinowe. W każdym z nich wykonywany jest protokół oględzin sektora. W takim wypadku użycie skanera w celu rejestracji i pomiaru miejsca katastrofy powinno być zawarte w protokole „matce" będącym elementem spinającym całość czynności oględzin jedną klamrą.

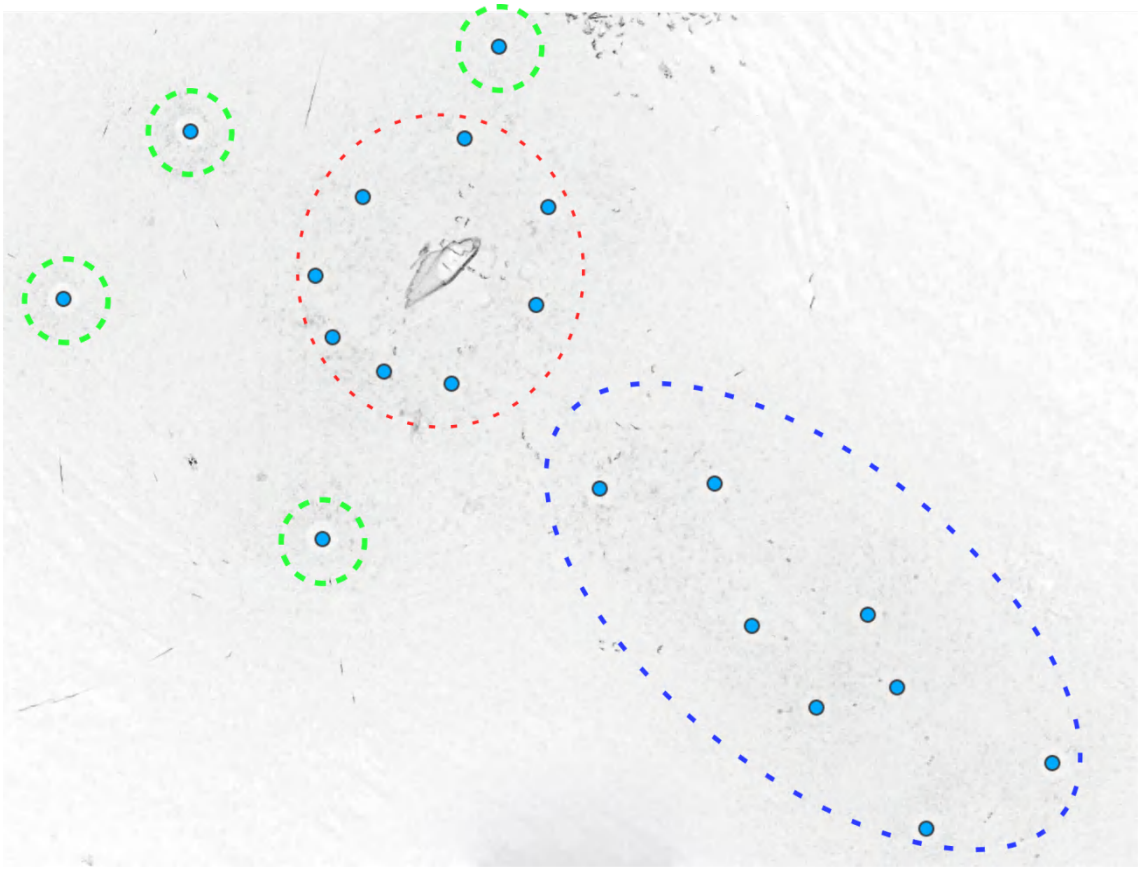
Należy również zauważyć, że każdorazowo gospodarzem oględzin miejsca katastrofy jest prokurator i to tylko i wyłącznie po uzyskaniu jego zgody i z jego polecenia specjalista – ekspert, przystępuje do skanowania miejsca zdarzenia. W wypadku kiedy na miejscu katastrofy obecny jest specjalista z urządzeniem, organy ścigania oraz prokurator, a w związku z brakiem obecności członków Komisji Badania Wypadków Lotniczych (zebranie członków komisji oraz ich przyjazd na miejsce z reguły jest czasochłonny) nie ma możliwości przeprowadzenia zasadniczych czynności oględziny, zasadnym jest przeprowadzenia oględzin wstępnych miejsca w których to w związku z brakiem ingerencji w wygląd oraz właściwości elementów znajdujących się na miejscu katastrofy lotniczej możliwe jest użycie skanera laserowego. Można równie wykonać oględziny miejsca których zasadniczym celem jest wykonanie wizualizacji oraz pomiarów miejsca katastrofy z użyciem skanera laserowego. Wszystkie z takich czynności wykonywane powinny być po przeprowadzeniu konsultacji prokuratora z przewodniczącym Komisji Badania Wypadków Lotniczych, lecz ze względu na brak ingerencji w miejsce zdarzenia zasadnym jest ich wykonanie jak najszybciej nawet bez udziału w nim członków Komisji.

Skanowanie powinno rozpocząć się od bezpośredniego pobliża ułożenia zasadniczej części wraku. Spowodowane jest to tym, że jest to element będący w głównym zainteresowaniu

organów prowadzących czynności na miejscu katastrofy lotniczej. Wykonanie obrazowania za pomocą skanera laserowego tego elementu w pierwszej kolejności zapobiegnie otrzymaniu obrazu, na którym widoczne będą postacie przemieszczające się w jego otoczeniu. Obraz taki wymaga nakładu dużej pracy podczas maskowania sylwetek ludzi na skanie 3D. Ponadto skanując jako pierwszy element wrak statku powietrznego unikamy sytuacji, w której zobrazowane zostanie miejsce zdarzenia nie w pierwotnym jego wyglądzie, lecz po ingerencji osób dokonujących oględzin wraku. Skanowanie należy wykonać wokół wraku ustawiając urządzenie na różnych wysokościach. Pozwala to na wypełnienie martwych pól oraz na zobrazowanie i dokonanie pomiaru wszystkich elementów wraku.

W niektórych przypadkach należy skanowanie rozpocząć od sektorów zewnętrznych sukcesywnie zbliżając się do zasadniczej części wraku. Dzieje się tak w przypadkach, kiedy ze względu na zastosowane środki gaśnicze obraz wraku jest nieczytelny np. pokryty pianą gaśniczą. W takich sytuacjach do skanowania najbliższej okolicy wraku należy przystąpić bezpośrednio po ustąpieniu elementów zasłaniających główny obraz wraku, lecz przed rozpoczęciem zasadniczej części oględzin wraku.

Skanowanie sektorów zewnętrznych powinno skupić się na dokładnym zarejestrowaniu wyglądu miejsca zgodnie z kierunkiem nalotu statku powietrznego. W tym też rejonie nagromadzone zostaje najwięcej śladów pozwalających na wykonanie rekonstrukcji lotu. Śladami takimi będą żłobienia powstałe wskutek kontaktu elementów statku powietrznego z gruntem, dzięki ich dokładnemu skanowaniu możliwe jest określenie miejsca pierwszego kontaktu z ziemią. Pomocne stają się również kratery i inne wgłębienia w gruncie pozwalające na określenie siły i kąta z jakim statek powietrzny spadł. W wypadku upadku w terenie zalesionym niezwykle istotnym elementem jest dokonanie skanowania kierunku nalotu z uwzględnieniem wysokości ściętych drzew oraz określenie pierwszego kontaktu statku powietrznego z drzewami co pozwala na precyzyjne odtworzenie ostatnich sekund lotu.



Ryc. Nr 28 – Skanowanie wypadków i katastrof lotniczych. Niebieskie punkty wskazują ustawienie skanera. Okrąg czerwony wskazuje skanowanie wykonane w bezpośrednim pobliżu wraku. Okrąg niebieski wskazuje skanowanie miejsca zdarzenia zgodnie z kierunkiem nalotu. Okręgi zielone wskazują miejsca ustawienia skanera ustawione w bezpośrednim pobliżu istotnych elementów statku powietrznego.

Ponadto skupić się również trzeba na zasadniczych elementach statku powietrznego w rejonie oględzin, takich jak rejestratory lotu, owiewki, fotele pilota wystrzelone w czasie katapultowania, czasza spadochronu i inne. Znajdują się one bardzo często w znacznych odległościach od wraku w kierunkach nie pokrywających się z kierunkiem nalotu. W tych wypadkach niezbędne jest wykonanie czynności skanowania w sposób umożliwiający dowiązanie obrazu i położenia modelowanych obiektów do zasadniczego położenia wraku. Jeżeli warunki topograficzne utrudniają wykonanie skanowania kompleksowego od miejsca położenia wraku do miejsca położenia elementu zasadniczego dla rekonstrukcji, możliwe jest zastosowanie pomiarów geodezyjnych z wykorzystaniem tachimetrów. W tym celu niezbędne jest dokonanie pomiaru co najmniej dwóch punktów znajdujących się na wraku samolotu będących łatwymi do zlokalizowania ich na skanie 3D oraz dwóch punktów znajdujących się w pobliżu lub na samym elemencie kluczowym, również możliwym do łatwej lokalizacji na skanach. Dopasowanie w następnym etapie, polega na umieszczeniu - dopasowaniu punktów

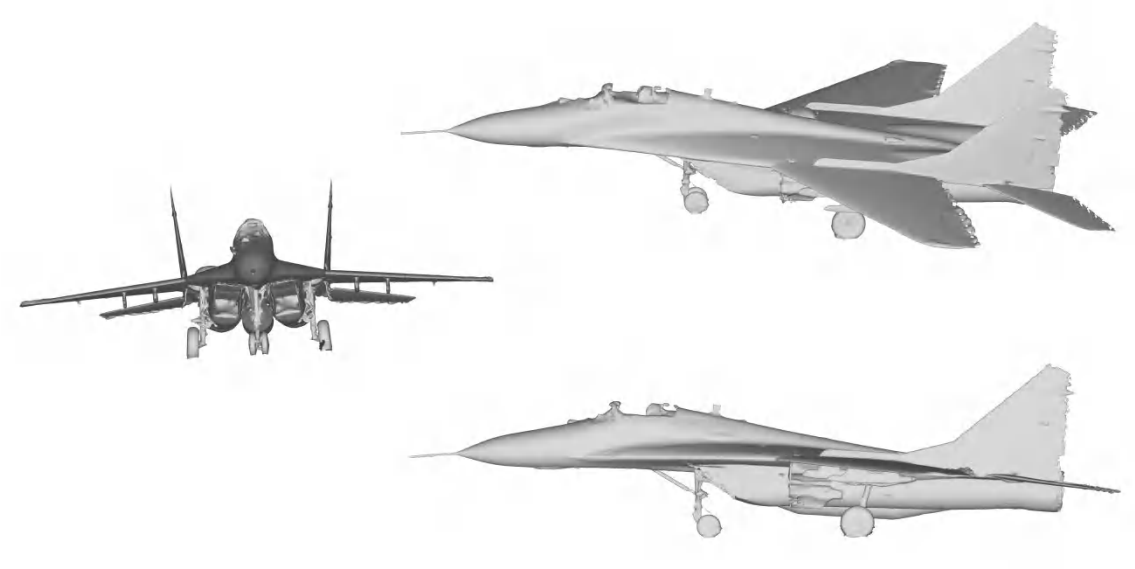
pomierzonych za pomocą tachimetru, do punktów zwymiarowanych przez skaner. Należy stwierdzić, że im większa ilości dokonanych pomiarów tachimetrycznych tym precyzyjniejsze dokonanie wpasowania skanów.

Pomocnym i zwiększającym efektywności pracy w czasie skanowania miejsca zdarzenia jest zastosowanie kilku urządzeń w jednym czasie. Należy w tym wypadku przestrzegać zasady, że skanery w czasie pracy nie powinny znajdować się w zasięgu wzajemnego oddziaływania, a jeżeli nie ma innej możliwości to ustawienia skanerów względem siebie powinno być prostopadłe celem uniknięcia padania wiązki lasera w sensor innego urządzenia. W przypadku skanowania z wykorzystaniem dwóch lub więcej urządzeń, jeden z operatorów powinien odgrywać rolę wiodącą polegającym na przydzieleniu zadań oraz wskazaniu punktów skanowania pozostałym operatorom, w sposób taki, aby wypełnić i zobrazować całość miejsca zdarzenia oraz zachować prawidłowość otrzymanych wyników. Aby uniknąć sytuacji, w której całość miejsca zdarzenia nie zostanie pokryta przez skanery należy przed przystąpieniem do czynności wykonać szkic odręczny miejsca katastrofy, podzielić na nim rejony odpowiedzialności wskazane poszczególnym operatorom oraz zaznaczać na nim każdy z wykonanych skanów ze wskazaniem wysokości na jakiej stał skaner.

W wypadkach komunikacyjnych, a w szczególności katastrofach lotniczych zasadnym jest stosowanie na miejscu zdarzenia wysokich stabilnych statywów, na których umieszczony jest skaner. Statywy takie pozwalają na umieszczenie urządzenia nawet na wysokości czterech metrów. Dzięki zastosowaniu takiej wysokości kąty padania lasera na podłoże pozwalają zobrazować podłoże ze znacznie większą szczegółowością i zasięgiem. Możliwe również jest uchwycenie wnętrz wraku oraz jego wysoko położonych elementów. Należy jednak przy tym pamiętać, że wraz ze wzrostem wysokości usytuowania urządzenia zwiększa się martwa strefa pod nim się znajdująca.

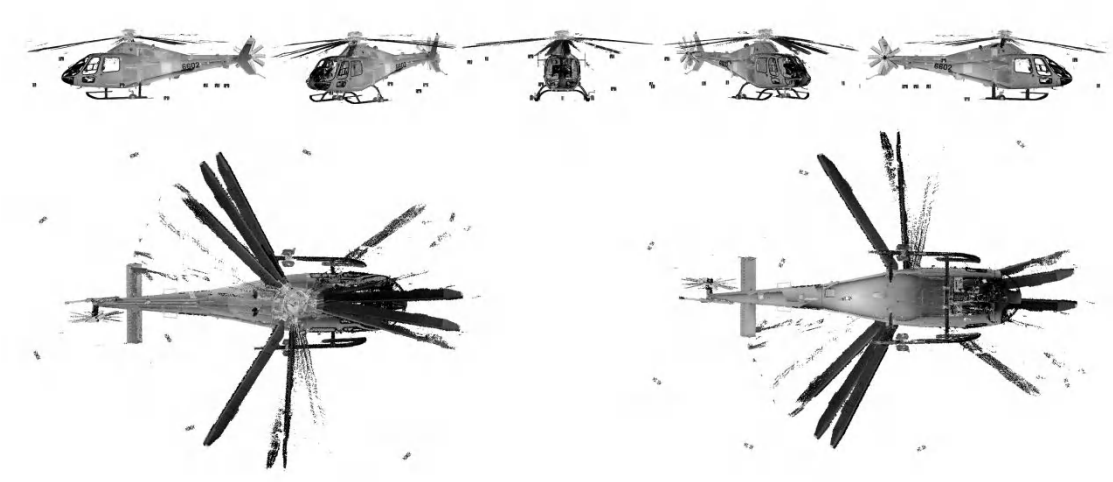
Po zakończeniu czynności skanowania na miejscu zdarzenia należy prowadzącemu oględziny przekazać godzinę zakończenia ostatniego skanu, liczbę skanów wykonanych przez indywidualnych operatorów oraz sumaryczną liczbę skanów.

3.1.2) Skanowanie wykonywane po oględzinach miejsca katastrofy lotniczej



Ryc. Nr 29 – Model porównawczy statku powietrznego.

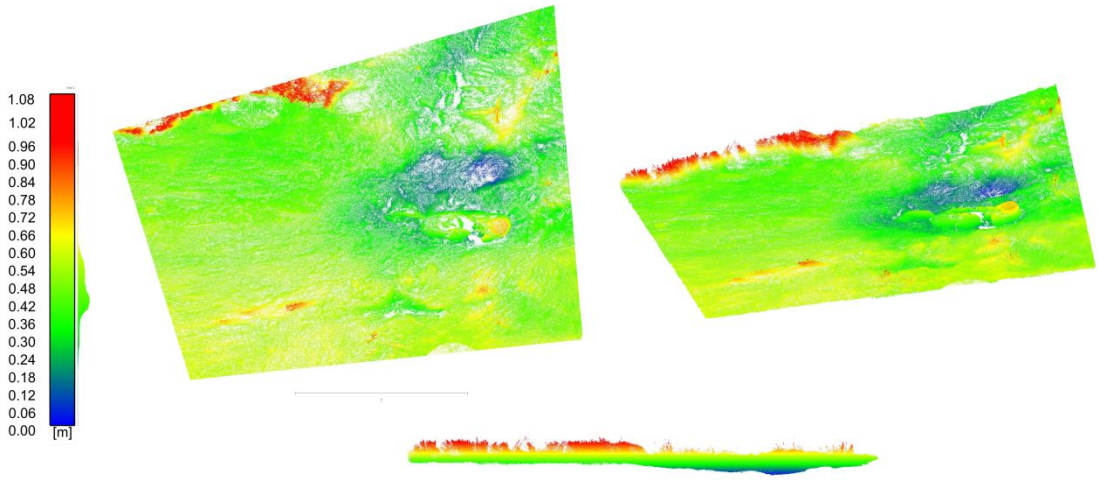
W celu uzyskania pełniejszych danych oraz zastosowania ich do przeprowadzenia rekonstrukcji wypadku lotniczego wskazane jest wykonanie modelowania tożsamego statku powietrznego do statku biorącego udział w zdarzeniu. Wykonanie takiego modelu pozwala na wykorzystanie go jako wzorca oraz dopasowanie śladów zarejestrowanych na miejscu zdarzenia do gabarytów i kształtu samolotu. Dzięki modelowi wzorcowemu możliwe jest również stworzenie modelu i mapy zniszczeń statku powietrznego biorącego udział w zdarzeniu. Skanowanie takie można wykonać bez konieczności rejestrowania kolorów a jedynie geometrii. Należy zwrócić uwagę czy skanowany samolot posiada taką samą konfigurację (takie samo uzbrojenie, podwieszone dodatkowe zbiorniki paliwa itp.) jak samolot, który uległ katastrofie.



Ryc. Nr 30 – Model porównawczy statku powietrznego przedstawiony w różnych rzutach.

3.1.3) Analiza krateru oraz żłobień pod kątem rekonstrukcji kontaktu statku powietrznego z ziemią

Siły działające w czasie katastrofy z jakimi statek powietrzny uderza w ziemię powodują powstanie śladów o charakterze traseologicznym, które pozwalają na precyzyjne określenie miejsca pierwszego kontaktu z ziemią oraz zrekonstruowanie prawdopodobnego ruchu statku powietrznego po uderzeniu w ziemię. W każdej z poddanych analizie katastrof na gruncie występowały ślady żłobienia. Ślady te pozwalały kategorycznie określić miejsce pierwszego kontaktu z ziemią. W każdym z badanych przypadków pozwalały one również na wskazanie elementu statku powietrznego, który jako pierwszy ziemię dotknął. Na dokonanie takiej identyfikacji pozwoliły następujące cechy charakterystyczne żłobienia oraz kratery.



Ryc. Nr 31 – Mapa wysokości ukazująca miejsce pierwszego kontaktu statku powietrznego z ziemią ukazana w postaci mapy wysokości.

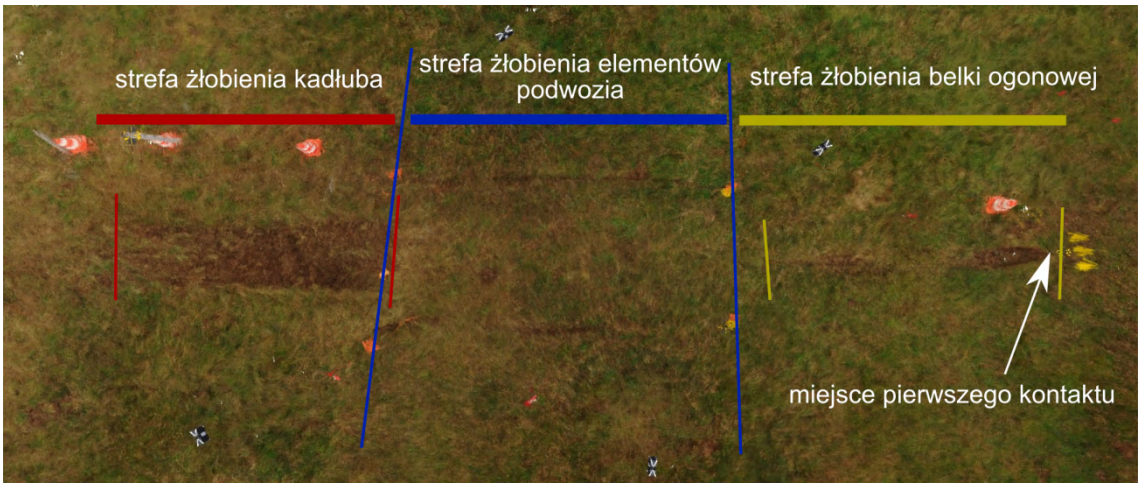
Przydatnym narzędziem podczas analizy żłobień powstałych w skutek katastrofy lotniczej jest generowanie map wysokości (highramp) które pozwalają na zabarwienie punktów tworzących model zgodnie z ich położeniem w stosunku do zadanej płaszczyzny. W wypadku analizy żłobień jako płaszczyznę podstawową należy przyjąć poziomą płaszczyznę zawierającą w sobie punkty znajdujące się w najgłębszym punkcie żłobienia. W wyniku utworzonej w ten sposób mapy wysokości uzyskujemy obraz, w którym elementy żłobienia znajdujące się najbliżej płaszczyzny barwione są na kolor niebieski. Kolor punktów zmienia się w zależności od odległości w jakiej znajdują się one w stosunku do płaszczyzny przechodząc kolejno od różnej intensywności barwy niebieskiej, zielonej, żółtej, pomarańczowej aż do czerwonej reprezentującej punkty najdalej położonej od płaszczyzny podstawowej. W prezentowanej powyżej rycinie przedstawiono miejsce kontaktu statku powietrznego z ziemią, w której uwidoczniony jest krater powstały wskutek wlotu powietrza. Po prawej stronie mapy wysokości widoczne wgłębienie kątem i kształtem odpowiadające konstrukcyjnemu ułożeniu skrzydła statku powietrznego biorącego udział w katastrofie. Po lewej stronie krateru wgłębienie odpowiadające kształtowi skrzydła nie występuje. Poddanie analizie obrazu ukazanego w rycinie pozwoliło na wysunięcie wniosków, że w trakcie kontaktu z ziemią statek powietrzny przechylony był na prawe skrzydło, które to wraz z wlotami powietrza spowodowało wgłębienia w ziemi odpowiadające technicznemu usytuowanie wskazanych elementów w samolocie tego typu[70].

[70] Sygnatura Akt PO VIII Ds. 9.2019



Ryc. Nr 32 – Widok chmury punktów pokazujących pomiar kąta wbicia elementów podskrzydłowych w ziemię.

Ponadto dzięki możliwości dokonania pomiaru kąta (na podstawie obliczeń trygonometrycznych) pod jakim w ziemię zostały wbite elementy podskrzydłowe skrzydła lewego możliwe było przyjęcie, że kąt wbicia elementów podskrzyłowych zbliżony był do kąta pochylenia statku powietrznego. Dzięki wykonanym pomiarom możliwe było nie tylko określenie miejsca kontaktu statku powietrznego z ziemią, lecz również określenie pochylenia i przechylenia samolotu podczas tego kontaktu.



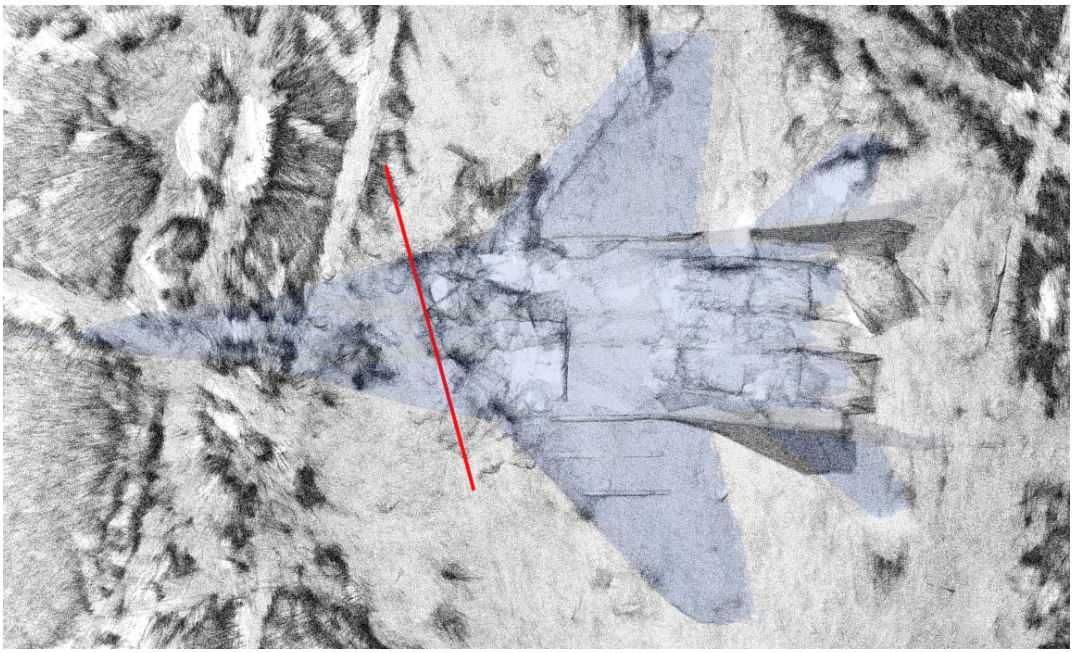
Ryc. Nr 33 – Rzut z góry chmury punktów utworzonej w miejscu katastrofy statku powietrznego ukazująca kolejność śladów żłobienia powstałych w skutek kontaktu z podłożem

Ślady kontaktu statku powietrznego z ziemią pozwalają równie na wnioskowanie oraz rekonstrukcję przebiegu przemieszczania się statku powietrznego po powierzchni ziemi. We wskazanej powyżej rycinie przedstawiono analizę śladów zarejestrowanych z zastosowaniem skanera laserowego na miejscu katastrofy lotniczej. W wyniku katastrofy statek powietrzny pozostawił na powierzchni ziemi liczne ślady żłobienia o różnym charakterze. Skanowanie laserowe 3D wyżej wskazanych śladów pozwoliło na wykonanie precyzyjnych pomiarów śladów żłobienie pod kątem ich głębokości, szerokości oraz wzajemnego usytuowania względem siebie. Następnie dokonano analizy otrzymanych wyników porównując je do danych konstrukcyjnych statku powietrznego. W wyniku przeprowadzonych porównań wykonano analizę przebiegu poruszania się statku powietrznego po powierzchni ziemi, gdzie wyszczególniono strefy żłobienia, kolejno od kierunku nalotu belki ogonowej, elementów podwozia oraz kadłuba statku powietrznego. Pozwoliło to również na określenie kursu statku powietrznego oraz stwierdzenie, że w chwili kontaktu z ziemią nie wykazywał on znacznych przechyleń.

3.1.4) Analiza zniszczenia statku powietrznego na podstawie modelu wzorcowego

Jeżeli w toku czynności śledczego badania miejsca katastrofy zaistniała możliwości wykonania modelowania statku powietrznego, takiego samego rodzaju jaki uległ zniszczeniu i model taki został wykonany, powstają możliwości do wykorzystania go do przeanalizowania powstałych zniszczeń oraz dopasowanie ich do przedmiotów na miejscu zdarzenia. Model wzorcowy pozwala również na ogólna analizę stanu zniszczenia statku powietrznego. W tym celu wykonuje się dopasowanie trójwymiarowe zeskanowanych obiektów (wraku z miejsca katastrofy oraz modelu wzorcowego) na podstawie elementów charakterystycznych takich jak elementy nitowania, stałe elementy statku powietrznego itp. W celu uniknięcia błędów dopasowania, elementy przyjęte jako podstawa dopasowania powinny znajdować się w zasadniczej części wraku w najmniejszym stopniu odkształconej w czasie zdarzenia. Prezentację wyników dopasowania można wykonać jako obrazy dwuwymiarowe, w których model wzorcowy wybarwiony zostanie na jednolity kolor i nadana zostanie mu przeźroczystość pozwalająca na dokonanie analizy odchyleń na podstawie nie pokrycia się modeli w elementach uszkodzonych. Możliwe jest również wygenerowanie mapy odchyłek. W tym wypadku wybarwienie punktów tworzących model wraku nie będzie zależało od płaszczyzny, lecz od

punktu odpowiadającemu mu na modelu wzorcowym. Elementy wraku które nie odkształciły się w czasie katastrofy przedstawione są w kolorze niebieskim.

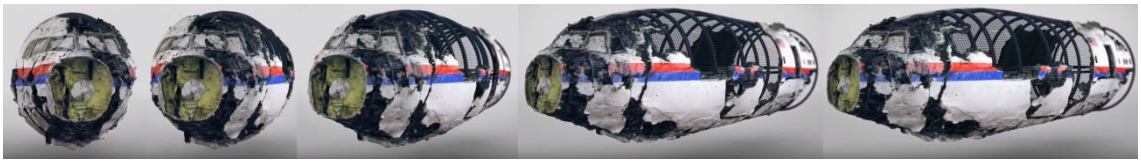


Ryc. Nr 34 – Szkic wygenerowany na podstawie skanowania laserowego miejsca katastrofy statku powietrznego z nałożoną warstwą reprezentującą model wzorcowy (przeźroczystość w kolorze niebieskim) oraz czerwona linią ukazującą linie zniszczenia kabiny.

Elementy odkształcone w zależności od poziomu ich odkształcenia przedstawione są za pomocą kolorów o różnym stopniem nasycenia w kolejności od najmniej zdeformowanych do najbardziej zniszczonych kolorami zielonym, żółtym pomarańczowym oraz czerwonym. W związku metrycznością porównywanych modeli możliwe jest również wygenerowanie legendy pokazującej wartość odchyleń reprezentowanych przez poszczególne kolory.

Ponadto dzięki modelom wzorcowym możliwe jest wykonanie rekonstrukcji polegającej na dopasowaniu poszczególnych elementów wraku zeskanowanych na miejscu katastrofy do ich umiejscowienia na modelu wzorcowym. Dopasowanie zasadniczych elementów pozwala na określenie miejsc w których dekompozycja poszycia wraku wskazuje na charakter zdarzenia który ją spowodował. Badanie takie zostało przeprowadzone podczas dochodzenie przyczyn katastrofy, która zaistniała 17 lipca 2014 r. na terenie Republiki Ukrainy, w której to wypadkowi uległ samolot pasażerski Malaysia Airlines Boeing 777 nr lotu MH17. W wypadku zginęli wszyscy pasażerowie oraz członkowie załogi, łącznie 298 osób. Wszystkie z ciał odnalezionych na miejscu katastrofy oraz zasadnicze elementy wraku zostały

przewiezione do Holandii. Przeprowadzona została szczegółowa analiza wszystkich z przywiezionych części wykonując ich wizualizację i modelowanie. Następnie wykonano rekonstrukcję wraku w sposób cyfrowy oraz w sposób fizyczny umiejscawiając elementy wraku na specjalnie wykonanym stelażu. Dzięki przeprowadzonej rekonstrukcji zostały wysunięte wnioski, stwierdzające, że do katastrofy doszło z powodu zestrzelenia samolotu rakietą typu ziemia powietrze. Świadczyły o tym zniszczenia stwierdzone w lewej stronie kadłuba na wysokości kabiny pilotów. W poszyciu samolotu stwierdzono wiele uszkodzeń spowodowanych elementami odłamującymi będącymi częścią budowy rakiety.

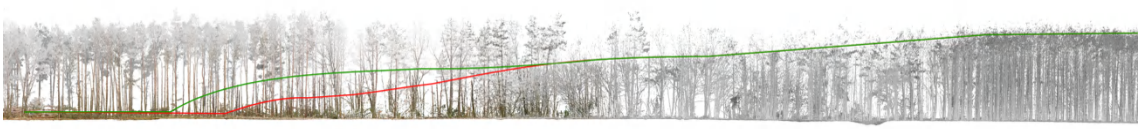


Ryc. Nr 35 – Model cyfrowy rekonstrukcji samolotu MH17 który uległ katastrofie 17 lipca 2014 r. na terytorium Republiki Ukrainy.(rycina wykonana na podstawie klatek wyciętych z filmu „Reconstruction of MH17 wreckage" adres: https://www.youtube.com/watch?v=8dbIWB9Rw9Q)

3.1.5) Analiza i rekonstrukcja ostatnich sekund lotu na podstawie połamanych drzew oraz zniszczeń innych przeszkód terenowych

Wypadki lotnicze zaistniałe w wyniku usterek technicznych bardzo często zlokalizowane są w niezabudowanych terenach otwartych lub zalesionych. Wiąże się to z faktem, że pomimo usterek technicznych i wiedzy o nieuchronności wypadku pilot dzięki wysokości oraz prędkości postępowej statku powietrznego częstokroć posiada możliwości pilotażu na zasadzie lotu szybowcowego. Jako przykład takich lotów można podać lądowanie na rzece Hudson w Nowym Jorku, w którym to dzięki wiedzy i umiejętności pilota wypadek lotniczy samolotu pasażerskiego przeżyli wszyscy pasażerowie i członkowie załogi. Analiza katastrof lotniczych pokazuje również, że w wypadku katastrof zakończonych śmiercią osób znajdujących się w statku powietrznym pilot w większości wypadków kieruję maszynę w teren niezabudowany w celu uniknięcia ofiar wśród ludności zamieszkującej rejon katastrofy.

W przypadku upadku statku powietrznego w terenie zalesionym lub takim, w którym występują przeszkody terenowe o znacznej wysokości możliwe jest wykonanie analizy przebiegu ostatnich sekund lotu na podstawie zniszczeń wyrządzonych przez upadający statek powietrzny.



Ryc. Nr 36 - Rzut pionowy chmury punktów wytworzonej na miejscu katastrofy lotniczej z uwidocznionym łamaniem drzew oraz przeprowadzoną na jej podstawie rekonstrukcji ścieżki lotu. Kolorowe linie reprezentują ścieżki lotu krańców skrzydeł.

W przypadku analizy dwóch katastrof lotniczych podczas których wykonane zostały badania przedstawione w dysertacji, w których statek powietrzny w wyniku zdarzenia wleciał w teren zalesiony można było wyróżnić trzy typy śladów pozostawione na drzewostanie:

- Ślady cięcia drzew;

  Powstają wskutek kontaktu lecącego statku powietrznego z drzewem elementem statku na tyle wytrzymałym, że powoduje ścięcie przeszkody. Na skutek kontaktu zostaje ścięte drzewo, a ślady kontaktu z nim w postaci wgięć lub pęknięć powstają na powierzchni elementu mającego kontakt z drzewem. Ślady powstałe w ten sposób na statku powietrznym swoim kształtem i średnicą odpowiadają średnicy ściętego drzewa.



Ryc. Nr 37 – Ślady cięcia drzew pozostawione na elemencie statku powietrznego.

- Ślady kontaktu z drzewem elementów krańcowych statku powietrznego;

  Powstają w skutek kontaktu elementów wysuniętych najdalej od osi lotu statku powietrznego z drzewem lub inną przeszkodą terenową w sposób nie powodujący

dekompozycji żadnego z elementów. Ślady te najczęściej pozostawione są przez skraje skrzydeł lub łopat nośnych, jednak mogą zostać utworzone przez inne elementy w wypadku obrotu statku powietrznego w czasie przebiegu zdarzenia. Ślady występują na skrajach linii cięcia drzew. Są niezwykle cenne na potrzeby przeprowadzenia rekonstrukcji, gdyż w połączeniu analizy linii cięcia drzew pozwalają nie tylko na określenia przechylenia statku powietrznego, lecz równie jego dokładne zlokalizowanie w przestrzeni. Dane takie wraz z szerokością wycinanego pasa drzew pozwalają dodatkowo na określenie czy samolot obrócił się w trakcie zdarzenia.



Ryc. Nr 38 – Ślady łamania drzew oznaczone w zielonym okręgu. Ślad krańcowego kontaktu oznaczony w czerwonym okręgu.

- Ślady uderzenia w drzewo elementów samolotu powodującego jego rozpad.

  Ślady takie powstają wskutek kontaktu elementów statku powietrznego z drzewem, w którym następuje rozpad elementu. Ślady takie wykazują podobieństwo do śladów krańcowych. Różnica między nimi polega na tym, że zasadnicze miejsce powstania takiego śladu jest umiejscowione prostopadle do kierunku lotu. Ponadto często ślad ten otacza drzewo. W wypadku śladów krańcowych ślady takie są znacznie mniejsze i kierunek ich występowania i przebiegu jest równoległy do kierunku nalotu. Rozpad elementu samolotu często powoduje wbicie się drobnych jego elementów w strukturę drzewa.

W trakcie wykonywania analiz przebiegu katastrof, wykorzystuje się wszystkie z wymienionych powyżej rodzajów śladów. Skanowanie laserowe w znacznym stopniu ułatwiło dokonanie rekonstrukcji lotu. Dzięki „obiektywizmowi" dokonanych z użycie skanera pomiarów oraz ilości wykonanych pomiarów (ok. 11 milionów punktów na minutę) na otrzymanej chmurze punktów przedstawiającej trójwymiarowe odwzorowanie miejsca katastrofy, możliwe było precyzyjne wykonanie pomiaru wysokości ściętych drzew. Na potrzeby analizy wykonano pomiar 57 drzew ściętych na ścieżce lotu statku powietrznego. Pomiar wysokości wykonano względem jednego punktu znajdującego się na powierzchni ziemi nieopodal wraku. Pomiar taki umożliwił rekonstrukcję lotu odnoszącą się do jednego poziomu podstawowego. Następnie wysokości drzew naniesiono na plan miejsca wygenerowany z chmury punktów. Kolejnym elementem badania przebiegu ostatnich sekund lotu było wydzielenie plastrów modelu miejsca zdarzenia o szerokości 4 metrów oraz odległości pomiędzy środkami kolejnych plastrów 9 m na całej długości lotu na której zostały ścięte drzewa. Plastry ustawione były prostopadle do kierunku lotu. Rzut pionowy wycinka uszkodzonej części lasu wraz wydzielonymi plastrami został przedstawiony na planie.

W wydzielonych plastrach modelu miejsca zdarzenia dokonano pomiaru kąta ścinania drzew określając ślady krańcowe. Pozwoliło to na określenie przechylenia samolotu, jego wysokości oraz obrotu w każdym z wydzielonych plastrów. Na podstawie analizy kąta ścinania drzew wytypowano miejsce pierwszego kontaktu statku powietrznego z ziemią. Pozwoliły na to również ślady kontaktu krańcowych elementów samoloty z drzewem, tuż nad wysokością gruntu. Typowane miejsce pokryło się ze „śladem krańcowym". W celu określenia prędkości z jaką następował ruch w ostatnich sekundach lotu dokonano analizy zapisu rejestratorów katastroficznych oraz rejestratora wideo ukazującego widok z kabiny pilota. Jako ostatni wiarygodny pomiar parametrów przyjęto moment tuż przed zetknięciem się statku powietrznego z drzewami. Na ich podstawie określono pochylenie, przechylenie, kurs oraz prędkość statku powietrznego. Następnie dokonano analizy materiału wideo separując z niego każdą z zapisanych klatek od momentu pierwszego kontaktu z drzewami do zatrzymania się statku powietrznego. Klatki materiału wideo dopasowywano kolejno do plastrów wygenerowanych ze skanów 3D porównując kąt cięcia drzew oraz ogólny wygląd drzewostanu. Na tej podstawie określono istotny dla przebiegu lotu punkt, w którym na skutek uderzenia dużym elementem statku powietrznego w drzewo nastąpiło jego przechylenie oraz obrót. Dopasowując kolejne klatki wycięte z materiału wideo do plastrów, określono prędkość z jaką

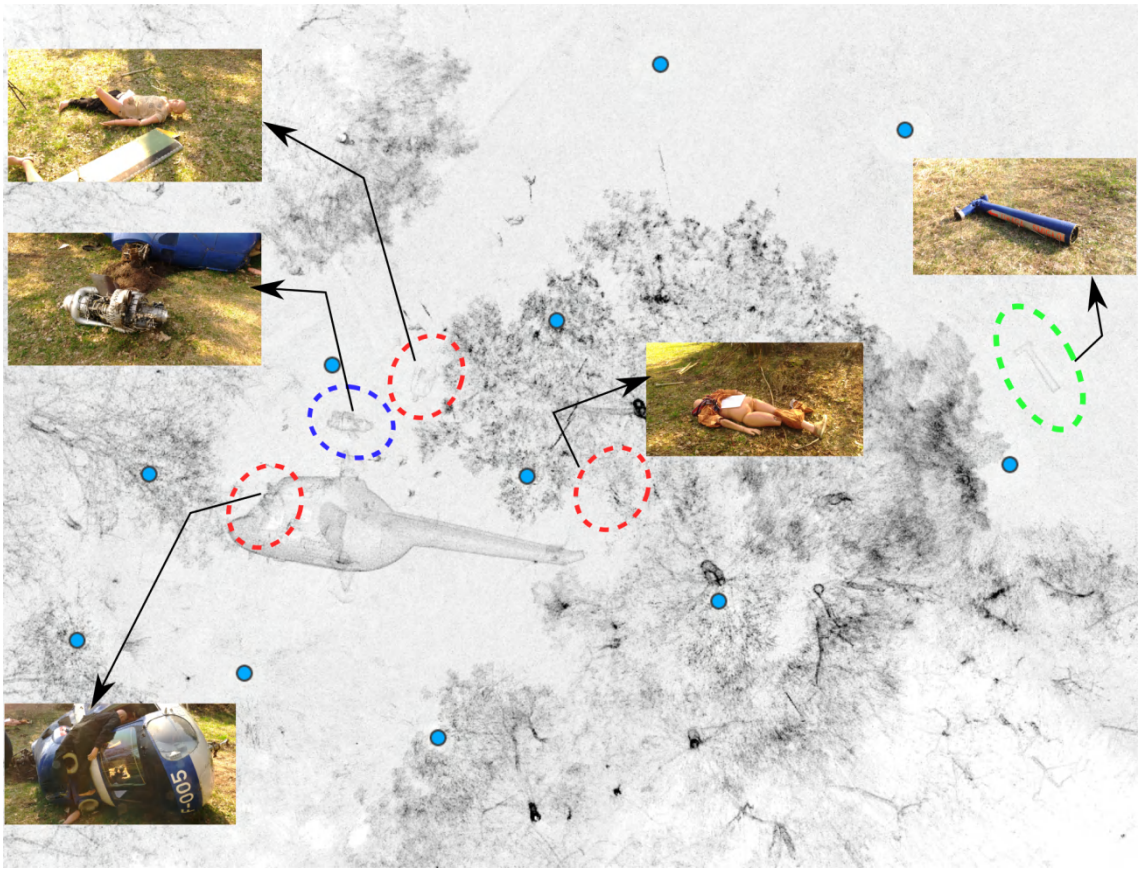
statek poruszał się po kolejnych cięciach drzew. Uzyskane w ten sposób dane, czyli przechył, wysokość oraz prędkość statku powietrznego wprowadzono do oprogramowania pozwalającego na generowanie animacji 3D. Na potrzeby animacji wykorzystano model wzorcowy wykonany poprzez zeskanowanie statku powietrznego tożsamego ze statkiem biorącym udział w zdarzeniu. Wykonaną animację nałożono na skan 3D miejsca katastrofy sprawdzając zbieżność animacji przelotu ze śladami. Na potrzeby badania katastrofy wytworzono dokumentację w postaci planów, animacji oraz rycin przedstawiających analizę 3D poszczególnych śladów na miejscu zdarzenia. W przedstawionych poniżej planach kryminalistycznych zaciemnione został dane pozwalające na identyfikację katastrofy. Ponadto w planach dokonano zmian liczbowych danych w nich zawartych[71].

3.1.6) Analiza rozłożenia elementów statku powietrznego na miejscu zdarzenia

Sposób dekompozycji statku powietrznego na miejscu katastrofy pozwala na dokonanie badania rozkładu sił ją powodujących. Dzięki zastosowaniu skanera laserowego zarejestrowanie położenia nawet wielu części ułożonych względem siebie, w dużych odległościach nie sprawia problemu. W zależności od modelu wykorzystywanych skanerów laserowych, promień pomiaru wykonywanego przez urządzenie z jednego miejsca zawiera się w przedziale od 70 do nawet ponad 300 metrów. Pozwala to na zobrazowanie miejsc katastrofy cechujących się dużą rozległością. W wypadku, kiedy rozpad statku powietrznego nastąpił na dużej wysokości rozlokowanie poszczególnych jego elementów na powierzchni ziemi może wynosić nawet kilka kilometrów. Zastosowanie skanerów laserowych w tym wypadku pozwala również na precyzyjne ich usytuowanie dzięki zamontowanym w większości tego typu urządzeń precyzyjnych odbiorników GPS rejestrujących za każdym razem pozycję geograficzną skanera, podczas wykonywania pomiarów. W badanych katastrofach wykorzystano analizę położenia elementu w postaci goleni prawej statku powietrznego, jej położenia względem wraku zasadniczego, miejsca pierwszego kontaktu z ziemią oraz śladu pozostawionego przez nią na przeszkodzie terenowej. Badanie to pozwoliło na wyciagnięcie wniosków, że nagła zmiana przechylenia oraz pochylenia statku powietrznego nastąpiła na skutek uderzenia golenią prawą w przeszkodę terenową. W wyniku uderzenia nastąpiło oderwanie się wyżej wskazanego elementu od zasadniczej części wraku. W wypadku skanowania miejsca zdarzenia z wykorzystaniem skanerów laserowych należy jak już zostało

[71] Sygnatura Akt PO VIII Ds. 150.2017

to opisane czynność tę zaplanować. Ma to szczególne znaczenie przy wykonywaniu późniejszej rekonstrukcji zdarzenia na podstawie rozłożenia elementów istotnych. W tym wypadku dobrze jest już na etapie planowania określić elementy istotne i zaplanować ustawienie urządzenia w czasie wykonywania skanowania w ich pobliżu. Do określenia elementów istotnych wymagane jest posiadanie wiedzy specjalnej z zakresu lotnictwa, dlatego też zasadnym jest w etapie planowania skanowania wykorzystać wiedzę członków Komisji Badania Wypadków Lotniczych, lub innych osób będących na miejscu zdarzenia, a taką wiedzę posiadających.



Ryc. Nr 39 – Usytuowanie pozycji skanera (niebieskie punkty) na miejscu katastrofy z widocznymi elementami istotnymi do wykonanie rekonstrukcji jej przebiegu. Zielony owal ukazuje usytuowanie belki ogonowej. Czerwone owale przedstawiają usytuowanie manekinów pozorujących zwłoki. Niebieski owal przedstawia usytuowanie silnika. Fotografii wygenerowane ze skanów 3D przedstawiają elementy oznaczone przez owale.

3.1.7) Stworzenie mapy usytuowania zwłok na miejscu zdarzenia

Tak jak w przypadku usytuowania elementów statku powietrznego tak i na podstawie rozmieszczenia zwłok na miejscu katastrofy lotniczej można pozyskać informacje ułatwiające przeprowadzenie rekonstrukcji zdarzenia. Dane takie mają szczególne znaczenie w przypadku katastrof masowych, gdzie występuje duża liczba ofiar. Rozmieszczenie zwłok na miejscu

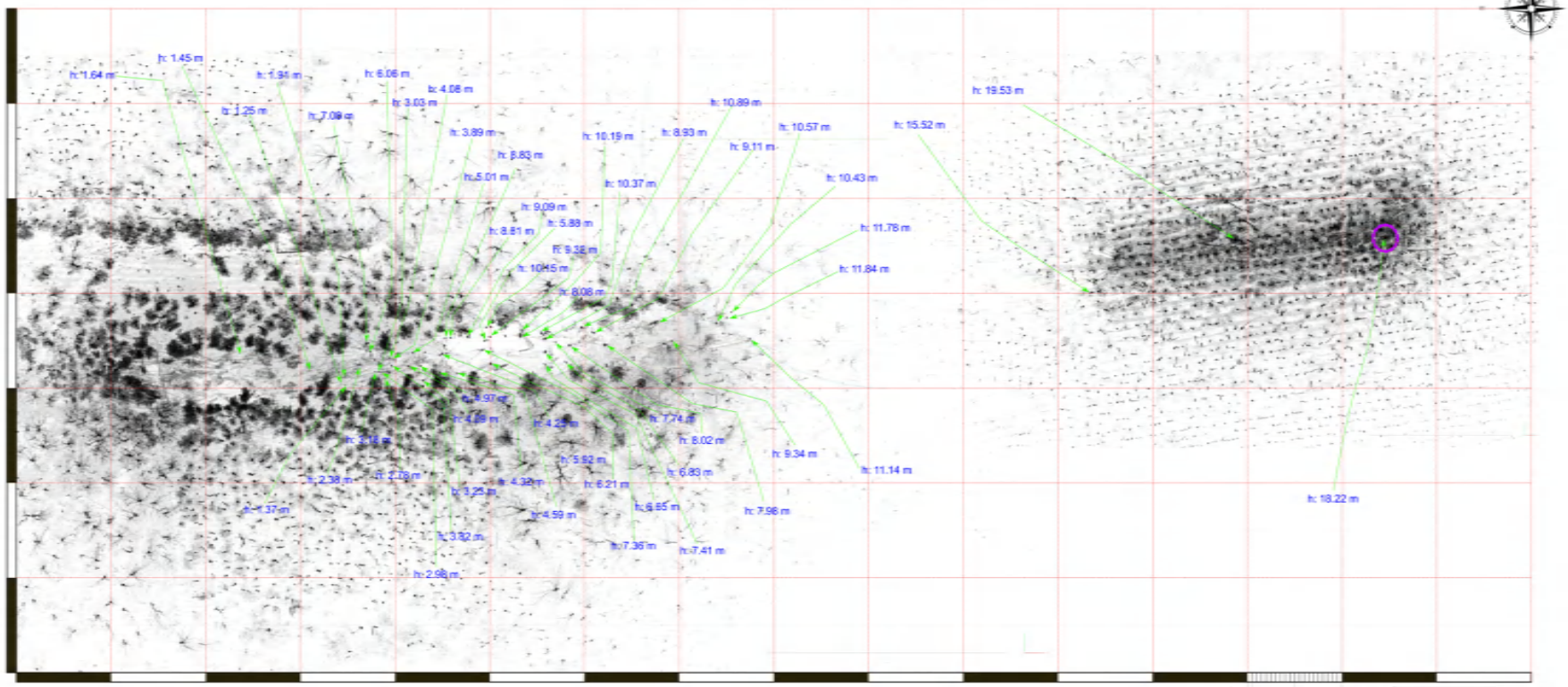
katastrofy w powiązaniu z listami pasażerów oraz ich rozmieszczeniem na poszczególnych miejscach w statku powietrznym, pozwala nie tylko na rekonstrukcje dekompozycji statku powietrznego, ale również wytypowanie ofiar, które mogły znajdować się najbliżej miejsca w statku powietrznym, które jest w szczególnym zainteresowaniu organów ścigania. Typowanie takie pozwala na pobranie dodatkowych próbek do badań z szerokiego spektrum badań kryminalistycznych np. pod kątem występowania śladów materiałów wybuchowych. Dodatkowym aspektem tworzenia mapy rozmieszczenia zwłok jest powiększenie możliwości identyfikacyjnych. Mapy rozmieszczenia zwłok w połączeniu z wyżej wspomnianymi listami pasażerów zawęża listę osób oraz zmniejsza liczę badań genetycznych niezbędnych do wykonania. Ponadto w połączeniu z modelowaniem wykonanym na potrzeby identyfikacji osób na podstawie wizerunku oraz cech szczególnych pozwala sprawniej przeprowadzić tak istotny pod względem nie tylko procesowym, lecz również moralnym proces identyfikacji ofiar katastrof lotniczych.

sygnatura: [redacted]

PLAN

Miejsca wypadku statku powietrznego [redacted]

(rzut poziomy miejsca wypadku z oznaczeniami wysokości połamanych drzew)



Legenda:

h: 19.53 m → Wskazanie połamanego drzewa znajdującego się na trasie lotu statku powietrznego [redacted] wraz z pomiarem jego wysokości od poziomu gruntu wykonanym za pomocą skanu 3d miejsca wypadku.

Miejsce pierwszego kontaktu statku powietrznego z drzewami.

skala: 20 m 10 m

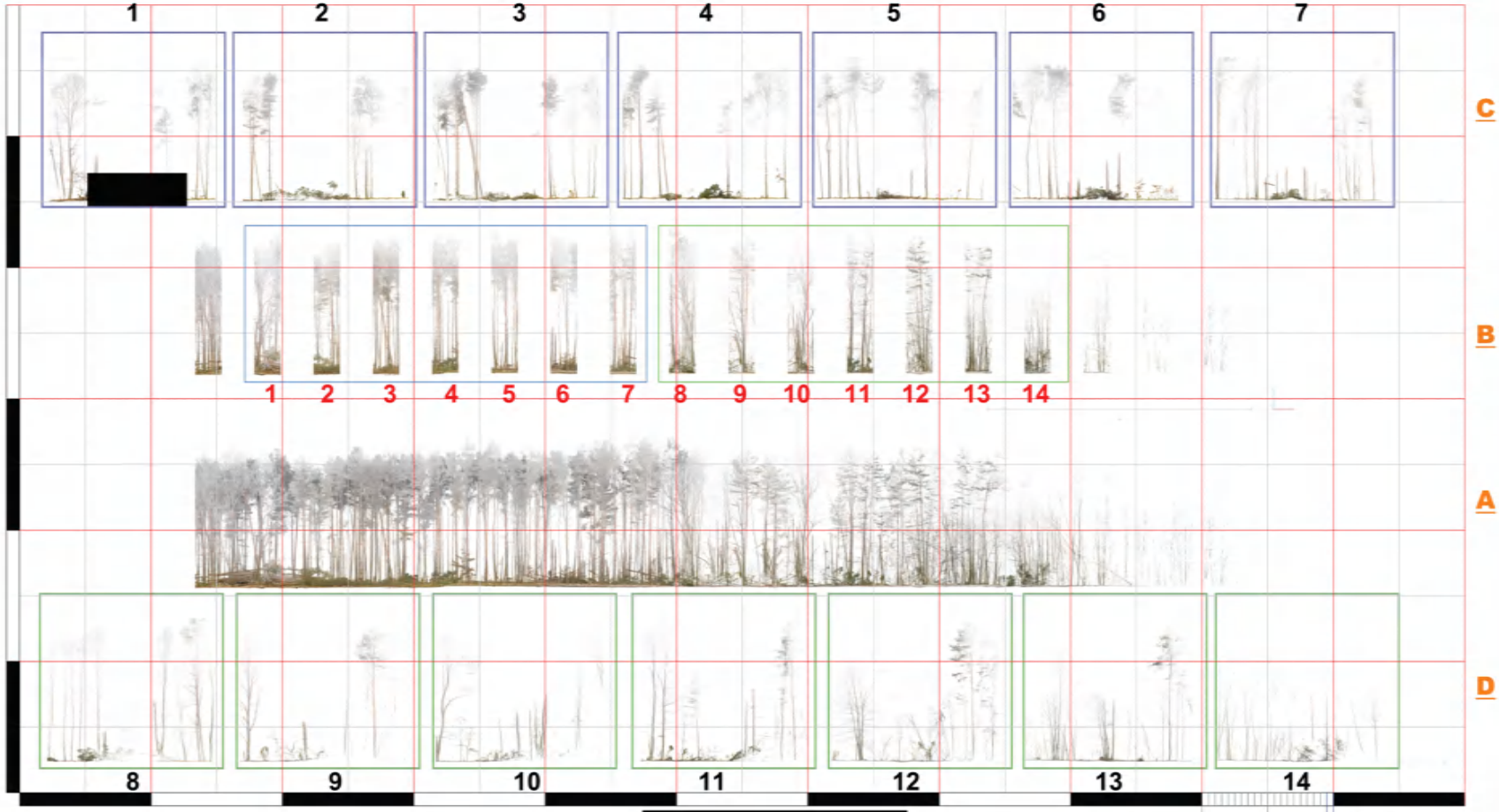
[redacted]

sygnatura: [redacted]

PLAN

[redacted]

Miejsca wypadku statku powietrznego [redacted]
(rzyt pionowy miejsca przyziemienia wraz z wyszczególnionymi segmentami o szerokości 4metry ukazującymi kąt ścinania drzew)



Legenda:

A *Widok pasa lasu patrzą z kierunku zachodniego w kierunku wschodnim prostopadle do kierunku lotu*
B *Widok pasa lasu patrzą z kierunku zachodniego w kierunku wschodnim prostopadle do kierunku lotu z wydzielonymi segmentami o szerokości 4 i rozstawie pomiędzy środkami segmentów 9 m*
C *Widok pierwszych siedmiu segmentów patrząc w kierunku północnym zgodnie z kierunkiem lotu.*
D *Widok siedmiu (od 8 do 14) segmentów patrząc w kierunku północnym zgodnie z kierunkiem lotu.*

[redacted]

1 do 14
numery segmentów widzianych w kierunku północnego zgodnie z kierunkiem lotu. Numery odpowiadają numerom segmentów widzianych z kierunku zachodniego w kierunku wschodnim.

skala: *20,00 m*
10,00 m
1,00 m

[redacted]

3.2) Wykorzystanie modelowania fotogrametryczną metodą SFM na potrzeby badania katastrof lotniczych

Poza techniką skanowania laserowego miejsca katastrof lotniczych zastosowanie na miejscu zdarzenia oraz w dalszym badaniu przebiegu i przyczyn katastrofy lotniczej znajduje fotogrametryczne modelowanie techniką SFM. Pozwala ona na dokonanie modelowania geometrii, rozmiarów oraz foto realistycznego wyglądu elementów statku powietrznego, czy wizerunku i ułożenia zwłok na miejscu zdarzenia. Dzięki modelowaniu SFM możliwe jest również dokonanie rekonstrukcji małych przestrzeni, takich jak kabina pilota, ukazujących dokładne położenie przełączników oraz wskaźników. Odrębnym elementem modelowania miejsca zdarzenia, lecz zawierającym się w technice fotogrametrycznej jest wykorzystanie obrazów dwuwymiarowych w postaci filmów oraz fotografii uzyskanych w wykorzystaniem bezzałogowych statków powietrznych. W chwili obecnej zamontowane na takich platformach urządzenia rejestrujące obraz posiadają bardzo duża rozdzielczość dzięki czemu możliwe jest zobrazowanie miejsca zdarzenia z zupełnie innej perspektywy. Dodatkowo zamontowane w nich odbiorniki GPS pozwalają również na precyzyjne lokalizowanie miejsca, z którego obrazowanie zostało wykonane. Dane te mogą być wykorzystywane nie tylko do analizy dwuwymiarowych obrazów, lecz posłużyć mogą do wykonania rekonstrukcji fotogrametrycznej zdarzenia umożliwiającej analizę geometrii oraz wymiarów miejsca zdarzenia.

3.2.1) Czynności wykonywane z wykorzystaniem aparatu fotograficznego lub kamery wideo

Podczas śledczego badania miejsca zdarzenia aparat fotograficzny oraz kamera wideo są standardowym wyposażeniem wykorzystywanym przez techników kryminalistyki oraz członków Komisji Badania Wypadków Lotniczych. Odpowiednie ich wykorzystanie pozwala na zarejestrowanie wyglądu miejsca zdarzenia nie tylko w sposób podstawowy poprzez dwuwymiarowe obrazy, lecz również zrekonstruowanie geometrii oraz szczegółowego wyglądu. Technika wykonywania obrazowania dwuwymiarowego na potrzeby modelowania 3D nie odróżnia się od opisanej wcześniej czynności obrazowania SFM. Niezbędne do ich wykonania również będzie zastosowanie takich elementów jak, aparat fotograficzny lub kamera

wideo, przymiar o odpowiedniej wielkości, wzornik koloru, oraz w razie wykonywania obrazowania w warunkach ograniczonej widoczności oświetlenie zewnętrzne.

Tak jak w przypadku skanowania laserowego czynności zmierzające do modelowania 3D za pomocą techniki SFM powinny być szczegółowo opisane w protokole oględzin. W wypadku obrazowania SFM niezbędne jest umieszczenie zapisu mówiącego o celu wykonywania fotografii lub filmu, oraz określenie konkretnych obiektów poddanych obrazowaniu. Niezbędne jest również określenie liczby fotografii lub czasu wykonanego filmu z wyszczególnieniem każdego z modelowanych obiektów. Tak jak w przypadku zastosowania innych środków technicznych podczas przeprowadzenia oględzin, tak w przypadku obrazowania SFM w protokole oględzin powinny być zawarte również informację dotyczące rodzaju wykorzystywanego sprzętu wraz z wyszczególnieniem jego modelu oraz numerów seryjnych, a także danych personalnych specjalisty wykonującego czynność.

Czynności wykonywane na potrzeby modelowania SFM, tak jak to ma miejsce z zastosowaniem skanera, powinny być wykonane niezwłocznie po przystąpieniu do oględzin, w sposób umożliwiający przedstawienie pierwotnego wyglądu miejsca zdarzenia. W pierwszej kolejności powinniśmy wykonać obrazowanie elementów znajdujących się w znacznej odległości od wraku. Jako elementy które powinny zostać zobrazowane techniką SFM należy wskazać elementy, które są kluczowymi dla statku powietrznego oraz jego lotu. Jako kolejną grupę elementów, która dzięki modelowaniu 3D pozwala na dokonanie analizy w przestrzeni 3D, należy wskazać grupę zwierającą fragmenty statku powietrznego, które ze względu na charakter zniszczeń jakie na nich występują, mogą posłużyć do odtworzenia mechanizmów ich powstania. Istotnym elementem jaki daje możliwość modelowania SFM na miejscu katastrofy lotniczej jest zastosowanie go w celu wykonania modelowania ułożenia zwłok oraz rejestracja ich wizerunku twarzy oraz cech szczególnych. Pozwala to na dokonanie identyfikacji indywidualnej ofiar katastrofy oraz analizę poszczególnych obrażeń powstałych w czasie przebiegu katastrofy. Wykonanie fotografii zwłok oraz ich wizerunku powinny być wykonywane w obecności prokuratora oraz w miarę możliwości lekarza specjalisty z zakresu medycy sądowej, w ramach czynności oględzin zewnętrznych zwłok w miejscu ich znalezienia. Zwłoki na fotografiach powinny być oznaczone indywidualnym numerem widocznym na wszystkich wykonywanych fotografiach.

3.2.2) Czynności wykonywane z wykorzystaniem bezzałogowych statków powietrznych

Wykorzystanie bezzałogowych statków powietrznych na miejscu zdarzeń o charakterze kryminalnym staję się czynnością coraz bardziej powszechną[72]. Dzieje się tak na skutek coraz większej dostępności dronów oraz stosunkowo niskiej ich cenie, która nie przewyższa ceny aparatu fotograficznego średniej klasy. W chwili obecnej w znacznej mierze wykorzystanie ich na miejscu zdarzenia ogranicza się tylko do wykonania fotografii lub filmów wideo z „ptasiej" perspektywy, które pomimo niezaprzeczalnie olbrzymich walorów poglądowych nie wnoszą wiele do procesu dowodzenia. Dokonując analizy możliwości wykorzystania dronu na miejscu zdarzenia lotniczego należy stwierdzić, że możliwości ich znacznie wykraczają poza charakter ogólno - poglądowy. Dzieje się tak z kilku powodów. Po pierwsze dzięki wbudowanym w większość bezzałogowych statków powietrznych odbiornikom GPS podczas wykonywania lotu stale ustalane jest położenie dronu na podstawie danych satelitarnych. Geotagi pokazujące jego położenie w postaci długości oraz szerokości geograficznej, jak również dane dotyczące wysokości nad poziomem morza automatycznie zapisywane są w metadanych fotografii wykonywanych za jego pomocą. Dzięki tym danym możliwe jest dokonanie precyzyjnego usytuowania w przestrzenia sensora optycznego jakim jest aparat fotograficzny zamocowany na dronie. W połączeniu z graficznym plikiem zarejestrowanym przez urządzenie uzyskujemy możliwość nie tylko wykonania samego modelowania SFM lecz również spowodowanie że już na etapie automatycznego przetworzenia staną się one metryczne. Kolejnym elementem pozwalającym na precyzyjne wymodelowanie przestrzeni jest jakość zastosowanych na dronach matryc światłoczułych. Ich duża rozdzielczość oraz wielkość samego sensora pozwalają na uzyskanie wysokiej jakości fotografii oraz materiału wideo o rozdzielczości 4K, a nawet i większej, z prędkością zapisu sięgającą nawet 120 klatek na sekundę. Wyseparowane z takiego materiału klatki cechują się jakością nie gorszą od standardowych fotografii. Fakt ten jest niezwykle istotny w przypadku wykorzystania bezzałogowca na miejscu zdarzenia lotniczego ze względu na dużą ilość drobnych elementów które powinny zostać uwidocznione na generowanym modelu.

Na miejscu katastrofy lotniczej zgodnie z metodyką badania katastrof lotniczych opracowaną przez Prokuraturę Krajową w 2019 r. należy wykonać film ukazujący kierunek

[72] Por. M. Rusek, *Dron na oględzinach,* Problemy Kryminalistyki 293/2016, s. 24 i nast., a także Ł. Ziemnicki, *Fotografia cyfrowa – formaty plików i sygnalityka,* Problemy Kryminalistyki 250/2005, s. 31 i nast., A. Sobolewski, W Nowicki, *Fotografia cyfrowa w kryminalistyce – aspekty techniczno – prawne,* Problemy Kryminalistyki 256/2007, s. 71 i nast.

nalotu statku powietrznego jak również nalot w kierunku przeciwnym do nalotu statku powietrznego. Zapis ten nie wyczerpuje możliwości zastosowania dronu w czasie czynności oględzin miejsca katastrofy lotniczej. Film uzyskany w taki sposób nie pozwala również na dokonanie analizy przebiegu ostatnich sekund lotu gdyż ścieżka przelotu dronu nie jest zbieżna ze ścieżką przelotu statku powietrznego, który uległ wypadkowi. Z tych samych powodów niemożliwe jest określenie otoczenia widzianego przez pilota. W związku powyższym należy stwierdzić, że taki sposób obrazowania miejsca spełnia tylko i wyłącznie rolę poglądową.

Aby możliwe było pełne dokonanie analizy miejsca katastrofy lotniczej na podstawie obrazowania wykonanego z bezzałogowego statku powietrznego, konieczne jest zastosowanie innej metodyki jego zastosowania. Po pierwsze elementem podstawowym uzyskanym z dronu powinny być fotografie nie materiał wideo. Fotografię cechuje wyższa rozdzielczość oraz metadane lokalizujące pozycję sensora na każdej fotografii. Po drugie nie jest konieczne wykonywanie dwóch nalotów. W celu wykonania fotografii wykonujemy jeden nalot, w którym rejestrowane są z odpowiednią częstotliwością fotografie zachodzące na siebie w sposób umożliwiający ich połączenie (ok. 10 % powierzchni fotografii powinien ukazywać fragment zobrazowany na kolejnej fotografii).

W zależności od obszaru poddanego obrazowaniu liczba wykonanych fotografii zawierać się powinna w przedziale od kilkudziesięciu do kilkuset. Dzięki zastosowaniu specjalistycznego oprogramowania możliwe jest również zaplanowanie autonomicznej misji, w której bezzałogowiec bez ingerencji operatora przeleci zaplanowaną trasę wykonując sekwencję fotografii na potrzeby obrazowania. Planowanie przelotu odbywa się na fotografii satelitarnej dostępnej w serwisach takich jak google maps, na których nie widoczne jest wrakowisko. W związku z powyższym należy w pierwszej kolejności określić rozległość obrazowanej katastrofy, a w etapie nanoszenia skrajnych punktów obrazowania wskazać je z odpowiednim zapasem minimalizując zagrożenie nie objęcia nalotem całości obrazowanego miejsca. W fazie planowania przelotu należy również określić wysokość przelotu na pułapie ponad najwyższą przeszkodą terenową. Obiektyw sensora podczas wykonywania fotografii powinien być skierowany prostopadle do powierzchni ziemi. Nastawienie takie sprawdza się w większości przypadków, jednak w wypadku znajdowania się w obrazowanej przestrzeni obiektów wysokich których boczne powierzchnie są pionowe niezbędne jest uzupełnienie materiału o fotografie ukazujące obiekt z boku, wykonane z niższego pułapu z sensorem skierowanym w na bok obiektu. Ponadto materiał wykonany z dronu wzbogacić można o

fotografie wykonane standardowym aparatem fotograficznym z powierzchni ziemi z zastosowaniem zasad techniki SFM.

W czasie wykonywania nalotów nad miejscem katastrofy lotniczej należy pamiętać o zasadach bezpieczeństwa wykonywania lotu oraz przestrzeganiu prawa w zakresie obsługi bezzałogowych statków powietrznych. Operator powinien posiadać w zależności od rodzaju wykonywanego lotu uprawnienie VLOS[73] lub BVLOS[74] oraz powinien spełnić wszystkie wymagania formalne przed przystąpieniem do realizacji nalotu.

3.2.3) Modelowanie fotogrametryczne SFM w warunkach podwodnych

Wiele z katastrof lotniczych mających miejsce w ostatnim czasie wydarzyło się w miejscach całkowicie pokrytych wodą, nad powierzchnią mórz i oceanów. Spośród wielu wymienić można katastrofę lotu Air France 447 mającą miejsce w 2009 r. na Oceanie Atlantyckim, czy Malaysia Airlines 370 który zaginął w marcu 2014 r. nad Morzem Indyjskim. W takich wypadkach niemożliwe jest przeprowadzenie standardowych oględzin miejsca. Wydobycie elementów statku powietrznego z wody bez ingerencji w ich geometrie oraz kształt jest wręcz niemożliwe. W takim wypadku zasadnym jest przeprowadzenie oględzin elementów znajdujących się na dnie zbiornika wodnego. Aby dokonać takich czynności niezbędne jest wykorzystanie osób posiadających specjalne umiejętności z zakresu nie tylko nurkowania, ale również z zakresu prowadzenia czynności procesowych. Ze względu na małą częstotliwość zdarzeń, w których niezbędne dokonanie jest czynności oględzin pod wodą, szkolenie nurków nie jest praktyką powszechną podczas szkolenia funkcjonariuszy komórek dochodzeniowo-śledczej czy techników kryminalistyki[75]. W praktyce bardzo trudno znaleźć jest w krótkim czasie osoby mogące podjąć się takich czynności w związku z tym realizowane są one przez nurków nie posiadających wiedzy z zakresu procesu karnego oraz kryminalistyki i ograniczają się do czynności poszukiwawczych oraz obrazowania fotograficznego lub wideo.

[73] /visual line of sight/ - uprawnienia podstawowe niezbędne do komercyjnego wykonywania lotów w zasięgu wzroku pilota bezzałogowego statku powietrznego. Sterowanie oraz nawigacja odbywa się za pomocą nieuzbrojonego oka poprzez obserwację bezpośrednią.
[74] /beyond visual line of sight/ - uprawnienia podstawowe niezbędne przy komercyjnym wykonywaniu lotów w zasięgu i poza zasięgiem wzroku pilota. Sterowanie oraz nawigacja opiera się na obserwacji pośredniej obrazu wysyłanego z dronu w czasie rzeczywistym.
[75] Por. S. Ożga, Z. Rudnicki, T. Wardziukiewicz, *Przeprowadzenie oględzin pod wodą na potrzeby organów ścigania,* Problemy Kryminalistyki 111/74, s. 542 i nast.



Ryc. Nr 40 – Model 3D wraku samolotu Messershmitt spoczywającego na dnie morskim wykonany technika fotogrametryczną SfM.

(źródło pobrania modelu: https://sketchfab.com/3d-models/messerschmitt-49655a05cbe346808d810ad88f86066e)

W przypadkach tych należy przeprowadzić z osobą wykonującą nurkowanie instruktarz ukierunkowany na wykonanie obrazowania zgodnie z zasadami modelowania SFM, oraz zaopatrzyć ją w dodatkowe wyposażenie w postaci przymiarów geodezyjnych, które powinny zostać umieszczone przy obrazowanym elemencie wraku przed przystąpieniem do wykonywania obrazowania.

Pozyskane w taki sposób obrazy, tak jak w przypadku modelowania SFM w standardowych warunkach pozwalają na wykonanie modeli 3D w postaci chmury punktów oraz teksturowanych modeli 3D, które pozwalają na odtworzenie położenia poszczególnych elementów wraku na dnie zbiornika wodnego przed częstokroć niszczącymi czynnościami podniesienia elementów wraku z dna.

Innym sposobem na pozyskanie obrazów na potrzeby modelowania SFM z dna zbiorników wodnych jest zastosowanie coraz bardziej powszechnych dronów podwodnych. Niestety ze względu na ograniczenia związane z rozchodzeniem się fal elektromagnetycznych w wodzie ich zasięg ograniczony jest długością zastosowanego kabla transmitującego. Najczęściej spotykana długość waha się w przedziale 100 – 200 metrów. Pozwalają one jednak

na śledzenie na żywo obrazu uzyskanego z dronu. Nie wymagają również kosztownego i długotrwałego szkolenia nurkowego realizowanego dla funkcjonariuszy organów ścigania.

3.2.4) Modelowanie SFM wykonywane po czynnościach oględzinowych miejsca

Po wykonaniu oględzin oraz zabezpieczeniu wszystkich śladów oraz elementów na miejscu zdarzenia możliwe jest wykonanie ich modelowania w warunkach kontrolowanych. W takich przypadkach istnieją warunki dla dokładnego doświetlenia przedmiotów oraz zastosowania sprzętu oraz jego ustawień pozwalających na bardzo dokładne zobrazowanie kształtów i kolorów obrazowanego obiektu. W warunkach kontrolowanych zaleca się zastosowanie oświetlenia studyjnego pozwalającego nie tylko na równomierne oświetlenie, lecz również użycie silnego źródła oświetlenia. Dzięki temu możliwe jest zastosowanie wysokich wartości przysłony w aparacie i optyce zastosowanej do rejestrowania obrazu, a co za tym idzie uzyskanie dużej głębi ostrości zawierającej całość obiektu. Modelowanie zabezpieczonych obiektów pozwala na dokonanie analizy ich odkształceń pod kątem rekonstrukcji mechanizmu ich powstania. Zastosowanie takiej techniki jest w warunkach laboratoryjnych precyzyjniejsze od techniki skanowania laserowego z użyciem urządzeń typu ToF. Dzięki niemu możliwa jest rekonstrukcja nawet drobnych elementów. Warunkiem jej wykonania jest zastosowanie optyki typu macro pozwalającej na odzwierciedlenie obrazu na sensorze aparatu rzędu 1:1, a nawet większej.

Zastosowanie modelowania SFM śladów i przedmiotów w warunkach kontrolowanych w laboratorium lub pomieszczeniach organów ścigania powinno zostać udokumentowane w protokole oględzin rzeczy. W zapisach protokołu powinien znaleźć się opis wszystkich urządzeń wykorzystanych do wykonania obrazowania takich jak:

- producent, model oraz numer seryjny aparatu fotograficznego oraz zastosowanej w nim optyki;
- producent, model lamp oświetleniowych oraz rodzaj akcesoriów wraz z nimi zastosowanych;
- opis zastosowanych przymiarów;
- nośniki danych ich producent, pojemność oraz w razie możliwości numer seryjny;

Ponadto protokół oględzin powinien zawierać:

- cel oględzin w postaci wykonania obrazowania oraz modelowania rzeczy techniką fotogrametryczną SFM;
- liczbę oraz parametry wykonywanych zdjęć;
- datę i czas rozpoczęcia oraz zakończenia wykonywania fotografii.

Tak jak w przypadku skanowania laserowego techniki lub operator aparatu fotograficznego powinien być wpisany w protokół oględzin jako specjalista.
W protokole oględzin powinien również znaleźć się zapis, że rezultaty obrazowania i modelowania zostaną przekazane po ich obróbce komputerowej do organu prowadzącego czynność w postaci załącznika do protokołu oględzin wraz ze sprawozdaniem uszczegóławiającym proces modelowania. Sprawozdanie wykonuje technik wykonujący fizycznie czynność modelowania.

3.2.5) Analiza ukształtowania oraz rozmiarów miejsca zdarzenia

Dzięki zastosowaniu fotografii lotniczej zawierającej dane geolokacyjne możliwe jest precyzyjne odtworzenie wyglądu oraz rozmiarów miejsca katastrofy lotniczej. Uzyskane za pomocą techniki fotogrametrycznej pomiary cechować się będą większym błędem pomiarowym, lecz zawierać się on będzie w granicach akceptowalnych nieprzekraczających błędów uzyskanych z wykorzystaniem takich urządzeń jak taśma miernicza czy wózek mierniczy. Ponadto w naturalnych kolorach oddane zostaną elementy położone najwyżej takie jak czubki drzew czy szczytowe gałęzie na drzewie. Nie zawsze jest to możliwe w przypadku skanera laserowego, gdyż rejestruje on ich wygląd na tle jasnego nieba co w przypadku nawet delikatnego ich ruchu powoduje że na skanie końcowym reprezentowane są przez białe punkty. W przypadku techniki SFM bardzo trudne, a w niektórych przypadkach niemożliwe jest zobrazowanie elementów znajdujących się pod koroną drzew, co znacznie ogranicza ich zastosowanie w terenie zalesionym. Przy zastosowaniu modelowania w terenie otwartym możliwe jest wykonanie pomiarów usytuowania wraku oraz jego elementów na miejscu, co daje możliwość rekonstrukcji kolejności oraz mechanizmów dekompozycji statku powietrznego jak ma to miejsca w przypadku analiz realizowanych za pomocą danych uzyskanych przy pomocy skanera laserowego. Wykonanie modelu techniką fotogrametryczną pozwala również na dokonanie analizy ukształtowania terenu oraz jego wypływu na przebieg zdarzenia. Jako przykład można przytoczyć katastrofę smoleńską w której to odczyty

wysokości następowały za pomocą radiowysokościomierza. Dane odczytywane w ten sposób spowodowały mylne oszacowanie wysokości nad płytą lotniska ze względu na szczególne ukształtowanie lotniska, przed którym znajduje się głęboki jar.

3.2.6) Analiza śladów żłobienia

Obrazowanie SFM z wykorzystaniem zdjęć lotniczych pozwala również na dokonanie analizy przebiegu kontaktu z podłożem oraz zachowania się statku powietrznego po nastąpieniu takiego kontaktu. Rozległość modelowanego terenu nie pozwala jednak na dokonanie analizy kształtu i pomiaru żłobień o niedużych rozmiarach. W tym wypadku model wykonany z wykorzystaniem zdjęć lotniczych należy uzupełnić modelem fotogrametrycznym SFM wykonanym z powierzchni ziemi za pomocą aparatu fotograficznego. Dane uzupełnione w taki sposób mogą zostać ze sobą połączone tworząc jeden spójny model z charakterystycznymi wycinkami przestrzeni o dużej szczegółowości modelu. Aby tego dokonać należy na miejscu zdarzenia w okolicach modelowanego żłobienia ustawić co najmniej trzy fotopunkty widoczne zarówno na obrazowaniu z dronu jak również na modelu wykonanym z powierzchni ziemi. Dopasowanie modeli polega na wskazaniu tych samych punktów na modelach wykonanych z fotografii z dronu oraz z powierzchni ziemi. Minimalna liczba punktów niezbędna do dopasowania to trzy punkty. Pozwalają one zarówno na automatyczne przeskalowanie obrazu jak również wpasowanie go w model referencyjny. W związku z cechą metryczności modeli wykonanych z powietrza jako element stały nie podlegający przekształceniom, należy wskazać ten model. Przemianom powinien zostać poddany model wykonany z powierzchni ziemi. W celu sprawdzenia poprawności dokonanych przekształceń należy wykonać pomiar kontrolny wykonany na przymiarze znajdującym się w pobliżu żłobienia a widocznym na fotografiach wykorzystanych do modelowania fotogrametrycznego z powierzchni ziemi. W przypadku drobnych żłobień oraz konieczności dokonania ich precyzyjnych pomiarów zaleca się manualne przeskalowanie modelu powierzchniowego oraz dokonanie pomiaru na nim. Następnie wpasowanie modelu powierzchniowego w model powietrzny i wykonanie pomiarów sytuujących żłobienie w przestrzeni. Możliwości wykonywanych analiz są zbieżne z możliwościami skanera laserowego, należy jednak stwierdzić, że ze względu na większą możliwość popełnienie błędów przekształceń w wypadku techniki fotogrametrycznej skanowanie laserowe jest metodą właściwszą do zastosowania na miejscu katastrofy lotniczej.

3.2.7) Analiza geometrii oraz zniszczeń statku powietrznego

W przypadku możliwości dokonania analizy zniszczeń oraz geometrii statku powietrznego modelowanie fotogrametryczne SFM znajduje szerokie zastosowanie. W związku z możliwością modelowania nawet elementów o wielkości kilku centymetrów modelowanie SFM pozwala na dokonanie tak precyzyjnych analiz porównawczych jak podczas wspomnianej powyżej analizy wypadku Malezyjskiego MH17 w której porównano zniszczenia poszycia w postaci dziur w nim występujących do elementów odłamujących zastosowanych w systemie rakietowym Buk. Porównanie to pozwoliło na rekonstrukcję katastrofy z dokładnym położeniem rakiety Buk w czasie eksplozji w stosunku do kadłuba samolotu.

Możliwe jest również dokonanie porównania śladów zniszczeń powstałych na skutek kontaktu statku powietrznego z przeszkodami terenowymi oraz porównanie kształtu zniszczeń do kształtu śladów powstałych na statku powietrznym.

Należy również zwrócić uwagę na możliwości dokonania analizy zniszczenia poszycia samolotu na skutek występowania wysokich temperatur. Możliwość taką dają fotorealistyczne modele teksturowane wykonane techniką fotogrametryczną. Dzięki ich wysokiej jakości obrazu można zaobserwować np. topnienie duraluminium będącym jednym z podstawowych elementów budowy poszycia statków powietrznych. Fakt ten pozwala na stwierdzenie, że temperatura oddziałowująca na stopiony element była wyższa niż 650 °C. W przypadku topnienia innych stopów metalu temperatura topnienia jest inna, co daje możliwość przedziałowego określenia temperatury powodującej zniszczenie.

Do analizy zniszczeń oraz geometrii wraku statku powietrznego w większości wykorzystywane jest modelownie powierzchniowe z użyciem fotografii wykonanych z powierzchni gruntu, jednakże w wypadku wysokich elementów wraku w których nie ma możliwości uwidocznienia wszystkich jego elementów z powierzchni ziemi należy materiał uzupełnić fotografiami wykonanymi z dronu. Fotografie te powinny być wykonane na małym pułapie lotu z kątowym skierowaniem aparatu zamocowanego na dronie w stosunku do modelowanego obiektu. Środek kadru powinien wskazywać ten sam punkt na modelowanym elemencie a trajektoria nalotu powinna być okręgiem, w którego środku znajduje się modelowany element wraku.

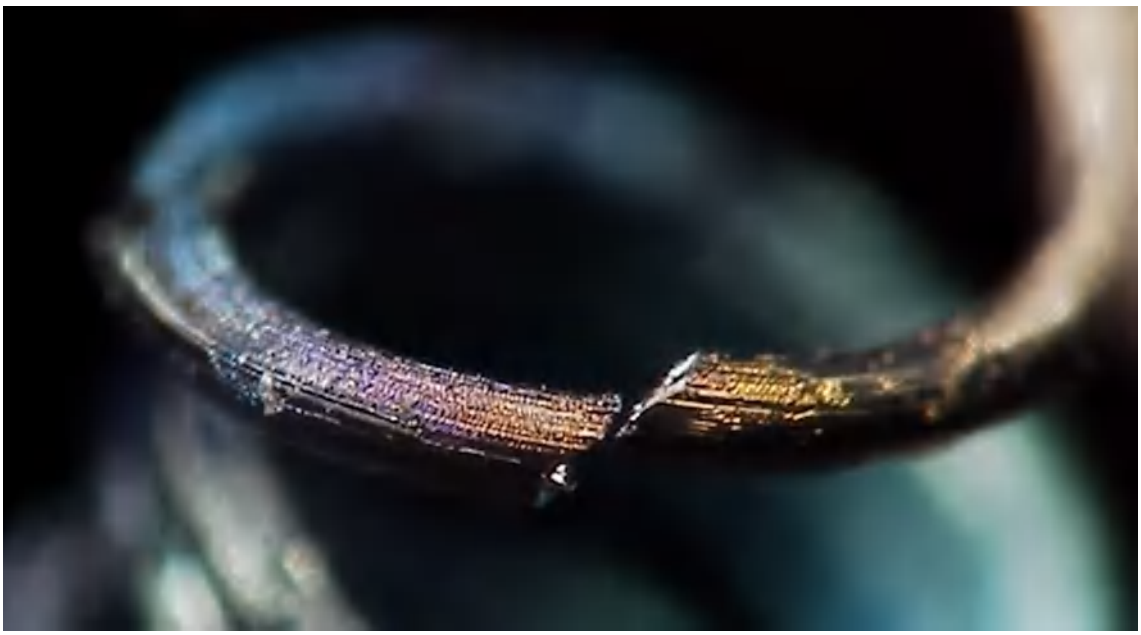
3.2.8) Rejestrowanie usytuowania zwłok oraz ich wizerunku

Dzięki zastosowaniu techniki fotogrametrycznej SFM z teksturowaniem modeli powierzchniowych możliwe jest zarejestrowanie na miejscu zdarzenia precyzyjnego ułożenia zwłok oraz ich wizerunku. Jest to niezwykle istotny element pod kątem dokonania identyfikacji zwłok oraz stwierdzenia bezpośredniej przyczyny zgonu dokładne informację na temat rejestrowania wizerunku zwłok oraz cech ich szczegółowych zawarte są w rozdziale dotyczącym zastosowania modelowania 3D na potrzeby medycyny sądowej.

3.3) Technika skanowania światłem strukturalnym oraz mikroskopowej rekonstrukcji 3D na potrzeby badania katastrof lotniczych

Pomimo że katastrofy lotnicze cechują się dużą rozległością oraz dynamiką zdarzenia mogą być one spowodowane drobnymi elementami, które wymagają precyzyjnych technik badawczych. W takich przypadkach niezasadne jest zastosowanie techniki skanowania laserowego czy fotogrametrycznej techniki SFM. Ich dokładność nie pozwoli na dokonanie precyzyjnego modelowania oraz wymiarowania poddanego analizie obiektu. W tych wypadkach celem dokonania analizy na podstawie modeli 3D należy wykorzystać techniki precyzyjne, takie jak mikroskopia cyfrowa 3D, czy skaner światła strukturalnego o odpowiednich parametrach. Pozwala to na uzyskanie powiększeń oraz wysokiej rozdzielczości modeli 3D, w których dokładność pomiaru sięga dziesiątych a nawet setnych części milimetra. Dzięki ich wykorzystaniu dokonać można analizy zniszczenia określając jego mechanizm jako przecięcie, pęknięcie itp. Pozwala to na ocenę prawidłowości działania poszczególnych elementów w trakcie trwania lotu, a w niektórych przypadkach określenie konkretnej przyczyny katastrofy. W roku 2018 r. podczas katastrofy samolotu myśliwskiego MiG-29, należącego do Sił Powietrznych RP, nastąpiła próba awaryjnego opuszczenia statku powietrznego poprzez katapultowanie. Próba ta nie powiodła się w związku z nieprawidłowym zadziałaniem fotela katapultowego K36 zamontowanego w tego rodzaju statkach powietrznych. Wstępne oceny badania Komisji Badania Wypadków Lotniczych Lotnictwa Państwowego wskazały, że przyczyną nieprawidłowego zadziałania fotele było niezerwanie trzpienia samozrywalnego, zamontowanego w czasie modernizacji fotela. Przeprowadzenie w tym wypadku badania metaloznawczego z wykorzystaniem technik modelowania światłem strukturalnym lub mikroskopii cyfrowej 3D pozwoliło by na dokonanie precyzyjnej analizy trzpienia pod kątem

wytrzymałościowym oraz dokonanie badania struktury badanego obiektu. Analiza taka była by obrazowym uzupełnieniem badań fizykochemicznych.



Ryc. Nr 41 – Możliwość analizy metaloznawczej wykonanej z wykorzystaniem mikroskopu cyfrowego 3D.

(źródło: klatka filmu: https://www.youtube.com/watch?v=x5e9VXrK9iw)

Mikroskopowe modelowanie 3D pozwala na analizę najdrobniejszych elementów powierzchni statku powietrznego takich jak mikrokratery, podnoszone jako dowód na zaistnienie eksplozji podczas lotu rządowego TU-154M.

4) Wykorzystanie modelowania 3D na potrzeby rekonstrukcji wypadków drogowych

Wypadki drogowe są jednym z najliczniejszych typów zdarzeń, które wymagają przeprowadzenia oględzin miejsca w celu ich wyjaśnienia[76]. Jedną z przyczyn takiego stanu rzeczy jest ciągły wzrost liczby pojazdów mechanicznych poruszających się po drogach.

Liczba pojazdów silnikowych w latach 2009 - 2018[77]

Lata	Pojazdy silnikowe		W tym:					
			Samochody osobowe		Samochody ciężarowe		Motocykle	
	Ogółem	2009 = 100 %	Ogółem	2009 = 100 %	Ogółem	2009 = 100%	Ogółem	2009 = 100%
2009	**22 024 697**	100,0	**16 494 650**	100,0	**2 595 485**	100,0	**974 906**	100,0
2010	**23 037 149**	104,6	**17 239 800**	104,5	**2 767 035**	106,6	**1 013 014**	103,9
2011	**24 189 370**	109,8	**18 125 490**	109,9	**2 892 064**	111,4	**1 069 195**	109,7
2012	**24 875 717**	112,9	**18 744 412**	113,6	**2 920 779**	112,5	**1 107 260**	113,6
2013	**25 683 575**	116,6	**19 389 446**	117,5	**2 962 064**	114,1	**1 153 169**	118,3
2014	**26 472 274**	120,2	**20 003 863**	121,3	**3 037 427**	117,0	**1 189 527**	122,0
2015	**27 409 106**	124,4	**20 723 423**	125,6	**3 098 376**	119,4	**1 272 333**	130,5
2016	**28 601 037**	129,9	**21 675 388**	131,4	**3 179 655**	122,5	**1 355 625**	139,1
2017	**29 149 178**	132,3	**22 109 572**	134,0	**3 212 690**	123,8	**1 398 609**	143,5
2018	**29 656 238**	134,6	**22 514 047**	136,5	**3 249 96**	125,2	**1 428 299**	146,5

Tab. Nr 3 – Liczba pojazdów silnikowych w latach 2009-2018.

Statystyki wypadków drogowych pokazują, że ich liczba stale maleje, jednakże należy zaobserwować, że niestety liczba ofiar śmiertelnych w ostatnich latach ustabilizowała się na poziomie ok. 3000 osób rocznie. Statystyki te pokazują jak dużą część pracy organów ścigania stanowi wyjaśnianie przyczyn wypadków drogowych. Oględziny miejsca wypadku drogowego nie należą do najprostszych. Presja czasu spowodowana koniecznością oddania do ruchu miejsc wypadków drogowych częstokroć powoduje, że oględziny wykonywane są pobieżnie, a istotne dla rekonstrukcji ich przebiegu ślady nie zostają w żaden sposób rejestrowane. Wymiarowanie drogi oraz śladów na niej się znajdujących może nastręczać wiele trudności w związku z tym, że z reguły nie posiadają one cechy prostoliniowości. Niepoprawne dokonanie pomiarów

[76] Por. M. Kała, D. Wilk, J. Wójcikiewicz red., *Ekspertyza sądowa. Zagadnienia wybrane,* Wyd. Wolters Kluwer, Warszawa 2017, s. 493 i nast.
[77] Dane Głównego Urzędu Statystycznego na dzień 30 czerwca 2018 r.

łuków, śladów hamowania, zarzucania czy poślizgu może skutecznie uniemożliwić dokonanie rekonstrukcji i analizy przebiegu wypadku drogowego.

Liczba wypadków drogowych oraz ich skutki w latach 2009– 2018

Lata	Wypadki		Zabici		Ranni	
	Ogółem	2009= 100%	Ogółem	2009= 100%	Ogółem	2009= 100%
2009	44 196	100,0	4 572	100,0	56 046	100,0
2010	38 832	87,9	3 907	85,5	48 952	87,3
2011	40 065	90,7	4 189	91,6	49 501	88,3
2012	37 046	83,8	3 571	78,1	45 792	81,7
2013	35 847	81,1	3 357	73,4	44 059	78,6
2014	34 970	79,1	3 202	70,0	42 545	75,9
2015	32 967	74,6	2 938	64,3	39 778	71,0
2016	33 664	76,2	3 026	66,2	40 766	72,7
2017	32 760	74,1	2 831	61,9	39 466	70,4
2018	31 674	71,7	2 862	62,6	37 359	66,7

Tab. Nr 4 -Liczba wypadków drogowych w latach 2009-2018.

Dane: Opracowanie Komendy Głównej Policji „WYPADKI DROGOWE W POLSCE W 2018 ROKU”

Coraz częściej w czasie dokonywania pomiaru miejsca zdarzenia drogowego, stosuje się tachimetry geodezyjne. Pozwalają one na sprawne i precyzyjne dokonanie pomiarów usytuowania śladów i obiektów na miejscu zdarzenia. Pomiar odbywa się poprzez wskazanie określonych punktów. Przez te punkty nakierowane zostaje urządzenie z wykorzystaniem lasera lub precyzyjnej optyki. W czasie wykonywania pomiarów za pomocą tachimetru rejestrowane są punkty z podaniem trzech wartości położenia ich w układzie lokalnym XYZ, a więc posiadają one cechy trójwymiarowości. W czasie wykonania czynności oględzin możliwe jest dokonanie pomiaru dużej liczby wskazanych przez operatora urządzenia punktów, lecz ich liczba ze względu na czas przeprowadzenia oględzin oraz charakter urządzenia nie przekracza 100. W związku z powyższym pomimo charakteru trójwymiarowości trudno zaliczyć takie wykonywanie pomiarów jako rekonstrukcję i modelowanie 3D.

Zastosowanie technik modelowania 3D pozwala na wykonanie wizualizacji oraz pomiarów całości miejsca zdarzenia. W przeciągu kilku minut rejestrujemy miliony

otaczających urządzenie punktów wraz z ich usytuowaniem oraz wartością koloru. Rejestrowany jest wygląd obiektów biorących udział w zdarzeniu, właściwości oraz kondycja nawierzchni oraz najbliższe otoczenie miejsca zdarzenia. Dane te pozwalają na odtworzenie nie tylko wyglądu zdarzenia po zaistnieniu wypadku drogowego, ale również rekonstrukcję jego przebiegu. Ponadto należy zauważyć, że w znacznym stopniu przyśpieszają czynności wykonywane na miejscu zdarzenia. Nie należy twierdzić jednak, że podstawowym argumentem za zastosowaniem modelowania 3D na miejscu zdarzenia drogowego jest oszczędność czasu. Jest to jedynie element poboczny. Jako podstawowy argument modelowania 3D na jakimkolwiek miejscu zdarzenia trzeba uważać dokładność i obiektywizm uzyskanych z wykorzystaniem modelowania 3D wyników. Jak wskazują opracowania biegłych z zakresu rekonstrukcji wypadków drogowych podczas wykonywania czynności oględzin bardzo często dochodzi do błędów, które w skrajnych wypadkach mogą spowodować niemożliwość wykonania rekonstrukcji, a co gorsza błędne wnioskowanie. Wśród takich błędów wymienić można:

- **niewłaściwe zabezpieczenie miejsca zdarzenia powodujące wprowadzenie zmian w obiektywnej rzeczywistości.**

  Element prewencyjnego zabezpieczenia miejsca zdarzenia jest jednym najistotniejszych podczas śledczego badania miejsca zdarzenia. To właśnie w tym czasie można uzyskać kluczowe dla dalszego postępowania informacje. W tym czasie niestety można je też bezpowrotnie stracić. Dopuszczenie do penetracji miejsca zdarzenia przez osoby nieuprawnione może spowodować zniszczenie realnego obrazu zdarzenia, poprzez zatarcie, zniszczenie lub zabranie elementów istotnych dla prawidłowego przeprowadzenia procesu rekonstrukcji. Jako przykłady takich działań można podać uprzątnięcie drogi z konarów drzew, niepozwalające na obiektywną ocenę zachowania uczestników ruchu czy zatarcie śladów poprzez niekontrolowane przemieszczanie się po miejscu zdarzenia.
- **niewłaściwe zabezpieczenie śladów kryminalistycznych poprzez zawężenie miejsca oględzin.**

  Kolejnym istotnym elementem śledczego miejsca zdarzenia jest prawidłowa ocena rozległości powierzchni, na której znajdują się istotne dla rekonstrukcji ślady. Zbyt duże zawężenie przestrzeni poddanej oględzinom spowodować może pominięcie śladów oraz błędne wnioskowanie. W tym wypadku jako przykład można podać nieobjęciem

zakresem oględzin miejsca na drodze, na której znajdowała się plama oleju powodująca gwałtowną zmianę przyczepności i wypadnięcie z łuku jezdni. W sytuacji braku wiedzy na temat takich okoliczności, wnioskować można, że wypadnięcie z łuku i doprowadzenie do wypadku spowodowane jest przez nadmierną prędkość i nieprzystosowanie jej do warunków panujących na drodze.

- **pominięcie śladów nietypowych;**
  W chwili obecnej zastosowanie coraz to bardziej rozwiniętych systemów wspomagania bezpiecznej jazdy powoduje, że ujawnienie typowych do tej pory śladów jak ślady blokowania kół czy zarzucania, staje się wręcz niemożliwe. Rekonstrukcje wypadku drogowego bardzo często opierać trzeba na śladach nietypowych takich jak zrzut błota z elementów pojazdu w chwili dojścia do zderzenia. Niski poziom wiedzy brak szkoleń specjalistycznych uzupełniających wiedzę techników kryminalistyki powoduje, że częstokroć ślady takie zostają pominięte co przekłada się na jakość i wiarygodności opinii.
- **pośpiech oraz związana z nim lakoniczność opisów zawartych w protokole oględzin.**
- **nieprawidłowe oraz pobieżne przeprowadzenie oględzin pojazdów biorących udział w zdarzeniu.**
- **nieprawidłowe przeprowadzenie zewnętrznych oględzin zwłok w miejscu ich znalezienia oraz sekcji zwłok[78].**

4.1) Zastosowanie skanera laserowego 3D na miejscu zdarzenia drogowego

Technika skanowania laserowego ze względu na metryczność pierwotnych danych uzyskanych z jej wykorzystaniem jest podstawowym sposobem modelowania 3D miejsca wypadku drogowego. Dzięki rejestrowaniu wartości koloru lub stopnia absorbcji lasera (skanowanie w odcieniach szarości) pozwala na zobrazowanie nie tylko odkształceń geometrii lecz również śladów powstałych na powierzchniach, a nie przedstawiających cech 3D. Ponadto należy zauważyć że wykorzystanie tego typu urządzeń na miejscu zdarzenia obrazuje takie elementy otoczenia jak ubytki nawierzchni czy kąty nachylenia powierzchni drogi, które

[78] Por. K.J. Pawelec, *Metodyka pracy adwokata w sprawach wypadków drogowych,* Wyd. LexisNexis, Warszawa 2007, s. 108 i nast., a także por. R. Zahorski, *Metodyka pracy biegłego sądowego. Rekonstrukcja wypadku drogowego,* Wyd. Difin, Warszawa 2010, s. 32 i nast.

standardowo nie są rejestrowane, a pozwalają na wzbogacenia materiału dowodowego na podstawie którego dokonywana jest rekonstrukcja przebiegu zdarzenia.

4.1.1) Czynności wykonywane na miejscu wypadku drogowego

Tak jak w przypadku katastrof lotniczych skanowanie miejsca zdarzenia powinno zostać rozpoczęte niezwłocznie po przybyciu na miejsce zdarzenia. Skanowanie realizować można w ramach oględzin miejsca wypadku drogowego lub podczas odrębnych oględzin miejsca, których celem jest wykonanie wymiarowania i wizualizacji miejsca wypadku drogowego. Niezwłoczne rozpoczęcie czynności skanowania pozwala na tak istotne dla czynności wykonywanych w czasie oględzin wypadku drogowego sprawne oddanie skanowanej przestrzeni do użytku publicznego. Ponadto praktyka pokazuje, że czynności wstępne na miejscu, takie jak rekonesans miejsca, przygotowanie sprzętu, czy czas oczekiwania na prokuratora lub biegłych zajmują dużo czasu, a co za tym idzie wykonanie skanów przed przystąpieniem do zasadniczych czynności oględzin prowadzi do uzyskania „czystego" modelu 3D bez uwidocznionych sylwetek ludzi przemieszczających się po miejscu zdarzenia.

W zależności usytuowania oraz warunków zewnętrznych należy przyjąć różne parametry wykonywanych skanów.

Standardowo w terenie otwartym należy czynności wykonywać z wykorzystaniem pozycjonowania GPS oraz w włączonym skalibrowanym przed przystąpieniem do czynności kompasem. Zarejestrowanie położenia oraz kąta urządzenia pozwala na precyzyjne określenie jego położenia geograficznego oraz kierunków świata na wykonanym obrazowaniu. Ułatwia to sporządzenie dokumentacji w postaci szkiców i planów kryminalistycznych, oraz umożliwia naniesienie miejsca zdarzenia na ogólnodostępne w takich serwisach jako google maps czy geoportal ortofotomapy.

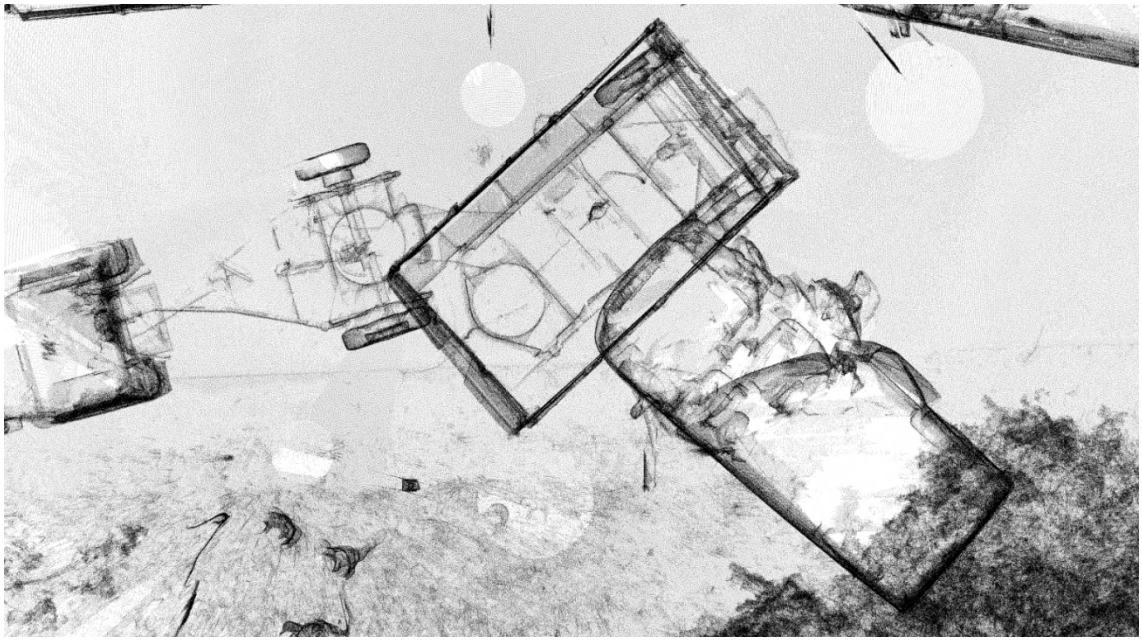
W przypadku wykonywania czynności w warunkach ograniczonego oświetlenia takich jak pora nocna, mgła lub zadymienie skanowanie wykonujemy bez wykonywania fotografii sferycznej nadającej kolor skanom. Pozwoli to na zaoszczędzenie czasu wykonywanych czynności oraz zapobiegnie nadaniu wymierzonej chmurze punktów kolorów niezgodnych z rzeczywistością.

Podczas wykonywania skanowania w dobrych warunkach oświetleniowych dokonujemy skanowania z kolorem. Jako pomiar światła w terenie otwartym powinien być

zastosowany pomiar horyzontalny. W przypadku nierównomiernego oświetlenia zalecane jest zastosowanie pomiaru zrównoważonego. Pozwala to na zarejestrowanie barw zarówno w przestrzeniach charakteryzujących się cieniami jak i wysokim doświetleniem. W niektórych urządzeniach występuje możliwość rejestrowania obrazów w szerokiej rozpiętości tonalnej HDR (high dynamic range), które zachowują szczegóły zarówno w światłach jak i cieniach. W tym wypadku zasadnym jest zastosowanie funkcji HDR w sile odpowiadającej różnicy naświetleń występujących na miejscu zdarzenia.

Miejsca ustawienia skanera podczas skanowania miejsca zdarzenia należy wybrać w taki sposób, aby zobrazować całkowicie sylwetki pojazdów uczestniczących w zdarzeniu oraz uwidocznić ślady znajdujące się na miejscu zdarzenia. W związku z tym, że duża część śladów charakterystycznych dla zdarzeń drogowych nie cechuje się trójwymiarowością, a naniesiona jest na powierzchni jezdni niezbędne jest wykonanie skanowania z możliwie jak najwyższej pozycji urządzenia. Takie ustawienie urządzenie zapewnia odpowiedni kąt padania lasera na obrazowaną powierzchnię oraz powoduje dokładne odwzorowanie wyglądu, kształtu i rozmiaru śladów powierzchniowych.

Jeżeli w celu rekonstrukcji przebiegu zdarzenia drogowego niezbędne jest zobrazowanie spodu pojazdów biorących w nim udział, podczas wykonywania czynności skaner ustawić można bezpośrednio pod pojazdem. Takie ustawienie skanera poza obrazowaniem spodu pojazdu pozwala zobrazować pozycję oraz skręcenie kół pojazdu.



Ryc. Nr 42 – Niskie ustawienie skanera pozwoliło zobrazować elementy samochodu znajdujące się pod naczepą ciągnika siodłowego, uszkodzenie prawego koła osi przedniej samochodu oraz uszkodzone elementy mocowania naczepy.

Sprawą niezwykle istotną w czasie wykonywania skanowania 3D na miejscu zdarzenia drogowego jest zachowanie zasad bezpieczeństwa. Ma to największe znaczenie w sytuacji kiedy oględziny prowadzone są w warunkach częściowego wyłączenia ruchu oraz wprowadzeniu ruchu wahadłowego. W tym wypadku zaleca się aby urządzenie ustawiane było w pozycjach ulokowanych poza pasem ruchu, a w wypadkach kiedy nie jest to możliwe w pasie jezdni wyłączonej z ruchu. Każdorazowo podczas skanowania miejsca wypadku drogowego zalecane jest sterowanie zdalne skanera poprzez łączność Wi-Fi z wykorzystaniem urządzeń mobilnych. Skraca to czas jaki prowadzący skanowanie funkcjonariusz musi spędzić przy samym urządzeniu w miejscu stwarzającym zagrożenie.

4.1.2) Skanowanie wykonywane po oględzinach miejsca zdarzenia drogowego

W wypadku, kiedy na miejscu zdarzenia nie wykorzystywany był skaner laserowy lub w związku z ograniczonym czasem jego zastosowania otrzymane podczas skanowania wyniki nie pozwalają na dokonanie pełnej analizy i rekonstrukcji przebiegu zdarzenia należy uzupełnić materiał poprzez skanowanie wykonane w późniejszym czasie. Może być ono realizowane zarówno podczas oględzin uzupełniających miejsca zdarzenia, jak również podczas oględzin pojazdów i rzeczy biorących udział w zdarzeniu, a zabezpieczonych w depozytach. Wykonanie

takich czynności pozwala na pozyskanie danych umożliwiających precyzyjną analizę elementów takich jak:

- zniszczenia pojazdów,
- zniszczenia obiektów znajdujących się na i przy trasie przejazdu i postoju pojazdów biorących udział w zdarzeniu,

Wykonanie skanowania pojazdów zabezpieczonych odbywać może się bezpośrednio na parkingach depozytowych.



Ryc. Nr 43 – Chmura punktów przedstawiająca samochód biorący udział w wypadku drogowym. Skanowanie wykonano na parkingu depozytowym.

W przypadku, kiedy niezbędne jest dokonanie bardzo precyzyjnego skanowania pozwalającego na analizę nawet drobnych śladów na pojeździe, czynności takie można wykonać w warunkach kontrolowanych, w równomiernie oświetlonych pomieszczeniach. Aby uzyskany w ten sposób model 3D oddawał realne i równomierne barwy do oświetlenia zastosować należy źródła światła o identycznej temperaturze barwowej. W pomieszczeniu takim wyeliminować należy również inne źródła oświetlenia takie jak okna czy oświetlenie emitowane przez ekrany komputerowe. Mogą one „zanieczyścić" oświetlenie powodując lokalne przebarwienia na modelu 3D.

W celu wykonania cyfrowej analizy odkształceń niezbędne jest również wykonanie skanowania nieuszkodzonych pojazdów wzorcowych. Jako pojazd wzorcowy powinien zostać wybrany pojazd o identycznych cechach takich jak:

- producent,

- model i jego wersja,
- rok produkcji,
- wyposażenie (zewnętrzne).

W przypadku pojazdów występujących powszechnie znalezienie pojazdu wzorcowego zwykle nie stanowi większych problemów. Problematyczne są jednak pojazdy rzadko występujące. W takich wypadkach skanowanie wzorcowego elementu można wykonać na elementach symetrycznych nie uszkodzonych w czasie zdarzenia. Przed przystąpieniem do porównania oraz nałożenia na siebie elementu wzorcowego z elementem uszkodzonym należy dokonać przekształcenia polegającego na lustrzanym odbiciu elementu wzorcowego.

4.2) Rekonstrukcja miejsca zdarzenia drogowego z wykorzystaniem techniki fotogrametrycznej SFM

Metodyka pozyskiwania materiału na potrzeby rekonstrukcji 3D z wykorzystaniem oprogramowania fotogrametrycznego nie odbiega od standardowej. Należy jednak zwrócić szczególna uwagę tak jak to ma miejsce w wypadku skanowania laserowego, na bezpieczeństwo. Wykonywanie fotografii pozwalającej na modelowanie 3D powinno być realizowane w taki sposób który zapewni bezpieczeństwo zarówno funkcjonariuszowi obsługującemu sensor, innym osobom prowadzącym czynności oraz pozostałym uczestnikom ruchu drogowego. Zasada ta odnosi się do standardowych technik z wykorzystaniem bliskiej fotogrametrii z użyciem aparatu fotograficznego, jak i do technik fotogrametrycznych wykorzystujących zdjęcia wykonane w czasie nalotu realizowanego bezzałogowym statkiem powietrznym.

4.2.1) Czynności wykonywane na miejscu zdarzenia drogowego

Rozpocząć należy je najszybciej jak to możliwe. Tak jak w przypadku skanera laserowego realizowane mogą one być jako element oględzin zasadniczych lub mogą one stanowić podstawowe czynności w czasie realizacji oględzin miejsca celem wykonania wizualizacji i pomiarów miejsca zdarzenia. W przypadku wykonywania pomiarów na miejscu zdarzenia zarówno skanerem laserowym jak i wykonywaniem zdjęć na potrzeby rekonstrukcji 3D SFM, obydwie czynności zawierać się mogą w jednym protokole oględzin. Naziemne

modelowanie SFM z wykorzystaniem standardowego aparatu fotograficznego ze względu na dość bliski zasięg możliwości rekonstrukcji w większości wypadków nie pozwoli na rekonstrukcję zdarzeń drogowych o rozległym charakterze. Jednakże pozwoli precyzyjnie odwzorować takie elementy jak geometrię oraz w pełni oddane barwy pojazdu, kształt oraz uszkodzenia innych elementów biorących udział w zdarzeniu (np. drzewa, elementy infrastruktury) jak również wizerunek oraz ułożenie zwłok na miejscu zdarzenia z odwzorowaniem obrażeń. Zobrazowanie śladów płaskich znajdujących się na dużej przestrzeni jest znacznie trudniejsze do realizacji z powierzchni ziemi. W tym wypadku, jeżeli istnieje taka możliwość materiał należy uzupełnić fotografiami wykonanymi z powietrza. Pozwalają one na zobrazowanie dużej przestrzeni z dużą dokładnością, a odwzorowanie śladów „płaskich" nie stanowi w tym wypadku problemu. Ponadto z wykorzystaniem techniki modelowania SFM z wykorzystaniem fotografii lotniczej zobrazować można dokładnie takie elementy jak pochylenie drogi, geometrię elementów infrastruktury (głębokość rowów, szerokość pasa jezdni, rozmieszczenie słupów i inne), szatę roślinną otaczająca miejsce zdarzenia.

Metodyka wykonywania fotografii naziemnej na potrzeby modelowania SFM nie odbiega znacznie od standardowej. Tak jak w innych wypadkach niezbędne jest dokonanie pomiaru światła pozwalającego na dobór parametrów ekspozycji fotografii, w taki sposób, aby możliwe było odwzorowanie koloru rekonstruowanego modelu zarówno w cieniach jak i w światłach. W przypadku ostrego światła rozważyć należy doświetlenie zacienionej strony lampą błyskową lub doświetlenie jej z wykorzystaniem blendy fotograficznej. Możliwe jest też zastosowanie *breaketingu* w określonych wartościach EV. W tym wypadku pamiętać trzeba jednak o zastosowaniu statywu przy każdym z wykonywanych fotografii. Wykonywanie w ten sposób fotografii znacznie wydłuży czas realizacji pakietu zdjęć niezbędnych do rekonstrukcji, pozwoli jednak na uzyskanie modeli w szerokiej rozpiętości tonalnej HDR. Poza dokonaniem pomiaru światła, należy pamiętać o usytuowaniu wzorca wymiaru pozwalającego na przeskalowanie modelu do wymiarów rzeczywistych, wykonywaniu fotografii w tożsamych warunkach naświetlenia dla całego pakietu zdjęć oraz wykonaniu fotografii wokół modelowanego obiektu z co najmniej trzech różnych wysokości.

Czas wykonywania techniką SFM czynności na miejscu wypadku drogowego jest niezwykle istotny, gdyż technika ta w przeciwieństwie do skanowania laserowego nie jest możliwa do wykonania w przypadku, kiedy na miejscu zdarzenia (w kadrze wykonywanej fotografii) przemieszczają się ludzie, oraz wtedy, gdy przedmioty na miejscu zdarzenia są

przemieszczane (stanowią one punkty stałe). W związku z powyższym na czas wykonywania fotografii obiektów ich okolica powinna zostać wydzielona i nikt na niej nie powinien przebywać. Czynności wstępne takie jak umieszczenie wzorca wymiaru (najlepiej sprawdzają się przymiary geodezyjne o wymiarach minimum 5m), dokonanie pomiaru światła oraz ustawienie parametrów aparatu mogą odbywać się przy obecności osób trzecich w okolicach modelowanego obiektu. Należy przy tym zauważyć, że wykonanie pakietu fotografii pozwalającej na rekonstrukcję geometrii oraz tekstury obiektu nie jest czynnością czasochłonną i w zależności od charakteru zdarzenia i obiektu zawiera się w czasie od kilku do kilkunastu minut. W większości przypadków nie przekracza 5 minut.

Pakiet fotografii na potrzeby modelowania SFM z wykorzystaniem zdjęć z powietrza najlepiej wykonać z wykorzystaniem aplikacji planującej nalot. Dzięki zapisanymi w niej parametrami aparatu fotograficznego oraz dronu, umożliwia ona wykonanie planu nalotu kilkoma kliknięciami wskazującymi zdjęcia terenu, obejmującego zdarzenie oraz wskazanie dokładności i wzajemnego zakresu pokrycia kolejno wykonywanych zdjęć. Aplikacja sama zaplanuje trasę przelotu oraz częstotliwość wykonywania fotografii, a rolą operatora statku bezzałogowego będzie wyłącznie wciśnięcie przycisku rozpoczynającego początek misji. W zależności od wskazanych ustawień dron sam wystartuje, przeleci planowaną ścieżkę nalotu wykonując przy tym fotografie w zadanych punktach ścieżki oraz powróci do punktu wyjściowego samodzielnie lądując lub zawisając nad punktem lądowania na wysokości wskazanej przez operatora przed rozpoczęciem misji. Zawsze w tym wypadku należy kontrolować przebieg misji poprzez obserwację zachowania urządzenia. Należy również być w każdym wypadku przygotowanym do przerwania misji autonomicznej przejmując całkowicie kontrolę w czasie rzeczywistym nad zachowaniem się dronu. Operator rozpoczynając misję powinien wybrać lądowisko w miejscu bezpiecznym, w którym nie występuje ruch samochodowy oraz pieszy. W trakcie planowania misji należy wziąć pod uwagę inne elementy mogące wpłynąć na bezpieczeństwo wykonania lotu oraz poprawność uzyskanych w jego czasie fotografii takie jak:

- przeszkody terenowe – takie jak drzewa, linie wysokiego napięcia, wieże telekomunikacyjne, budynki.

  W tym wypadku należy przeanalizować ich wysokość oraz sposób w jaki emitowane przez nie fale elektromagnetyczne mogą wpłynąć na zachowanie urządzenia powodując przy tym jego stratę oraz co najważniejsze zagrożenie dla otoczenia.

- Promieniowanie elektromagnetyczne związane z burzami słonecznymi – zalecenia Urzędu Lotnictwa Cywilnego oraz Polskiej Agencji Żeglugi Powietrznej nie zalecają latania urządzeniami bezzałogowymi których pozycjonowanie opiera się o systemy satelitarne (GPS, Glonass, Gadileo) w sytuacjach, kiedy w związku z występującymi burzami słonecznymi występuje zaburzenie pola elektromagnetycznego ziemi. Sytuacje takie mogą spowodować zaburzenie pozycjonowanie, a co za tym idzie nieprzewidzianym zachowaniem dronu w czasie lotu i spowodowanie zagrożenia.
- Warunki atmosferyczne – przed wykonaniem lotu warunki atmosferyczne powinny być sprawdzone. W przypadku przekroczenia warunków progowych indywidualnych dla każdego urządzenia, lot ze względu na zagrożenie i bezpieczeństwo nie powinien być wykonany.
- Zgłoszenie lotu do odpowiednich organów ma niezwykle istotne zdarzenie zwłaszcza w przypadku wypadku drogowego lub innego zdarzenia, gdzie występują ofiary oraz poszkodowani wymagający opieki medycznej. Niezgłoszenie lotu spowodować może olbrzymie zagrożenie kolizją z innym statkiem powietrznym takim jak, choćby helikopter Lotniczego Pogotowia Ratunkowego. Zastosowanie takiego środka transportu w czasie czynności wykonywanych na miejscu wypadku drogowego jest powszechne w związku z powyższym koniecznym jest utrzymywanie stałego kontaktu z instytucją zarządzającą przestrzenią powietrzną, a w razie pokazania się na miejscu innego załogowego statku powietrznego natychmiastowe przerwanie nalotu nawet jeżeli wymagało by to awaryjnego wyłączenie silników w locie.

Tak jak w wypadku katastrof lotniczych dane uzyskane z naziemnego modelowania 3D SFM stanowią bardzo dobre uzupełnienie danych uzyskanych z dronu. Dzięki nim możliwe jest uzupełnienie modelu o powierzchnie pionowe, takie jak, bok budynku, pionowe boki pojazdów itp.

4.2.2) Modelowanie techniką SFM po zdarzeniu w warunkach kontrolowanych

Tak jak w wypadku skanowania laserowego modelowanie techniką fotogrametryczną SFM znajduje zastosowanie również po zasadniczych czynnościach oględzin miejsca zdarzenia. Modele mogące posłużyć analizie i rekonstrukcji przebiegu zdarzenia można wykonywać w późniejszym czasie w kontrolowanych warunkach w ramach oględzin rzeczy.

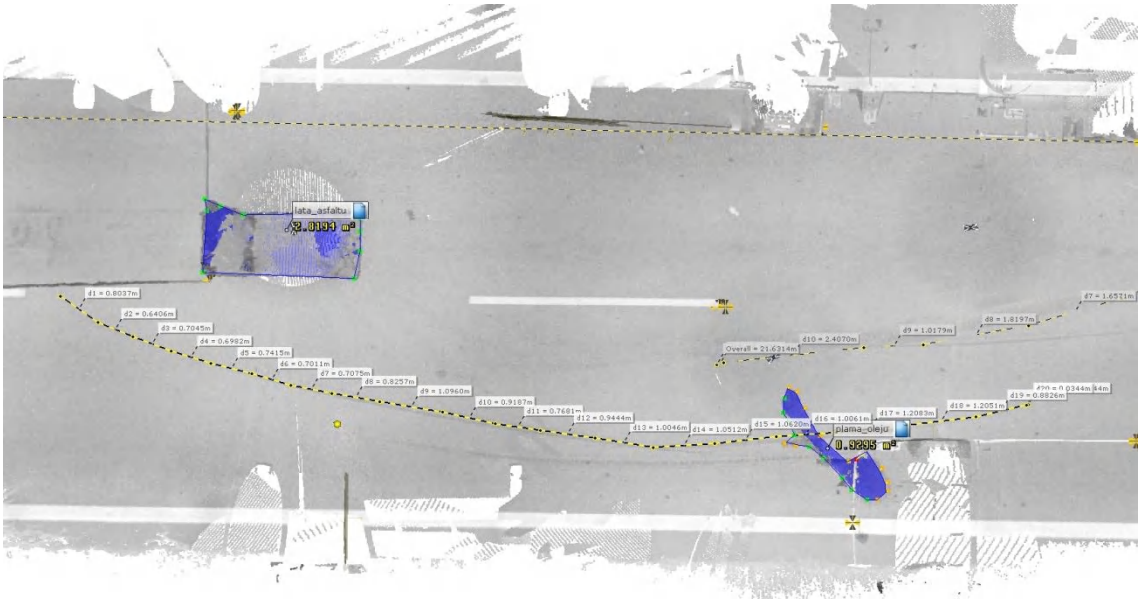
W takich warunkach możliwe jest uzyskanie materiału precyzyjnego. Pozwala na to możliwość zastosowania wyposażenia dodatkowego w postaci silnego równomiernego doświetlenia modelowanego obiektu, zastosowanie statywów, dzięki którym uzyskać można maksymalnie szeroką głębię ostrości w powiązaniu z wysoką rozpiętością tonalną obiektu. Modelowanie takie może odbywać się na parkingach depozytowych lub bezpośrednio w jednostce realizującej czynność. Taka sytuacja pozwala w pełni przygotować warunki wykonywania modelu (oświetlenie, przestrzeń wokół obiektu pozwalająca na swobodną pracę, zastosowanie wzorców wymiarów, punktów odniesienia). W ramach modelowania SFM wykonywanego na potrzeby badania wypadków drogowych wykonywanego po zasadniczych czynnościach w ramach oględzin rzeczy można wykonać modelowanie następujących obiektów:

- Modelowanie całościowej geometrii pojazdów biorących udział w zdarzeniu z ukazaniem ich geometrii oraz uszkodzeń za pomocą chmury punktów, modeli powierzchniowych oraz foto realistycznych teksturowanych modeli powierzchniowych.
- Modelowane wybranych elementów pojazdu pod kątem analizy mechanizmu ich powstania.
- Modelowanie śladów zabezpieczonych na miejscu zdarzenia a mogących mieć znaczenie w rekonstrukcji zdarzenia.
- Modelowanie wizerunku ofiar zdarzenia oraz obrażeń jakie odniosły w czasie zdarzenia. (pozwalające na dokonanie cyfrowego okazania wizerunku oraz dokonanie analiz z zakresu medycyny sadowej, a wpływające na rekonstrukcję całego zdarzenia.)

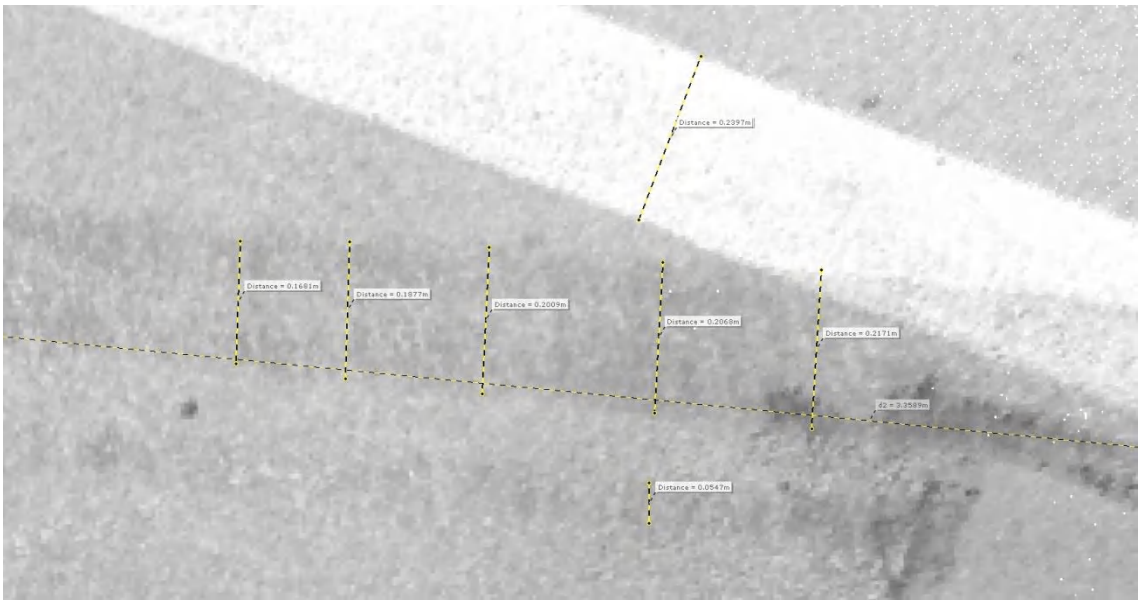
4.3) Pomiar śladów hamowania zarzucania oraz innych śladów „płaskich” z miejsca zdarzenia

Dzięki zastosowaniu skanera laserowego na miejscu zdarzenia wypadku drogowego, czynności związane z realizacją pomiarów śladów „płaskich” powstałych w czasie zdarzenia stają się łatwe do wykonania oraz charakteryzują się bardzo dużą precyzją. W chwili obecnej najczęściej stosowane na drodze przyrządy pomiarowe to wózek pomiarowy oraz taśma miernicza. Ich dokładność w powiązaniu z „pieczołowitością” funkcjonariusza wykonującego pomiar, częstokroć powodują powstanie błędów sięgających czasem nawet kilku metrów. Innym coraz powszechniej wykorzystywanym urządzeniem na drodze jest tachimetr

geodezyjny. Jest to precyzyjne urządzenie, ale wymaga zaangażowania dwóch osób a ilość punktów pomiarowych uzyskanych w czasie czynności waha się w zależności od wiedzy obsługi od kilkunastu do dwustu. Wykorzystanie skanera laserowego pozwala na uzyskanie kilku a nawet kilkuset milionów pomierzonych punktów w czasie czynności. Dzięki temu możliwe jest precyzyjne dokonanie pomiarów nieobarczonych błędem ludzkim. Oprogramowania obsługujące chmury punktów uzyskanych za pomocą skanera laserowego na miejscu zdarzenia pozwalają na dokonanie pomiaru elementów prostolinijnych, nie liniowych, pola powierzchni oraz objętości obiektów odwzorowanych na skanie z dokładnością do 2, a w przypadku najnowszych rozwiązań 1 mm. Wykonanie pomiarów jest niezwykle proste i ogranicza się do wskazania punktów będących punktami granicznymi pomiaru (dwóch w przypadku pomiaru liniowego, trzech lub więcej w przypadku pomiarów nieliniowych oraz pomiaru pola powierzchni oraz objętości). Oprogramowanie automatycznie wskazuje na wynik pomiaru odległości. Ponadto pomiar zawiera precyzyjne umiejscowienie każdego z punktów pomiarowych w przestrzeni XYZ, ich wzajemne położenie względem siebie w zakresie wysokości oraz płaszczyźnie poziomej. Wskazanie punktów pomiarowych jest precyzyjne dzięki możliwości obrotu modelu oraz powiększenia rejonu modelu, w którym znajduje się punkt. Pozwala to na jego wskazanie z dokładnością nie możliwą do wykonania manualnie na miejscu zdarzenia.

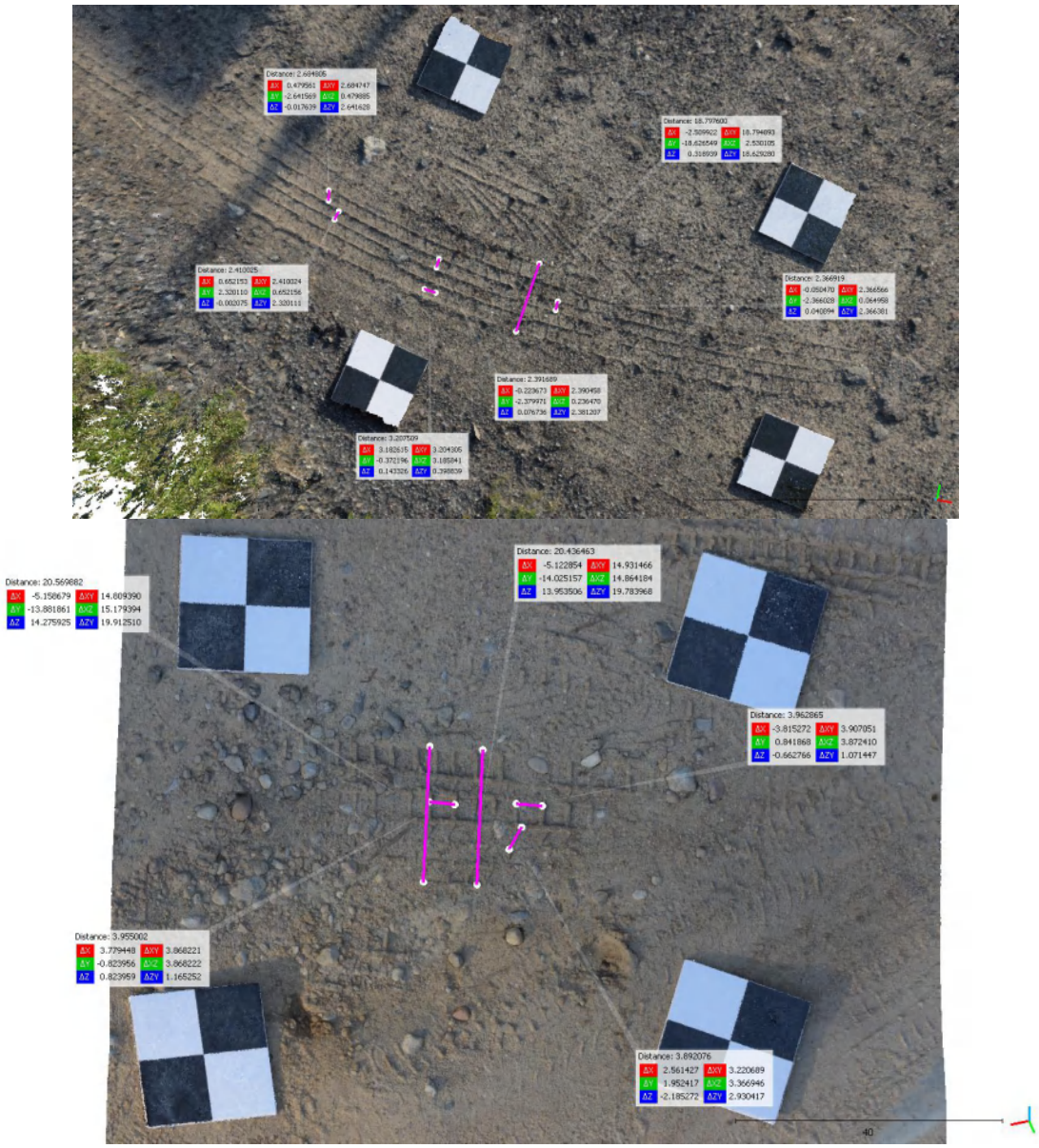


Ryc. Nr 44 – Rzut ortagonalny pasa jezdni z widocznym pomiarem nieliniowym śladem zarzucania oraz pomiarem pola powierzchni fragmentu asfaltu charakteryzującego się inną przyczepnością oraz obszarem jezdni na którym znajduje się rozlany olej.



Ryc. Nr 45 – Pomiar szerokości śladów zarzucania oraz wymiarów elementów oznakowania poziomego pasa jezdni wykonany na chmurze punktur uzyskanej z wykorzystaniem skanera laserowego. (skan wykonany w odcieniach szarości).

Jednak nie tylko technika skanowania laserowego znajduje zastosowanie przy badaniu śladów „płaskich”. Jeżeli badaniu zostać ma poddany ślad hamowania, poślizgu lub zarzucania nie w całym swoim zakresie, a jedynie na długości pełnego obrotu koła lub we fragmencie pozwalającym na wykonanie badań pod kątem jego szerokości, jej zmiany lub obrazu bieżnika, możliwe do zastosowania staje się modelowanie fotogrametryczną techniką SFM. Daję ona olbrzymie możliwości analizy śladu ze względu ma możliwość odwzorowania go w foto - realistyczny sposób z wykorzystaniem teksturowanego modelu powierzchniowego.



Ryc. Nr 46 – Chmura punktów uzyskana techniką fotogrametryczną SFM pokazująca możliwości rekonstrukcji przemieszczania się pojazdów w czasie zdarzenia oraz analizy śladów bieżnika. Na rycinie widoczne punkty referencyjne służące do przeskalowania chmury punktów do wymiarów rzeczywistych.

Dzięki uzyskanym w ten sposób modelom możliwe staje się wnioskowanie na podstawie śladów płaskich nie tylko pod kątem sposobu przemieszczania się i sił działających w czasie ruchu, lecz również wykonanie analiz frazeologicznych identyfikujących bieżnik i jego cechy indywidualne.

ROZDZIAŁ IV

Badanie dokumentów

W rozumieniu art. 115 § 14 kodeksu karnego „dokumentem jest każdy przedmiot lub inny nośnik informacji, z którym jest związane określone prawo, albo który ze względu na zawartą w nim treść stanowi dowód prawa, stosunku prawnego lub okoliczności mającej znaczenie prawne". Definicja ta została sformułowana przez ustawodawcę w aspekcie ochrony prawnej dokumentu to jest w związku z przestępstwami przeciwko wiarygodności dokumentów zawartymi w artykułach 270 -277 kodeksu karnego[79].

Dokonując podziału zakresu badań dokumentów na potrzeby kryminalistyki należy wyróżnić:

- Badania techniczne dokumentu,
- Badania klasyczne dokumentu[80].

W obydwu zakresach badań kryminalistycznych stale rozwijająca się technika 3D znajduje zastosowanie, a wraz z zwiększaniem rozdzielczości i dokładności pomiarowej urządzeń 3D rosnąć będzie jej znaczenie.

1) Techniczne badanie dokumentów

W swoim zakresie techniczne badanie dokumentów obejmuje:

- Ustalenie autentyczności dokumentów,
- Identyfikację techniki wykonania dokumentu,
- Identyfikacje grupową indywidualna urządzeń drukujących,
- Badanie dokumentów zniszczonych,
- Ujawnianie pisma wgłębionego,
- Ustalanie wieku dokumentu,
- Fizykochemicznego badania podłoża dokumentu oraz środków kryjących[81].

[79] J. Kasprzak, B. Młodziejowski, W. Kasprzak, op. cit.. s.141.
[80] M. Goc, J. Moszczyński red. Ślady kryminalistyczne … op. cit., s. 251.
[81] Współczesne możliwości badawcze dokumentów por. M. Goc, *Współczesny model ekspertyzy pismoznawczej – wykorzystanie nowych metod i technik badawczych,* Wyd. Volumina pl., Warszawa – Szczecin 2016.

Na szczególna uwagę spośród wyżej wymienionych pod kątem wykorzystania technik 3D zasługują badanie autentyczności dokumentów poprzez identyfikację technik drukarskich, identyfikacja urządzeń drukujących oraz ujawnianie pisma wgłębionego. Na podstawie uzyskanych za pomocą skanerów 3D danych można stwierdzić, że w każdym z tych badań można wyodrębnić aspekt trójwymiarowości pozwalający na dokonywanie analizy i wnioskowania.

1.1) Identyfikacja technik drukarskich

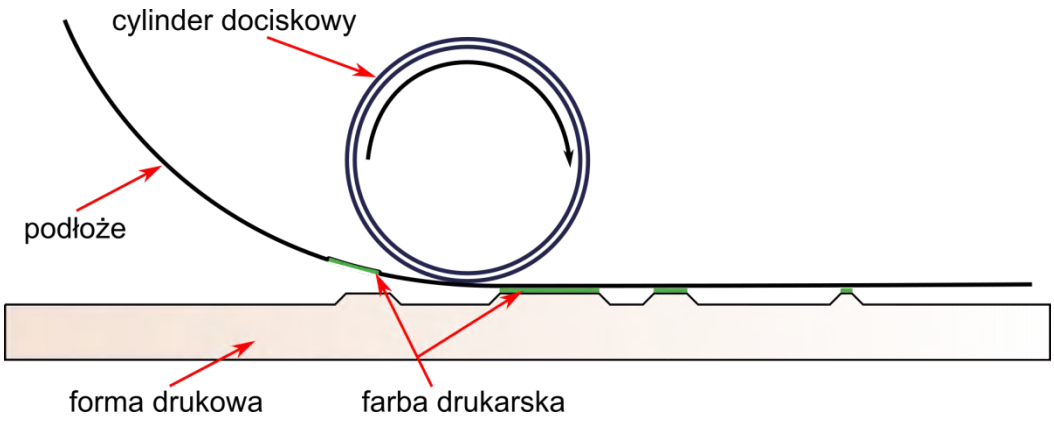
W celu zapewnienia bezpieczeństwa dokumentów publicznych takich jak dokumenty tożsamości, banknoty czy znaki akcyzy przedsiębiorstwa zajmujące się ich wytwarzaniem wprowadzają coraz nowsze rozwiązania w postaci farby lub technik drukarskich. Podział klasycznych techniki drukarskich na drukowanie wypukłe, płaskie, wklęsłe oraz sitodruk w samej nazwie zawiera różnorodność form oraz trójwymiarowego obrazu druku na dokumencie[82].

Analizie na potrzeby badań technicznych zostały poddane trzy techniki drukarskie offset (druk płaski), staloryt (druk wklęsły), oraz typografię (druk wypukły).

Do przeprowadzenia badań dokumentów wykorzystano skaner światła strukturalnego oraz mikroskopy cyfrowe z możliwością profilowania 3D. Wybór techniki skanowania został dokonany na podstawie parametru rozdzielczości oraz dokładności pomiaru, które w wypadku elementów druku reprezentującego wartości dziesiątych części milimetra jest parametrem podstawowym.

Drukowanie wypukłe w dokumentach publicznych reprezentowane jest przez techniki typodruku. Typodruk, tak jak inne rodzaje druku wypukłego powstaje poprzez naniesienie na wypukłe elementy formy drukarskiej, farby i przeniesienie jej na podłoże poprzez dociśnięcie podłoża do formy drukarskiej. Odwrotnie do nazwy techniki drukarskiej przy drukowaniu wypukłym uzyskany obraz druku jest wklęsły w stosunku do niezadrukowanego podłoża.

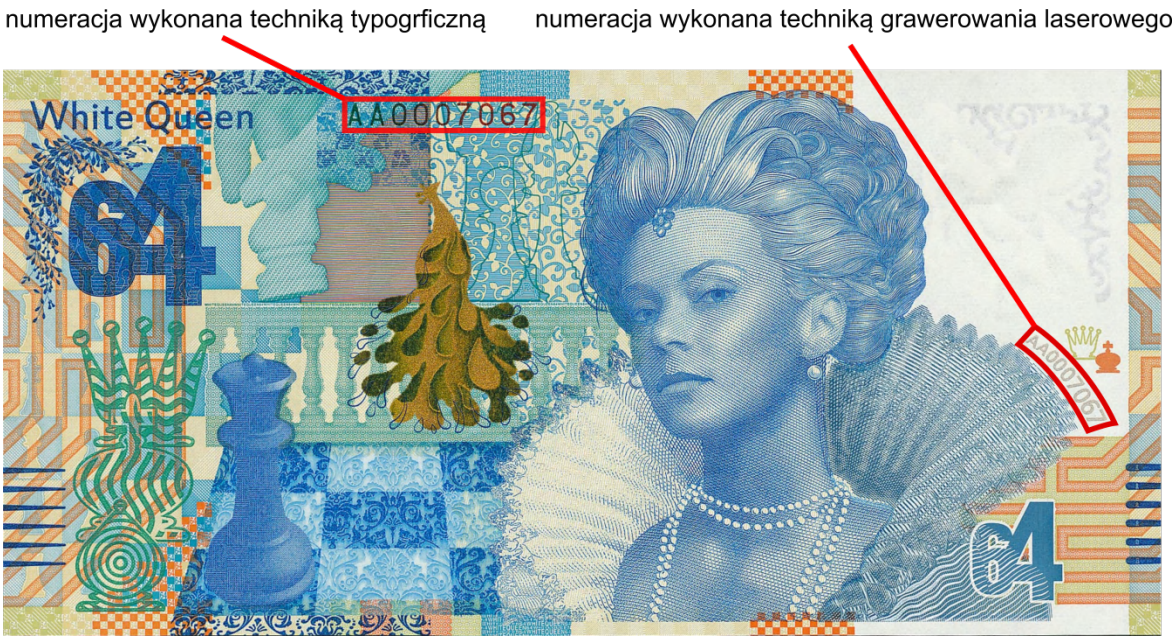
[82] Por. E. Gruza, M. Goc, J. Moszczyński, op. cit., s. 466 i nast. a także – D. Wilk red., *Kryminalistyka. Przewodnik,* Wyd. TNOiK, Toruń 2013, s. 262 i nast., M. Hryciuk, *Papier – możliwości badań kryminalistycznych,* [w:], Kryminalistyczne badania podłoża i środków kryjących – Zaszyty Metodyczne, Wyd. CLK KGP, Warszawa 2000, s. 51 i nast., B. Mazur, *Zabezpieczenia dokumentów przed fałszerstwem stosowane w podłożu papierowym i próby ich imitacji,* [w:] Możliwości badawcze dokumentów wytwarzanych technicznie – Zeszyty Metodyczne, Wyd. CLK KGP, Warszawa 2002, s. 107 i nast.



Ryc. Nr 47 – Technika druku wypukłego.

W celu analizy możliwości zastosowania technik 3D do badania druku wypukłego za pomocą skanera światła strukturalnego firmy Smarttech (nazwa skanera) dokonano zobrazowania banknotu promocyjnego Polskiej Wytwórni Papierów Wartościowych – „Szachy". Za pomocą mikroskopu cyfrowego 3D firmy Hirox oraz Keyence wykonano również badanie mikroskopowe dzięki czemu uzyskano profile 3D wyżej wskazanych technik drukarskich na banknocie. Przy analizie pod uwagę wzięto element numerowania dokumentu, który w banknocie „szachy" wykonany jest w dwóch różnych elementach banknotu na stronie „biała królowa (White Queen)". Technika wykonania numerowania banknotu w wypadku numeracji umiejscowionej nad obrazem pawia wykonanego farba zmienną optycznie (OVI) po lewej stronie wizerunku białej królowej to typografia z zastosowaniem przejścia irysowego. Po prawej stronie wizerunku królowej numeracja umiejscowiona jest nad kryzą sukni. Technika wykonania numerowania zastosowana w tym elemencie to grawerowanie laserowe[83]. Badaniu poddana została numeracja wykonana techniką typodruku.

[83] J. Gurtowska, *Banknot promocyjny PWPW – szachy*, Człowiek i dokument, Wyd. PWPW, styczeń – marzec Warszawa 2017..



Ryc. Nr 48– Strona „White Queen" Banknotu promocyjnego PWPW z zaznaczonym umiejscowieniem numerowania.

Rozmiar banknotu promocyjnego PWPW „szachy" wykracza poza pole pomiarowe skanera światła strukturalnego smarttech. Na potrzeby przeprowadzenia analizy technik drukarskich typowano miejsca występowania poszczególnych technik, a następnie skanowano wybrany fragment mieszczący się w polu pomiarowym urządzenia. Podłożem banknotu szachy jest papier zabezpieczony. Ponadto banknot „szachy" po procesie zadrukowania został polakierowany lakierem COAT4NOTE® w celu przedłużenia okresu przydatności do użycia. Zabieg ten spowodował, że powierzchnia badanego przedmiotu stała się „satynowo błyszcząca". Pomimo refleksyjnego charakteru powierzchni uzyskany podczas skanowania obraz chmury punktów był ostry niezawierający dużej ilości szumów. Uwagę zwrócić należy, że uzyskana chmura punktów charakteryzowała się dużą szczegółowością oddania barw i ich położenia. Uzyskaną chmurę punktów w celu poprawienia jakości wizualizacji elementów wykazujących charakterystykę trójwymiarową, poddano obróbce mającej na celu wyliczenia wektorów normalnych punktów należących do chmury, których poprawne umiejscowienie pozwala na prawidłowe oddanie geometrii dzięki stworzeniu z chmury punktów siatki trójkątów. Wyżej wymienione czynności wykonano za pomocą oprogramowania Geomagic Control. Podczas wykonywania wyżej wymienionych operacji wykorzystano najwyższe parametry jakości i ilości generowanych trójkątów, co pozwoliło na zminimalizowanie efektu uproszczenia geometrii. Poddany badaniu wycinek banknotu, po dokonaniu przekształceń składał się z trójkątów tworzących płaszczyznę co pokazuje wierność i precyzję odwzorowania

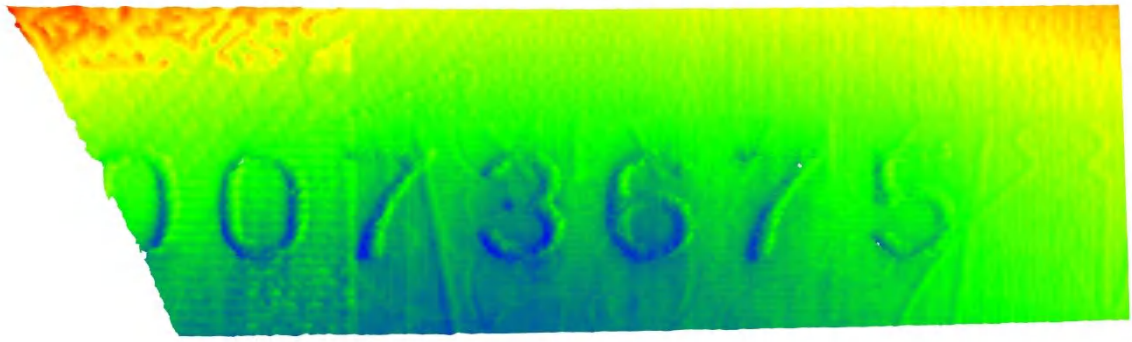
płaszczyzny. Wygenerowaną płaszczyznę reprezentującą powierzchnię banknotu promocyjnego PWPW „szachy” w miejscu zastosowania techniki typograficznej podano analizie odchyłków wysokości za pomocą oprogramowania Geomagic Control oraz Cloudcompere.

W trakcie analizy stwierdzono, iż elementy wykonane techniką typodruku są wklęsłe w stosunku do zadrukowanego techniką druku płaskiego podłoża. Różnica wysokości płaszczyzny typodruku do płaszczyzny podłoża jest na tyle duża, iż można ją obserwować na zeskanowanym obrazie pokrytym teksturą, bez konieczności generowania mapy wysokości.



Ryc. Nr 49 – Numeracja banknotu promocyjnego PWPW Szachy wykonana technika typodruku zeskanowana za pomocą skanera światła strukturalnego (siatka trójkątów pokryta teksturą).

W celu lepszego zwizualizowania różnic wysokości elementów zawartych na badanym fragmencie dokumentu za pomocą programu Cloudcompere wygenerowano siatkę wysokości, w której elementy znajdujące się najniżej reprezentowane są przez kolor granatowy, a wraz ze wzrostem wysokości elementów kolor ich przechodzi kolejno w odcienie koloru zielonego, żółtego, pomarańczowego kończąc na kolorze czerwonym.



Ryc. Nr 50 - Numeracja banknotu promocyjnego PWPW Szachy wykonana technika typodruku zeskanowana za pomocą skanera światła strukturalnego (mapa wysokości).

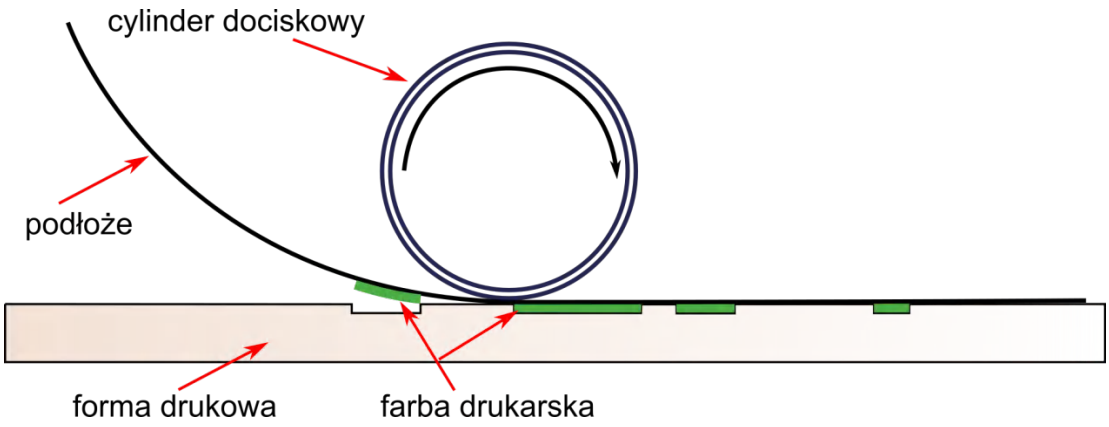
Wygenerowana mapa wysokości wyraźnie pokazała miejsca odchyleń wysokości elementów wykonanych techniką typodruku w stosunku do podłoża definiując je jako elementy wklęsłe. Uwidocznione zostały elementy wypukłe wykonane inną technika druku, a na badanym fragmencie banknotu znajdujące się w jego lewym górnym rogu. Mapa wysokości pokazała również błędy podczas wykonywania skanu dokumentu związane z jego ustawieniem podczas wykonywania skanowania, w którym obiekt badawczy ustawiony był pionowo i oparty o płaszczyznę prostopadłą do detektora. Płaszczyzna prostopadła do sensora jest ustawieniem poprawnym, gdyż kąty natarcia i odwzorowania rastrów rzucanych na mierzony obiekt zapewniają jego poprawne zobrazowanie. Niestety ustawienie pionowe banknotu spowodowało jego odkształcenie pod wpływem własnego ciężaru niewidoczne gołym okiem, lecz wyraźnie uwidocznione na mapie wysokości, na której widać zagięcie całego dokumentu oraz jego narożników. Zaistnienie opisanej wyżej deformacji wykazuje potrzebę zmiany konfiguracji skanera w stosunku do badanego obiektu pozwalającej na skanowanie obiektów elastycznych takich jak dokumenty, arkusze blach, papieru itp. w pozycji skanera umożliwiającej ułożenie wyżej wymienionych obiektów na poziomej powierzchni zapobiegającej ich deformacji.

Pomimo opisanych trudności uzyskany za pomocą skanera strukturalnego obraz zadrukowanej części banknotu pozwala za wyszczególnienie cech charakterystycznej techniki druku wypukłego jaką jest typodruk, czyli wklęsłości zadrukowanych tą technika elementów podłoża w stosunku do zadrukowanego innymi technikami. Pozwala to na analizę i wnioskowanie o autentyczności dokumentu w wypadku, kiedy fałszerz wykonując dokument wykonał element innymi technikami drukarskimi niż producent autentycznego dokumentu. Należy jednak zauważyć, że dość powszechną metodą imitacji techniki typodruku przez fałszerzy jest wykonanie elementów inną techniką druku, a następnie nadanie mu trójwymiarowego charakteru poprzez użycie rylca w postaci najczęściej zeszlifowanych gwoździ. Punktowe uderzenia tak wykonanym narzędziem na płaszczenie elementów pokrytych farbą powodują wklęsłość płaszczyzny w stosunku do podłoża, a co za tym idzie skutecznie imitują technikę typodruku. W tym wypadku obraz uzyskany za pomocą skanowania 3D również przedstawiał będzie różnice wysokości pomiędzy elementami imitującymi typografię a podłożem niezadrukowanym. Poddanym analizie w przypadku imitacji typodruku powinna zostać dokładność wklęsłości, a więc jej pokrycie w zadrukowaniem farbą, jak również ciągłość wklęsłości, niemożliwa do wykonania przy punktowym nabijaniu rylcem. Obydwie analizy możliwe są z zastosowaniem skanera światła

strukturalnego, jednakże w wypadku fałszerstw wykonanych w wysoką precyzją należy skłonić się do przeprowadzenia analizy za pomocą mikroskopów cyfrowych, które pozwalają na dokonanie analizy z większą dokładnością pomiarową. Technika ta pozwala na uzyskanie profilowania 3D powierzchni ze znacznie większą precyzją niż opisany powyżej skaner światła strukturalnego jednak nie jest ona pozbawiona wad. Jedną z nich jest rozmiar roboczy. W wypadku mikroskopów 3D wielkość pola roboczego jest odwrotnie proporcjonalna do dokładności uzyskanego pomiaru. Jest to związane z zasadą działania mikroskopów 3D, które opierają się na głębi ostrości zastosowanej optyki. Dzięki „płytkiej" głębi ostrości oraz zmotoryzowanej osi Z sterowanej silnikami krokowymi o bardzo wysokiej precyzji oprogramowanie znajduje punkty ostrości na wszystkich wykonanych do obrazowania fotografiach badanego przedmiotu, a następnie poprzez ich połączenie tworzy płaszczyznę 3D reprezentującą płaszczyznę obiektu.

1.2) Druk wklęsły (staloryt)

Druk wklęsły powstaje poprzez przeniesienie farby drukarskiej umieszczonej w zagłębieniach formy drukarskiej na podłoże, poprzez dociśnięcie go do formy za pomocą cylindra dociskowego. Matryce (formy drukarskie) powstają poprzez wyrycie rylcem negatywu obrazu na płycie stalowej. Współcześnie wykonywane są również z wykorzystaniem technik galwanicznej i laserowej. Dzięki faktowi przeniesienia farby znajdującej się w zagłębieniach matrycy na podłoże druk uzyskuje efekt wypukłości wyczuwalny dotykiem. W związku z dużą trudnością oraz kosztami wytworzenia formy drukarskiej druk wklęsły nie jest techniką powszechną. Dzięki temu z powodzeniem stosowany jest do wytworzenia dokumentów zabezpieczonych takich jak banknoty, dokumenty tożsamości, znaki akcyzy i inne. Wykorzystanie techniki druku wklęsłego pozwala ponadto na zastosowanie dodatkowych elementów zabezpieczenia dokumentu przed fałszerstwem w których najczęściej stosowane są efekt kątowy, elementy zabezpieczeń wyczuwalne dotykiem, graficzne elementy zabezpieczające optycznie zmienne, suche tłoczenie.



Ryc. Nr 51 – Technika druku wklęsłego.

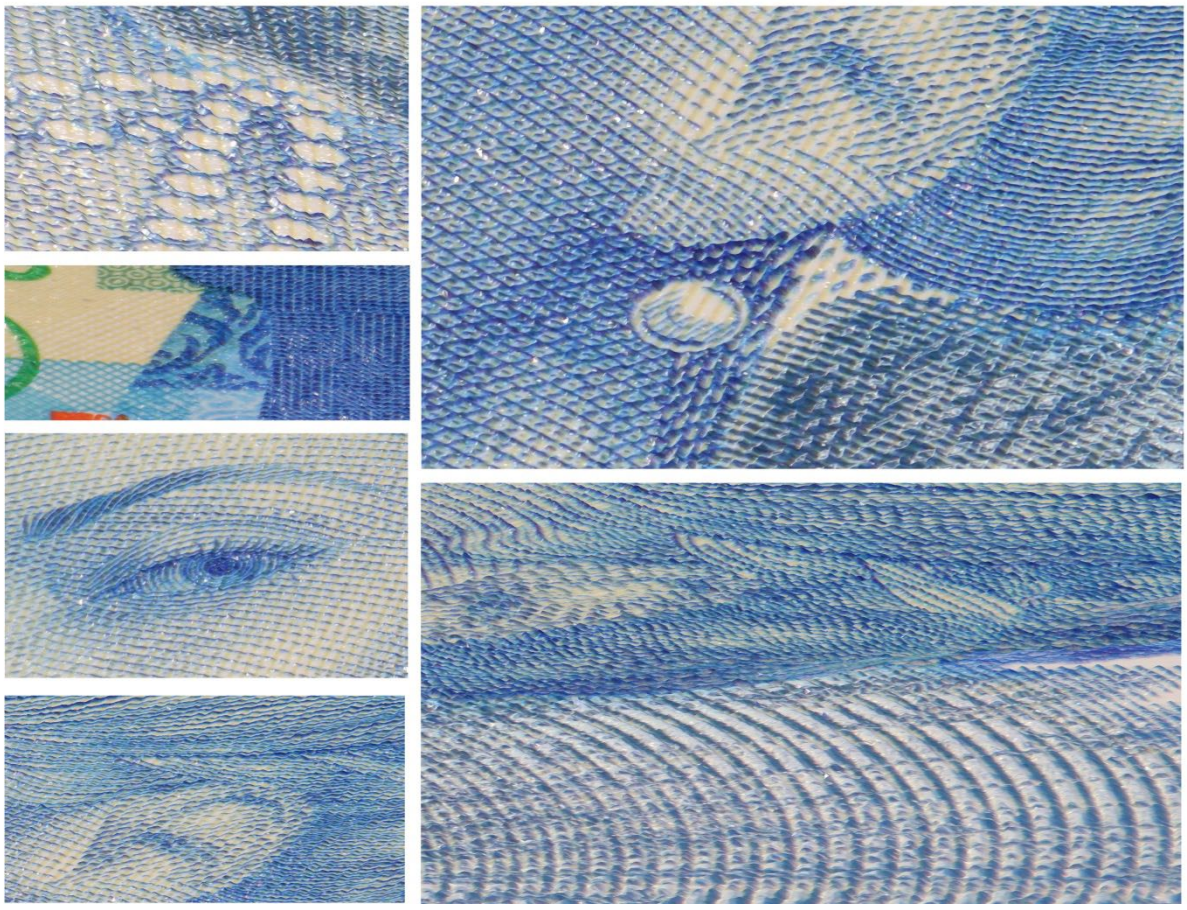
W celu zbadania możliwości badawczych i przydatności skanowania 3D do identyfikacji druku wklęsłego wytypowano elementy banknotu promocyjnego PWPW „Szachy" na których została zastosowana technika druku wklęsłego staloryt. Tak jak w przypadku druku wypukłego skanowanie zostało wykonane za pomocą skanera światła strukturalnego Smarttech. Elementami wytypowanymi do badania zostały fragmenty strony „White Queen" w postaci wizerunku królowej, pola szachowego wraz z pionkiem oraz liczby 64 wraz z okalającym ją zdobieniem roślinnym.



Ryc. Nr 52 – Strona „White Queen" banknotu promocyjnego PWPW „Szachy" z wyróżnionymi miejscami zastosowania techniki druku wklęsłego poddanymi badaniom.

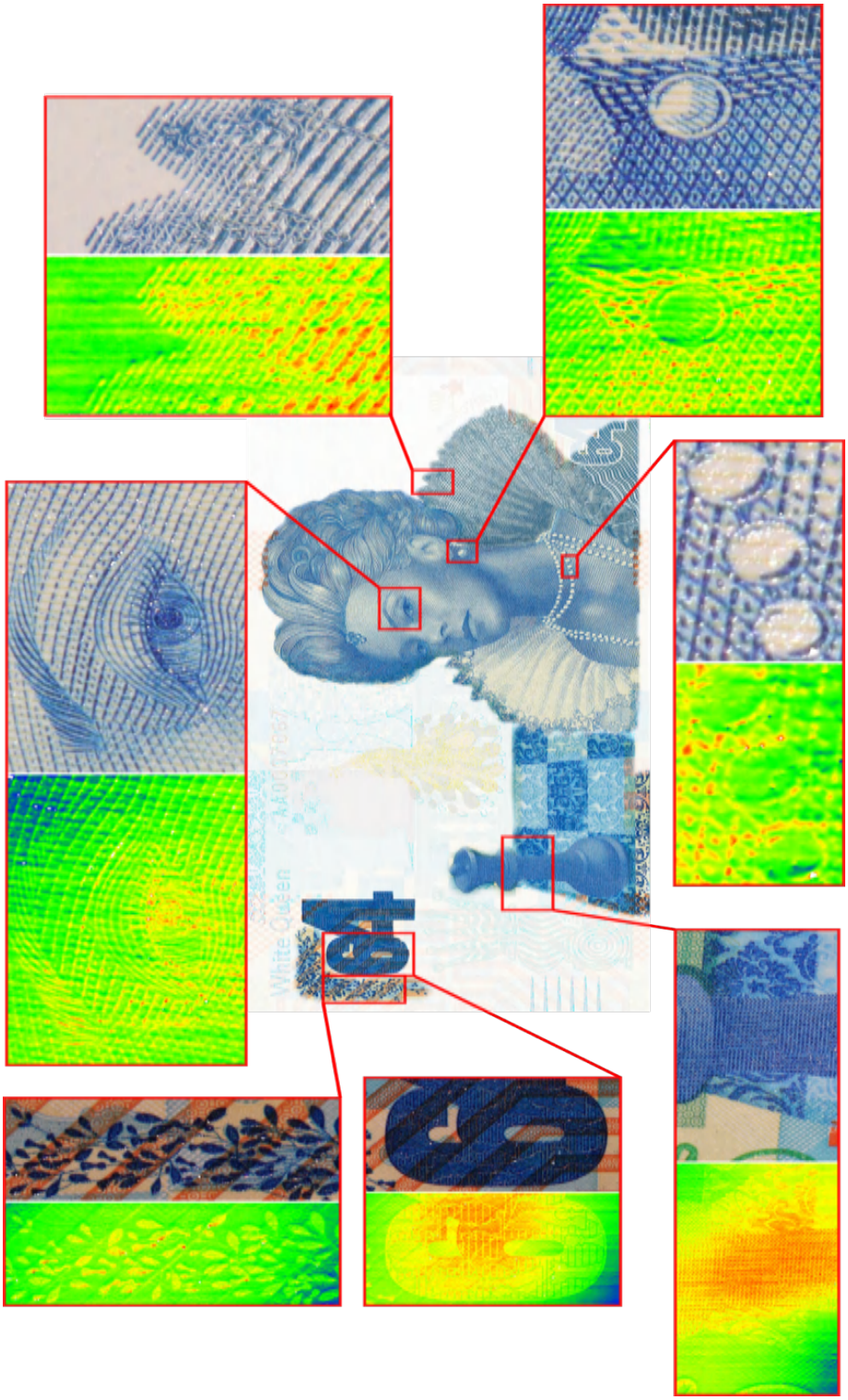
Zeskanowane fragmenty banknotu po zeskanowaniu zostały poddane procesowi określenia wektorów normalnych dla każdego z punktów utworzonej chmury oraz utworzenia

z punktów płaszczyzny poprzez połączenie ich w siatkę trójkątów. Przy obserwacji kątowej utworzonych modeli zauważono duże zróżnicowanie wartości wysokości elementów wykonanych techniką stalorytu w stosunku do badanego podłoża. Na szczególna uwagę zasługuje badany fragment przedstawiający kryzę sukni białej królowej, który został wykonany technika stalorytu z wykorzystaniem białej farby na niebieskim poddruku wykonanym drukiem płaskim (offset). To niestandardowe zastosowane techniki stalorytu jest doskonale widoczne podczas kątowej obserwacji modelu. Wyraźne wypukłe białe linie kryzy ukazują prawidłowe oddanie charakteru powierzchni badanego obiekty za pomocą skanera światła strukturalnego.



Ryc. Nr 53 – Wybrane fragmenty modelu 3D banknotu „Szachy" zawierające nadruki wykonane stalorytem.

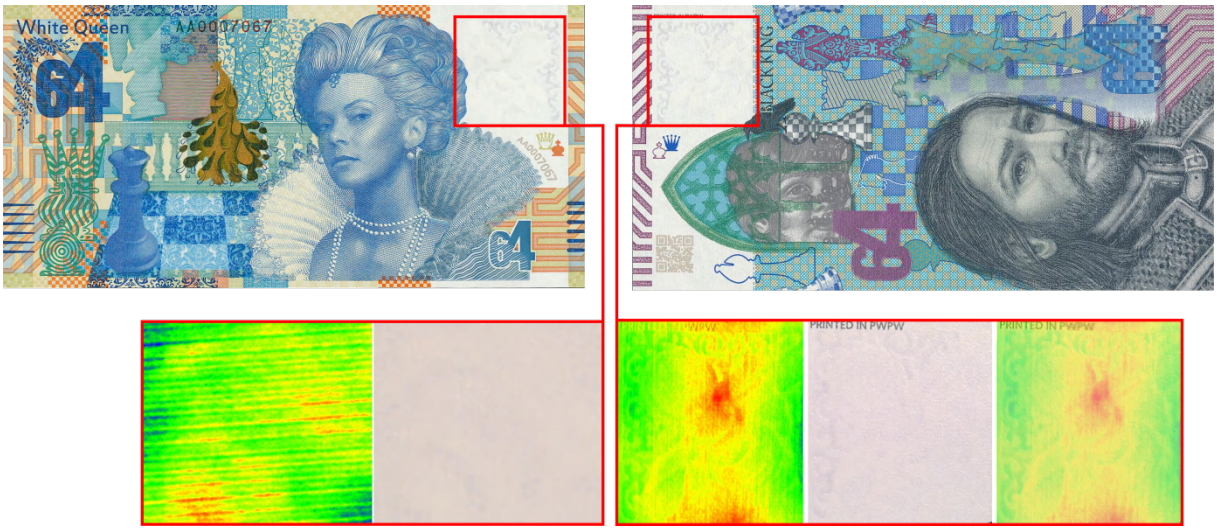
Mapy wysokości wytworzone z modeli 3D reprezentujące badane fragmenty przedstawiają wyraźne zróżnicowanie wysokości (wypukłość) badanej techniki druku w stosunku do podłoża. Tak jak w wypadku typografii mapa wysokości pokazała konieczność zmiany konfiguracji ustawienia skanera pozwalającą na skanowanie obiektu znajdującego się na powierzchni płaskiej.



Ryc. Nr 54 Wskazane obszary badanego banknotu.

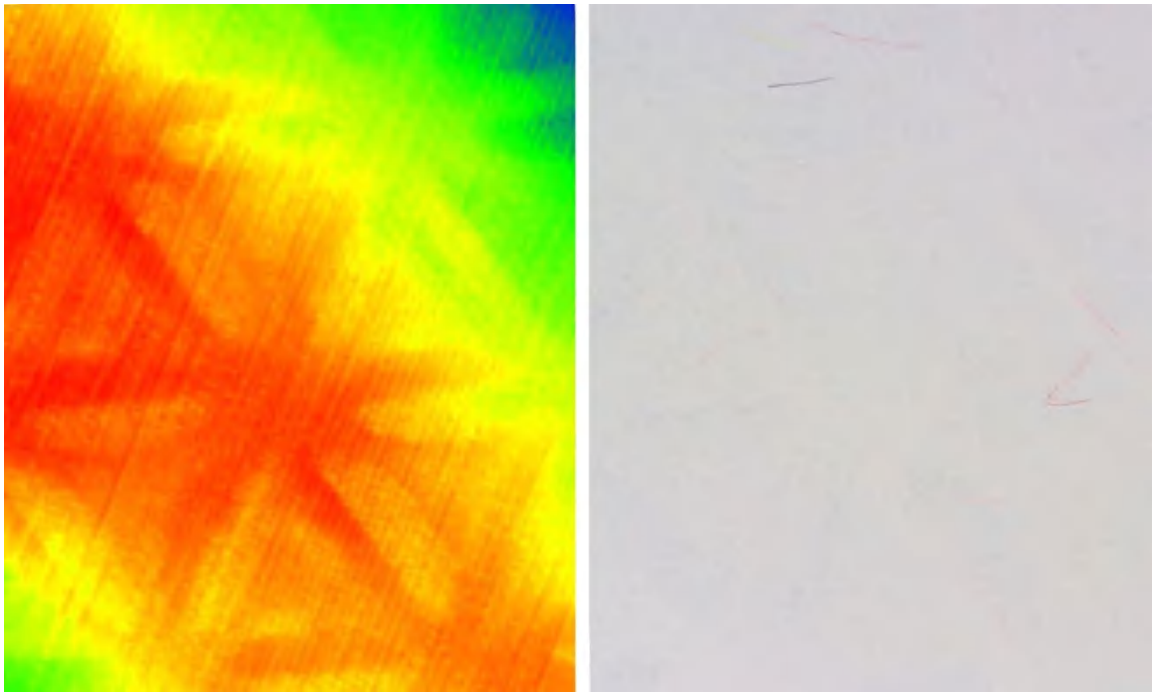
1.3) Znak wodny

Znak wodny powstaje na etapie produkcji papieru poprzez zmniejszenie lub zwiększenie gęstości włókien w miejscu jego występowania. Fakt ten powoduje, że w miejscu występowania filigranu (znaku wodnego) papier posiada subtelną fakturę wyczuwalną dotykiem. Świadczy to o fakcie trójwymiarowości znaków wodnych. Badaniu poddane zostały banknoty promocyjne PWPW „Szachy". Fragmenty banknotów, w których występował znak wodny zeskanowano za pomocą skanera światła strukturalnego, a następnie za pomocą programu cloudcompere utworzono mapę wysokości.



Ryc. Nr 55 – Wycinek znaku wodnego banknotu promocyjnego szachy zawierający znak wodny (strona „white queen" oraz „black king").

Uzyskane w ten sposób mapy wysokości uwidoczniły wyraźne odchyłki wysokościowe w miejscach zróżnicowanej gęstości, a co za tym idzie grubości papieru. Różnice te ukazały również obrazy znaku wodnego wraz z przejściami tonalnymi na nim występujące. Tak jak w wypadku poprzednich badań, delikatne różnice płaszczyzny banknotu spowodowane jego pionowym ustawieniem bez „stelaża" utrudniły analizę wyników. Istotny, elementem analizy wyników był fakt występowania jednolitej faktury papieru na całości badanych obiektów. Pozwala to na stwierdzenie, że oprócz badania „rysunku 3D" znaku wodnego można przeprowadzić analizę faktury papieru na nim występującej, która w przypadku fałszerstw polegających na zmniejszeniu grubości papieru poprzez jego wycieranie czy zeskrobywanie ukazała by ingerencję w jego fakturę.



Ryc. Nr 56 – Znak wodny z zauważalną nienaruszoną strukturą papieru.

1.4) Dokumenty poliwenglanowe

W chwili obecnej coraz częstszą praktyką jest zastępowanie dokumentów papierowych na plastykowe czy poliwęglanowe, które cechują się wyższa odpornością na zniszczenia, a co za tym idzie czasem używalności dokumentu. Dokumenty w pełni wykonane tą technologią najczęściej wykonywane są w formacie ID1 (85,60 mm szeroki, 53,98 mm wysoki) oraz ID2 (105 mm szeroki, 74 mm wysoki). Formaty te charakterystyczne są dla dokumentów takich jak dowód osobisty, prawo jazdy, karty pobytu, służbowe dokumenty tożsamości oraz inne poświadczające uprawnienia specjalistyczne posiadacza. W przypadku formatu ID3 (125 mm szeroki, 88 mm wysoki) wykonanego na poliwęglanach najszersze ich zastosowanie można zauważyć jako element książeczek paszportowych zawierających dane personalizacyjne oraz wizerunek posiadacza.

Technika nanoszenia zarówno wizerunku jak i danych personalizacyjnych na dokumentach poliwęglanowych znacznie odbiega od standardowych technik drukarskich wykonywanych na podłożu papierowym. Wykonywane są one techniką grawerowania laserowego. Metoda ta wykorzystuje światło specjalistycznych urządzeń laserowych, powodujących zwęglenie elementów, na które pada światło wykorzystywanego lasera. Poprzez

ułożenie warstw dokumentu wrażliwych na światło lasera w odpowiedniej kolejności można uzyskać efekt nadrukowania elementów w warstwach wewnętrznych (niewyczuwalne dotykiem na powierzchni dokumentu), jak również na warstwach zewnętrznych (wypukłe elementy na powierzchni dokumentu) zwany grawerowaniem „na wyskok”.

Produkcja dokumentów poliwęglanowych opiera się na zgrzaniu ze sobą kilku warstw takich jak zadrukowane technikami standardowymi rdzenie papierowe, hologramy, warstwy poliwęglanu o różnej charakterystyce czułości i tym podobne w jedną spójną całość. Na tak powstały „bezimienny” blankiet, za pomocą grawerowania laserowego zostają naniesione dane indywidualizujące dokument, takie jak; wizerunek, dane osobowe oraz pole odczytu maszynowego.

Do badania możliwości zastosowania modelowania 3D w celu weryfikacji autentyczności dokumentów wykonanych na podłożu poliwęglanowym wykorzystano dokumenty w formacie ID1 w postaci dowodu osobistego RP, oraz ID karty sił zbrojnych RP.

Ze względu na rozmiar poddanych badaniu obiektów do przeprowadzenia analizy wykorzystano skanowanie światłem strukturalnym. Ponadto w związku z połyskliwym charakterem dokumentów poliwęglanowych w pierwszym etapie badania obiekty zostały zmatowione za pomocą sprayu „Helling 3D” wykorzystujący drobnocząsteczkowy tlenek tytanu.



Ryc. Nr 57 – Dowód osobisty z zaznaczonymi zeskanowanymi fragmentami oraz przedstawieniem ich w postaci mapy wysokości.

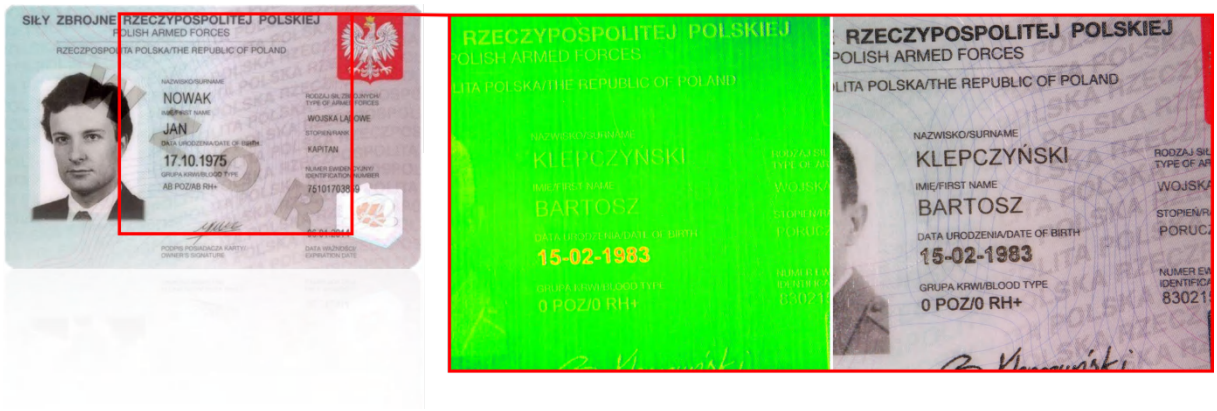
Uzyskane w badaniu chmury punktów za pomocą programu Geomagic controle zostały przekształcone w siatkę trójkątów zawierającą 40 mln trójkątów. Na uzyskanych siatkach

trójkątów wygenerowano mapy wysokości pozwalające na wizualizację wysokości zeskanowanych elementów.

Rezultatem przeprowadzonych przekształceń było zobrazowanie „topografii" dokumentu, odpowiadającej ich realnej specyfice w postaci np. wypukłości umiejscowionych na rewersie dokumentów, a służących osobom niewidomym do ich zidentyfikowania. Wypukłości ze względu na uzyskaną bardzo wysoką gęstość pomiarową analizować można pod kątem regularności i precyzji ich wykonania, co wykluczyć może sfałszowanie tego elementu. Wyraźnie uwidoczniły się również elementy grawerowania „na wyskok", gdzie wyraźnie odznaczył się ich odchyłek wysokości w stosunku do wierzchniej warstwy poliwęglanu. Uwidoczniły się również reliefy (przetłoczenia) poliwęglanu występujące na wierzchniej jego warstwie Sztywność dokumentów poliwęglanowych spowodowała, iż nie zaobserwowano odkształceń powierzchni, tak jak to występowało w przypadku skanowania dokumentów papierowych.

Następnie obiekty badawcze zostały wyczyszczone z zastosowanego w pierwszym etapie badań tlenku tytanu poprzez przemycie ich wodą, wysuszone i zeskanowane ponownie. Uzyskane chmury punktów poddane zostały analogicznym przekształceniom jak w przypadku zmatowienia dokumentu.

Przeźroczystość powłoki poliwęglanowej pozwoliła w tym przypadku na zobrazowanie ułożenia poszczególnych warstw grawerowania laserowego. Uwidocznione zostało nie tylko grawerowanie „na wyskok", które wyraźnie wskazywało odchyłek wysokości w stosunku do zadrukowanego papierowego rdzenia dokumentu, lecz również grawerowanie w wewnętrznych warstwach poliwęglanu zastosowane w przypadku badanego wzoru dowodu osobistego do „nadrukowania" danych personalizacyjnych (poza nazwiskiem i datą urodzenia grawerowanymi „na wyskok"), pola odczytu maszynowego oraz wizerunku posiadacza. Zostały uwidocznione również wypukłości związane z klasycznymi technikami drukarskim jak wypukłość godła nadrukowanego sitodrukiem z użyciem farby zmiennej optycznie. Uzyskane mapy wysokości pokazały wyraźnie różnice poziomów pomiędzy wyżej wskazanymi elementami.



Ryc. Nr 58 – Karta tożsamości żołnierza Sił Zbrojnych Rzeczpospolitej Polskiej z zaznaczonym zeskanowanym fragmentem oraz przedstawieniem go w postaci mapy wysokości.

Wyniki skanowania i analizy Karty Tożsamości Sił Zbrojnych RP, które w celu zwalidowania metody zostały wykonane niezmienionym algorytmem postępowania jak w przypadku dowodu osobistego. Tak jak w przypadku Dowodu Osobistego zmatowienie dokumentów pozwoliło na analizę elementów wypukłych i wklęsłych dokumentu wyczuwalnych dotykiem, a chmura punktów uzyskana bez zastosowania tlenku tytanu pozwoliła na analizę wewnętrzna poliwęglany i poziomu grawerowania.



Ryc. Nr 59 – Widok kątowy promocyjnego banknotu poliwęglanowego PWPW „pszczoła miodna" z widocznymi wypukłościami druku.

2) Badania klasyczne dokumentów

Pod pojęciem klasycznych badań dokumentów zawierają się analizy pod kątem:

- Identyfikacji osób na podstawie pisma ręcznego,
- Badania identyfikacyjnego podpisów,
- Wnioskowania o cechach osobo - poznawczych autora i wykonawcy wypowiedzi pisemnej,

- Określenia przypuszczalnego okresu nakreślenia badanych zapisów na podstawie cech graficznych,
- Oceny kolejności naniesienia zapisów na podłoże dokumentu[84].

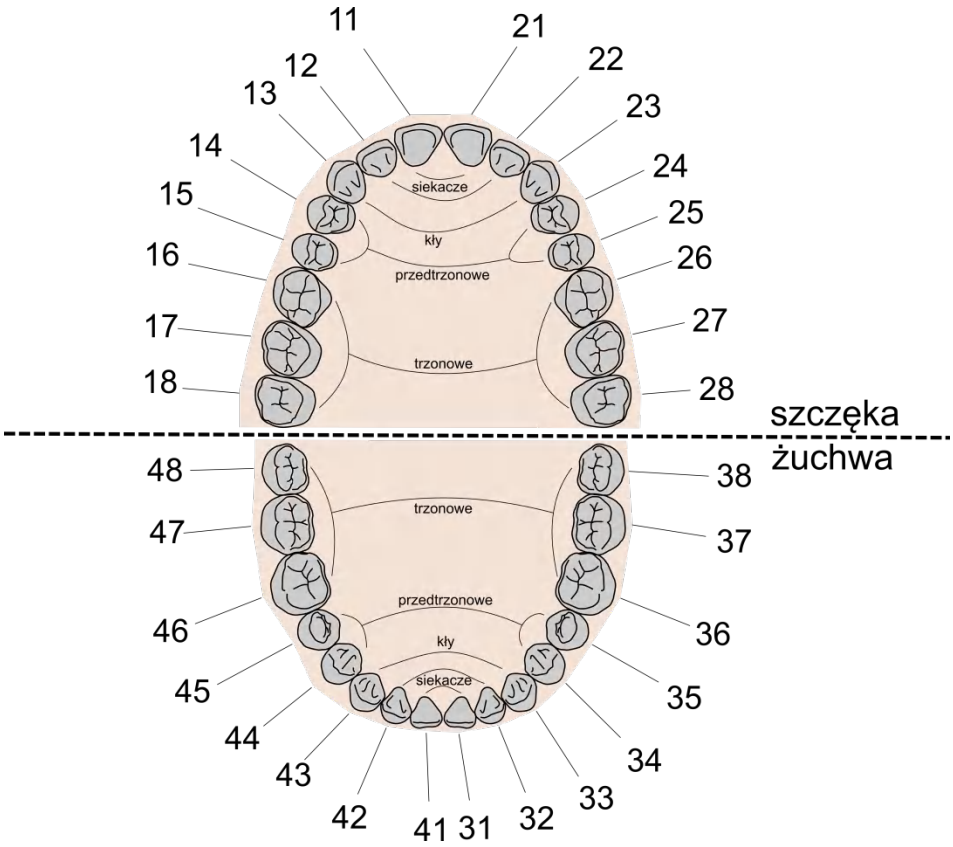
W przypadku klasycznego badania dokumentów ocenę przydatności techniki skanowania i modelowania 3D na potrzeby kryminalistyki i procesu karnego oparto o badanie kolejności naniesienia zapisów na podłoże dokumentu. Do badań przygotowano próby dziesięciu krzyżujących się linii naniesionych trzema różnymi środkami piśmienniczymi. Zastosowana metoda również wykazała pełną przydatność do określania, czy linie zostały na siebie nałożone, w jakiej kolejności oraz rozróżnienie środka kryjącego. Ten wstępny eksperyment pokazuje, iż modelowanie 3D znajduje także zastosowanie w klasycznych badaniach dokumentów.

[84] Por. M. Goc, T. Tomaszewski, *Wykorzystanie metod komputerowych w badaniach pismoznawczych,* [w:] red. B. Hołyst, Technika kryminalistyczna w pierwszej połowie XXI wieku. Wybrane problemy, Wyd. PWN, Warszawa 2014, s. 368 i nast.

ROZDZIAŁ V
Wykorzystanie technik 3D w przypadku badań odontoskopijnych

1) Charakter śladów odontoskopijnych

Identyfikacja na podstawie uzębienia zastosowania znalazła już w XVIII wieku, kiedy to wykorzystano ją do zidentyfikowania zwłok generała Josepha Warrnera poległego w bitwie pod Bunker Hill w 1775 r., a pochowanego w mogile zbiorowej[85].

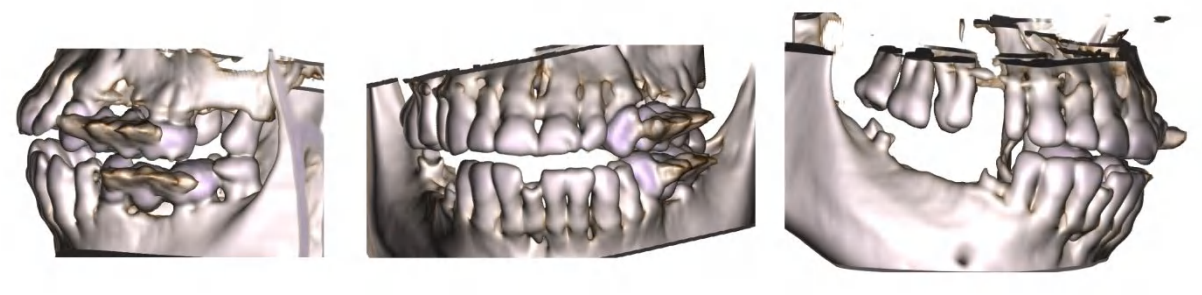


Ryc. Nr 60 – Oznaczenie zębów stałych człowieka wg FDI.

Obecnie wpływ tego rodzaju identyfikacji z powodzeniem jest stosowany przez śledczych oraz specjalistyczne zespoły DVI (Disaster Victim Identification) podczas procesu

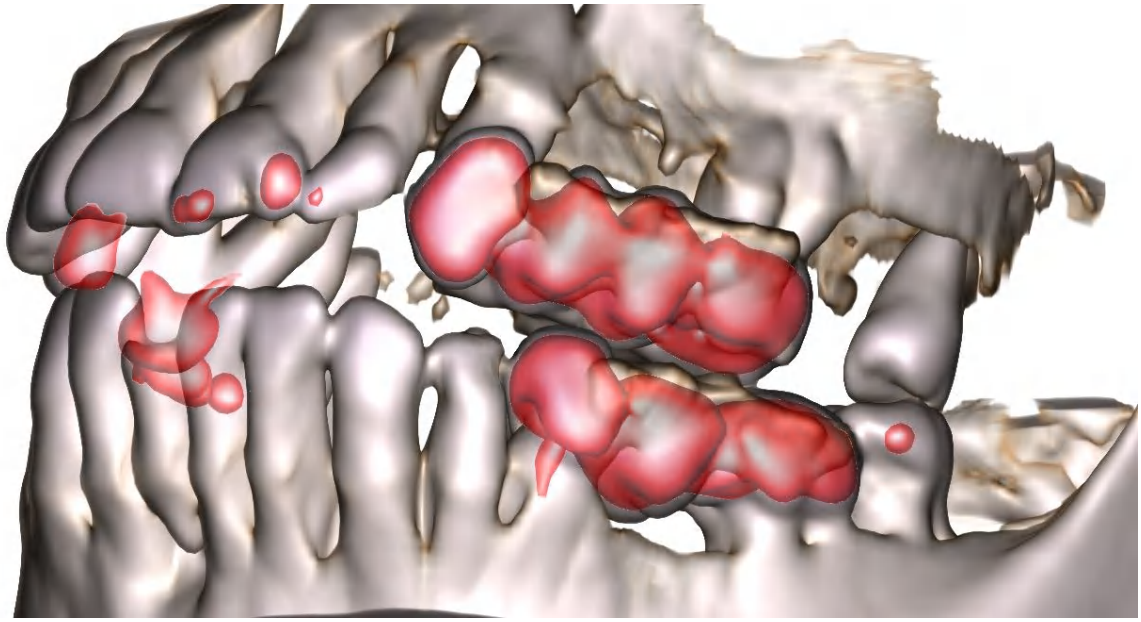
[85] M. Goc, J. Moszczyński red., *Ślady kryminalistyczne – ujawnianie, zabezpieczanie, wykorzystanie*, Wyd. Difin, Warszawa 2007, s. 107.

identyfikacji tożsamości ofiar zdarzeń o charakterze masowym takich jak katastrofy naturalne, zamachy terrorystyczne czy wypadki komunikacyjne. Jako potwierdzenie przydatności tego rodzaju wskazywania tożsamości można przytoczyć przykład katastrofy naturalnej w postaci fal „Tsunami" które wystąpiły w na skutek trzęsienia ziemi z epicentrum znajdującym się u wybrzeży Indonezji, a które to trzęsienie spowodowało śmierć ok 250 tysięcy ludzi, w takich krajach jak Indonezja, Sri Lanka, Indie czy Tajlandia. Jak pokazuje statystyka z pośród ofiar „tsunami" w Tajlandii, a nie będących Tajami procent ofiar zidentyfikowanych na podstawie uzębienia wynosił ok. 80[86]. Liczba ta uwidacznia możliwości zastosowania takiego rodzaju wnioskowania w krajach rozwiniętych, w których dokumentacja stomatologiczna jest powszechna. Sprzętem wykorzystywanym podczas badania w tym wypadku jest aparat rentgenowski, który nie pozwala na obrazowanie 3D. Należy jednak zauważyć, że w chwili obecnej coraz więcej instytucji badawczych z zakresu medycyny sądowej posiada urządzenia pozwalające na wykonywanie obrazowania tomograficznego takie jak tomograf komputerowy czy rezonans magnetyczny. Zastosowanie ich pozwala na uzyskanie metrycznych modeli objętościowych (3D) które, nie tylko ukazują geometrię uzębienia, ale również dzięki właściwością promieniowania w nich zastosowanych możliwe jest dokonanie analizy ubytków, implantów czy leczenia stomatologicznego któremu została poddana badana osoba.



Ryc. Nr 61 – Model 3D wykonany na podstawie obrazowania za pomocą tomografii komputerowej. Po lewej stronie szczęki oraz żuchwy widoczne artefakty powstałe w skutek echa charakterystycznych dla substancji metalicznych wskazujących na zastosowanie wypełnień amalgamatem stomatologicznym lub implantów z metalowymi elementami.

[86] P.Schuller-Götzburgabd, J.Suchanek, *Forensic odontologists successfully identify tsunami victims in Phuket, Thailand* , Forensic Science International, Volume 171, Issues 2–3, 13 September 2007, s. 204-207.



Ryc. Nr 62 – Model 3D wykonany z wykorzystaniem obrazowania tomografem komputerowym z uwidocznionymi miejscami zastosowania w leczeniu stomatologicznym wypełnień amalgamatem stomatologicznym.

Jednak ustalenie tożsamości zwłok to tylko jedna z identyfikacji możliwych do przeprowadzenia z wykorzystaniem informacji jakie niosą ze sobą badania odontoskopijne. Praktyka pokazuje, że na miejscach zdarzenia o różnorodnym charakterze częstokroć ujawniane i zabezpieczane są ślady zębów powstałe na skutek ugryzienia produktów spożywczych, jak również użycia zębów jako narzędzia na plombach czy też taśmach klejących. Charakterystyczne jest też ujawnienie śladów zębów na ciele człowieka powstałe na skutek ataku lub obrony przed napastnikiem. Ślady te z dużym powodzeniem pozwalają na identyfikację sprawcy lub innych osób biorących udział w zdarzeniu[87].

W związku z mechanizmem i skutkiem powstania śladów zębów można dokonać ich podziału na:

1. Ślady nagryzienia,
    - Ślady poślizgu,
    - Ślady wgłębione,
2. Ślady nadgryzienia,
3. Ślady przegryzienia.

[87] J. Kasprzak, *Odontoskopia kryminalistyczna,* Wyd. Volumina pl., Olsztyn – Szczecin 2011, s. 29.

Ponadto wskazać trzeba odrębną grupę śladów zębów na skórze ludzkiej wśród której wyróżniamy takie rodzaje śladów jak:

1. Ślady ugryzienia,
    - Ślady powierzchniowe,
    - Ślady głębokie,
2. Ślady odgryzienia[88].

2) Cechy identyfikacyjne

Badanie śladów zębów opiera się na trzech zasadniczych ich cechach identyfikacyjnych. Są to:

1. **Cechy identyfikacyjne układu zębów** opierające się na postrzeganiu śladu jako całości. W tym wypadku rozpatrywane jest wzajemne usytuowanie zębów, ich ustawienie w łuku czy też braku występowania zęba w łuku. Układ zębów pozwala na dokonanie wstępnej analizy śladu, a w związku ze swoją charakterystyką często pozwala na dokonanie identyfikacji negatywnej już na pierwszym etapie badań.
2. **Ogólne cechy identyfikacyjne zęba** które zostały usystematyzowane w tabelach kodowych. Wśród cech w nich się znajdujących wymienić należy wysokość i szerokość części roboczej zęba, jego kształt, ustawienie w łuku czy zachodzenie na zęby sąsiednie. Do cech indywidualizujących zaliczamy również ubytki, wyszczerbienia jak również ostrość części roboczej. Charakter tych cech sprawia że stanowią one najczęściej podstawę opiniowania przez biegłego na temat pochodzenia.
3. **Cechy szczegółowe zęba** zawierają takie elementy jak relief zęba oraz charakterystyczne elementy wyszczerbień oraz ubytków. Ślady takie niosą ze sobą szczególna wartość identyfikacyjną. Ze względu na ich indywidualny charakter ślady takie nie podlegają klasyfikacji, a metodyka ich badania i oceny jest zbieżna z badaniem śladów mechanoskopijnych[89].

[88] J. Kasprzak, *Odontoskopia kryminalistyczna,* op. cit. s. 126 i nast.
[89] J. Kasprzak, *Odontoskopia kryminalistyczna,* op. cit. s. 93 i nast., a także J. Kasprzak, *Kryminalistyczne badania odontoskopijne,* [w:] red. B. Hołyst, Technika kryminalistyczna w pierwszej połowie XXI wieku. Wybrane problemy, Wyd. PWN, Warszawa 2014 s. 761 i nast.

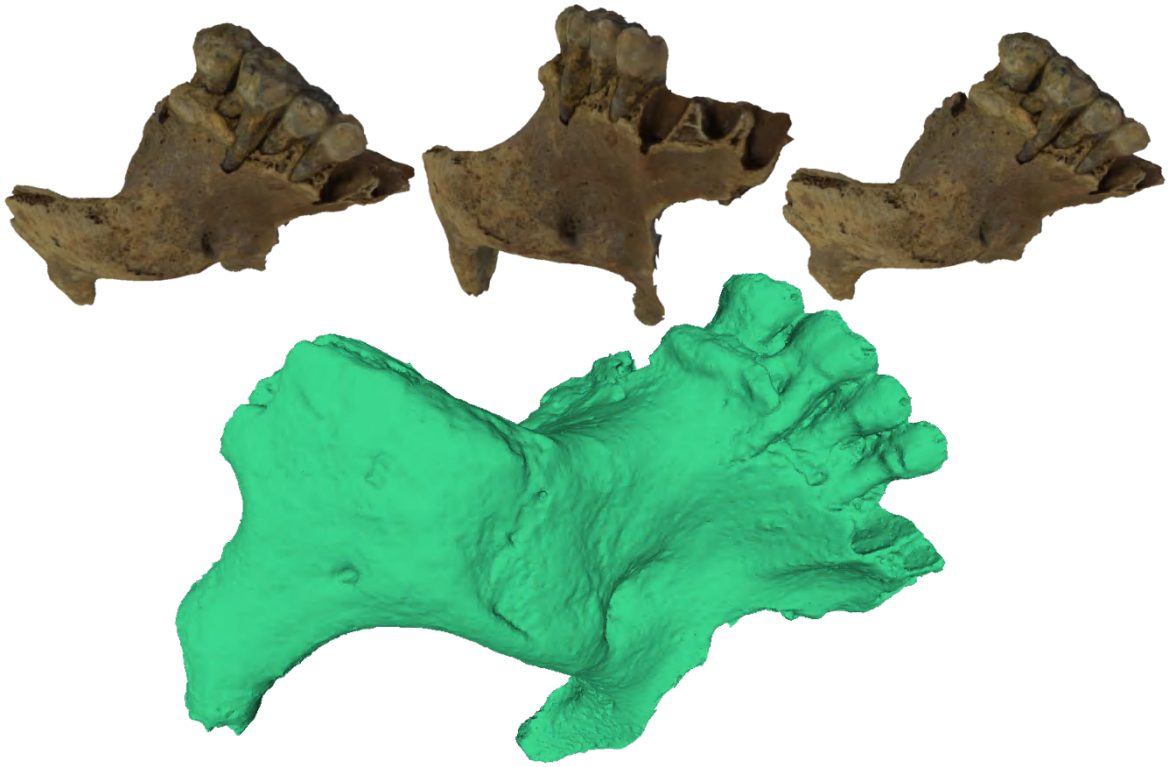
Zęby w gruncie rzeczy trzeba traktować jako narzędzie, a więc badanie ich jak również śladów przez nie pozostawionych wykazuje wiele cech wspólnych z badaniami mechanoskopijnymi. Zęby jako narzędzia posiadają cech indywidualne jak charakterystyczny kształt oraz cechy indywidualne powstałe w trakcie ich użytkowania takie jak ubytki, ukruszenia itp. Cechami grupowymi zębów jest ich liczba w łuku charakterystyczna dla danego gatunku jak również kształt związany z rodzajem zębów.

3) Możliwości modelowania 3D w odontoskopii

Charakter przestrzenny opisanych wyżej śladów zębów sprawił, iż na potrzeby dysertacji, ślady te zostały poddane modelowaniu i na tej podstawie prowadzono analizy wyników. Jako techniki modelowania dające precyzję pozwalającą na wysokie odwzorowanie cech charakterystycznych wybrano technikę SFM oraz zastosowanie skanera światła strukturalnego, wykorzystano również modelowanie na podstawie obrazowania tomograficznego[90]. W celu sprawdzenia możliwości badawczych zostały wykonane skany protetycznych odlewów szczęk oraz żuchw, kości żuchwy wydobytych na stanowiskach archeologicznych, oraz śladów testowych wykonanych w różnych podłożach (produkty spożywcze, plomby ołowiane, plastelina, skóra świńska).

[90] A. Molina, S. Martin ed las Heras, *Accuracy of 3D Scanners in Tooth Mark Analysis,* Journal of Forensic Sciences, Styczeń 2015, Vol. 60 Issue s1, s. 222 i nast.

3.1) Metodyka dokonywania pomiaru i modelowania techniką SFM śladów odontoskopijnych



Ryc. Nr 63 – Modele szczęki Magnusa Haroldsona komesa Mazowieckiego w pierwszej połowie XII wieku wymodelowana za pomocą techniki SFM.

W celu wykonania modelu SFM wykorzystano wytworzoną na potrzeby dysertacji podkładkę pomiarową o wymiarach 18/18 cm. Podkładką ustawiono na stoliku obrotowym. Aparat fotograficzny umieszczono na statywie z osią optyczna obiektywu skierowaną w środek modelowanych obiektów (odlewów gipsowych szczęki oraz żuchwy, oraz fragmentu kości żuchwy z uzębieniem). Jako oświetlenie zastosowano softbox o wymiarach 60/60 cm oświetlony w dwóch stron studyjnymi lampami błyskowymi o mocy 300 Wat. Fotografię wykonywano na trzech wysokościach z osią optyczna obiektywu zawsze skierowaną w środek modelowanego obiektu. Fotografię wykonywano kolejno obracając stolik obrotowy o 20 stopni. Na każdej z zadanych wysokości ustawienia aparatu wykonano fotografie obrazujące pełen obrót modelowanego obiektu. W sumie na potrzeby modelowanie jednego obiektu wykonano 54 fotografie. Wszystkie z 54-ch fotografii wykonano w trybie manualnym z

parametrami wykonywanych fotografii zadanymi na podstawie pomiaru światła błyskowego wykonanego po ustawieniu aparatury rejestrującej.

Następnie fotografię poddano obróbce komputerowej za pomocą oprogramowania Agisoft metashape standard. W pierwszej kolejności wytworzono zgrubną chmurę punktów. Następnie po oczyszczeniu z zanieczyszczeń zgrubna chmura punktów została przekształcona w gęstą chmurę punktów. Przy zadanych parametrach średni wynik otrzymywany z modelowania obiektu wyniósł 25 mln punktów umiejscowionych w przestrzeni XYZ. Liczba ta nie pokazuje jednak liczby punktów reprezentujący modelowany obiekt, gdyż zawiera się w niej również otoczenie obiektu w postaci płytki pomiarowej. Liczba punktów reprezentująca wyłącznie obiekt modelowany wynosiła średnio 5 mln punktów.

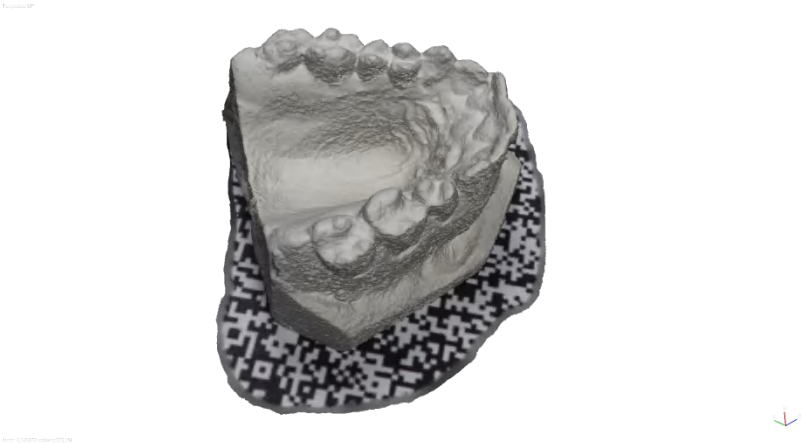
Następnie w celu wygenerowania modelu metrycznego na którym możliwe będzie wykonywanie pomiarów rzeczywistych, chmurę punktów przeskalowano z wykorzystaniem oprogramowania CloudCompere oraz danych zawartych na widocznej na chmurze podkładce pomiarowej.

Wyżej opisaną metodykę zastosowano również podczas wykonywania modeli śladów naniesionych na produktach spożywczych oraz plastelinie.

Otrzymane wyniki pozwoliły na uzyskanie precyzyjnych modeli 3D. Zauważono jednak, że w przypadku jednolitych białych modeli protetycznych konieczne jest zmodyfikowanie metodyki celem uzyskania modeli pozbawionych luk w płaszczyźnie. Spowodowane są one niemożliwością zlokalizowania punktów indywidualnych na sekwencji wykonanych fotografii na jednolitym tle modelu protetycznego. W związku z powyższym zaleca się obniżenie wartości ekspozycji przez co wykonanie fotografii niedoświetlonych w przedziale od -1 EV do -2 EV[91]. Możliwe jest również naniesienie na model protetyczny punktów charakterystycznych poprzez dodanie do masy gipsowej cząstek o innej od gipsu barwie powodując uwidocznienie ich losowo w masie tworzącej model protetyczny. Podobny efekt możliwy jest do osiągnięcia poprzez wykorzystanie farby w sprayu o kontrastowym do gipsu kolorze i delikatne rozpylenie jej nad modelem protetycznym. Opadające na model

[91] EV (ang. Exposure Value) – w fotografii skala ekspozycji fotograficznej w której punktem odniesienia jest wartość 0 EV wskazująca wartość prawidłowego naświetlenia materiału światłoczułego. Zmniejszenie wartości o 1 oznacza dwukrotne zmniejszenie światła oddziaływującego na materiał światłoczuły w stosunku do wartości poprzedzającej. Zwiększenie wartości EV powoduje dwukrotne zwiększenie światła.

cząstki farby spowodują powstanie na jego powierzchni punktów barwnych możliwych do odczytania przez program fotogrametryczny jako punkty indywidualne.



Ryc. Nr 64– Widok modelu utworzonego na podkładce pomiarowej bez zastosowania znaczników umieszczonych w masie lub oprysku farbą kontrastując.

Opisana metodyka zastosowanie jednak znajduje wyłącznie w warunkach laboratoryjnych. W przypadku konieczności wykonania modelowania fotogrametrycznego SFM na miejscu zdarzenia niezbędne jest wykonanie serii fotografii wokół przedmiotu. Zastosować można również podkładkę pomiarową, tak jak w przypadku środowiska laboratoryjnego. Niedopuszczalne jest natomiast dokonanie opryskiwania farbą kontrastową, które wpłynęło by na stan źródłowego materiału dowodowego.

3.2) Metodyka wykonywania pomiarów oraz modelowania z wykorzystaniem skanera światła strukturalnego

Metodyka skanowania z wykorzystaniem skanera światła strukturalnego jest odmienna dla każdego z urządzeń. Jest to związane z ich specyfikacją, a co za tym idzie wielkością pola pomiarowego. Zastosowanie w skanerach światła strukturalnego skalibrowanych stolików obrotowych wymaga zastosowania dodatkowych czynności pomiarowych wykonywanych przez eksperta. Jednak jego zastosowanie pozwala na uzyskanie precyzyjnego modelu pozbawionego martwych pól w sposób automatyczny.

3.2.1) Metodyka ogólna bez zastosowania stolika obrotowego

W pierwszej kolejności należy ustalić szerokość pola pomiarowego poprzez wyznaczenie centralnego punktu pomiarowego z zastosowaniem krzyżowych znaczników laserowych będących elementem skanerów światła strukturalnego.

Następnie wykonać pomiary w taki sposób, aby kolejne uzyskane skany zawierały część skanu poprzedzającego umożliwiającego późniejsze połączenie. (dla usprawnienia na tym etapie zastosować można znaczniki widoczne na powierzchni kilku skanów umożliwiające wstępne połączenie na punkty tożsame. Punkty te można nanieść tylko na materiał porównawczy w postaci odlewów protetycznych. Punkty nanieść można z użyciem flamastra wodnego którego barwnik wchłaniany jest przez gips nie powodując zniekształceń powierzchni). W zależności od wielkości pola pomiarowego należy wykonać od 3 do kilkunastu pojedynczych pomiarów.

Z wykorzystaniem programów do obróbki chmur punktów Geomagic control, CloudCompere, Meshlab) należy połączyć chmury punktów z wykorzystaniem naniesionych punktów, optymalizację połączenia chmury punktów poprzez dopasowanie fragmentów chmur punktów występujących na kolejnych wykonanych pomiarach oraz zespolenie usytułowanych chmur a także usunięcie punktów zduplikowanych.

3.2.2) Metodyka pomiaru z zastosowaniem stolika obrotowego

W pierwszej kolejności należy dokonać kalibracji osi obrotu stolika. Odbywa się to poprzez dokonanie pomiaru płaszczyzny kalibrującej usytułowanej prostopadle do osi optycznej skanera przechodzącej przez oś obrotu stolika. Następnie dokonywane są pomiary z zadanym przez oprogramowaniem obrotem stolika. Na podstawie tych pomiarów wyznaczana jest oś obrotu stolika. Plik kalibracyjny zapisywany jest przez program, a następnie wykorzystywany do zgrubnego złożenia skanów.

W kolejnym etapie należy umiejscowić modelowany obiekt w polu pomiarowym w taki sposób, aby w czasie wykonywania obrotu stolika stale znajdował on się w zasięgu pola pomiarowego.

Kolejnym krokiem jest zadanie kąta obrotu oraz ilości wykonanych kolejnych skanów. Parametr ten jest zależny od złożoności skanowanego obiektu i może on wynosić od kilku do kilkunastu skanów.

Następnie wykonywany jest pomiar automatyczny podczas którego skaner dokonuje kolejnych pomiarów obracając stolik o zadaną wartość kąta. Skany są wstępnie usytułowane bez konieczności ich dopasowywania na punkty tożsame.

W zależności od oprogramowania dokonywana jest automatyczna optymalizacja rezultatu otrzymanego w poprzednim kroku lub proces ten należy zainicjować ręcznie.

Ostatni krok jest identyczny jak w przypadku skanowania bez stolika i polega na zespoleniu pomiarów i usunięciu punktów zduplikowanych.

Należy również zauważyć, że w wypadku zastosowania skanera światła strukturalnego w związku z zasadą jego działania nie ma potrzeby stosowania znaczników na jednolitej kolorystycznie powierzchni modelowanego obiektu.

3.2.3) Metodyka wykonywania pomiaru i modelowania szczęki oraz żuchwy z wykorzystaniem obrazowania tomograficznego

Do wykonania modelu należy zastosować oprogramowanie specjalistyczne do analizy obrazów tomograficznych. W badaniach na potrzeby dysertacji zastosowane zostało oprogramowanie Slicer3D. W pierwszej kolejności należ wczytać dane DICOM (format uniwersalny danych medycznych)[92]. Podczas wyboru pakietu danych należy wybrać pakiet obrazujący kości oraz wykonywany z największą dokładnością. Standardowe urządzenia grubość obrazowanej warstwy 1mm. Taka odległość nie pozwala na wykonanie modelu umożliwiającego analizę cech szczegółowych zęba. Wystarczy to jednak do zobrazowania łuków i ich ułożenia oraz cech identyfikacyjnych zęba.

Po wczytaniu danych należy dostosować jasność oraz kontrast obrazów tomograficznych w taki sposób, aby przedstawiały one tylko tkankę kostną oraz zęby. Należy jednak uważać z doborem odpowiednich parametrów gdyż ustawienie zbyt dużych wartości ze

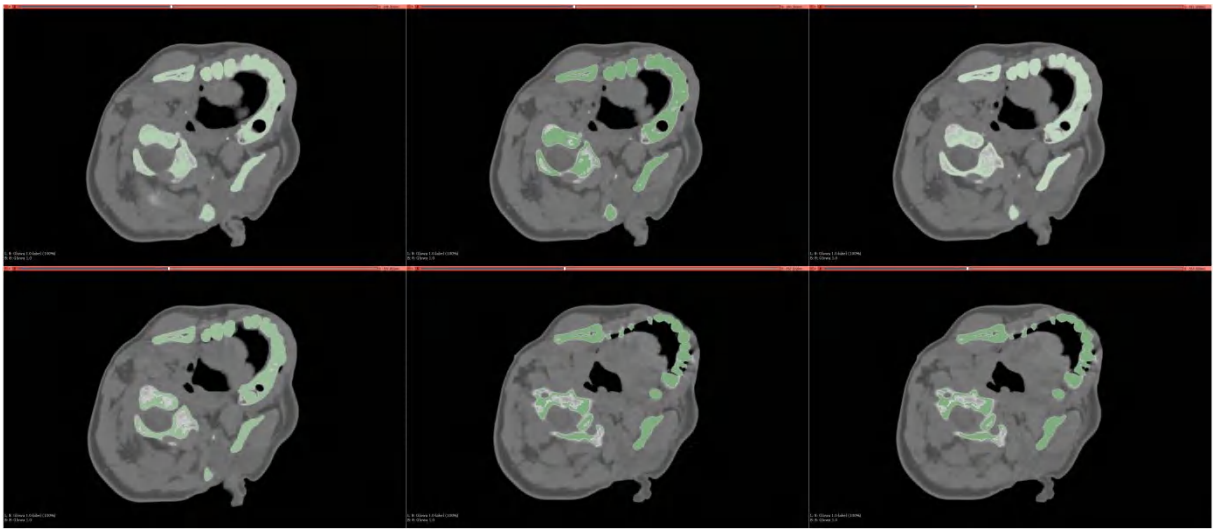
[92] DICOM (ang. *Digital Imaging and Communications in Medicine*) – norma w medycynie mająca za zadanie ujednolicenie systemów przekazywania i odtwarzania danych diagnostycznych w postaci cyfrowych obrazów. Szczególne zastosowanie znajduje w badaniach takich jak zdjęcia rentgenowskie, USG oraz obrazowanie tomograficzne.

względu na zróżnicowanie gęstości oraz charakteru tkanki budującej uzębienie, spowodować może przedstawienie tylko głębszych warstw zębów co może być przyczyną powstania błędów podczas wykonywania analiz.



Ryc. Nr 65 – Przedstawiająca modele uzyskane z wykorzystaniem danych tomograficznych. Po lewej prawidłowe parametry modelowania. Po prawej model o zbyt wysokim dobraniu kontrastu oraz jasności.

Następnym krokiem jest zaznaczenie na każdej z warstw na której występują elementy szczęki oraz żuchwy obszarów reprezentujących zęby oraz kostną część żuchwy. Czynność ta jest półautomatyczna, gdyż po zaznaczeniu elementów na kilku warstwach można wykonać automatyczny rozrost zaznaczonych elementów w oparciu o wartość skali szarości.



Ryc. Nr 66 – Kolejne warstwy obrazu uzyskanego za pomocą tomografu komputerowego z zaznaczonymi elementami żuchwy, szczęki i zębów w nich się znajdujących.

W taki sposób opracowane dane wyjściowe komputer wylicza nakładając na siebie kolejne warstwy i tworząc z nich model 3D. W odróżnieniu od modeli wykonywanych techniką

SFM czy skanerem światła strukturalnego, model wykonany na podstawie obrazowania tomograficznego jest odwzorowaniem nie tylko powierzchni zębów, lecz również jego wnętrza. Tak wygenerowane dane można zapisać w powszechnych formatach objętościowych pozwalających na ich dalszą obróbkę i analizę we wszystkich programach do analizy materiału 3D.

4) Możliwości dokonywania badania i analizy śladów odontoskopijnych oraz zestawienie ich z materiałem porównawczym

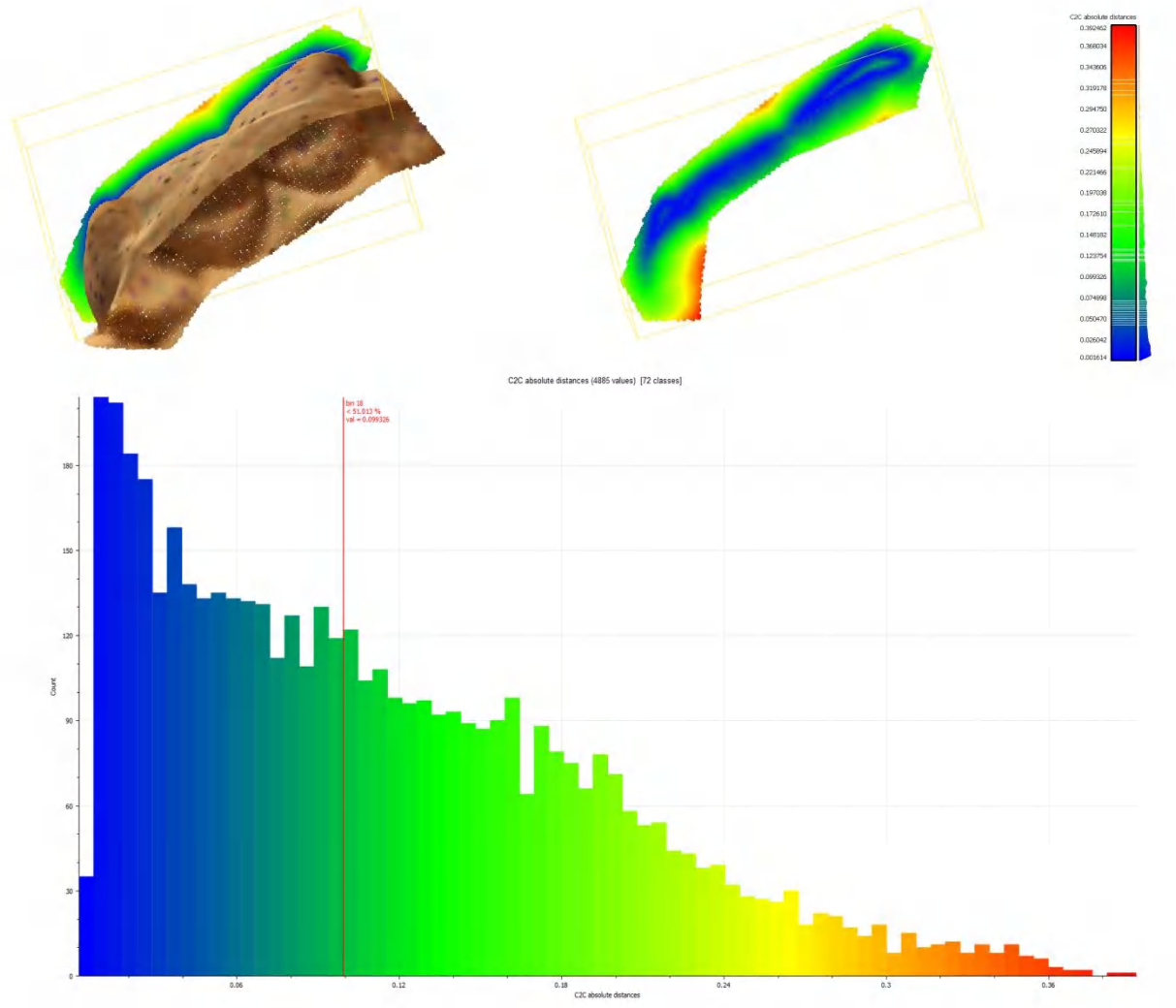
Dzięki cyfrowym modelom objętościowym uzyskujemy możliwość dokonywani analiz na podstawie śladów odontoskopijnych, nie tylko w krótkim czasie po zdarzeniu, kiedy materiał dowodowy w postaci śladów ugryzienia na skórze czy produktach spożywczych nie uległ degradacji, lecz również w późniejszym czasie. Materiał cyfrowy dzięki cesze niezmienności pozwala na dokonanie precyzyjnych badań nawet po wielu latach od jego zabezpieczenia, nie opartych wyłącznie na dwuwymiarowych obrazach.

W sytuacjach, kiedy na miejscu zdarzenia lub już w warunkach laboratoryjnych zabezpieczony został materia dowodowy poprzez wykonanie jego rekonstrukcji 3D oraz pobrany został materiał porównawczy w postaci wycisków protetycznych, możliwe staje się wykonanie cyfrowego dopasowania i wykonania na jego podstawie identyfikacji oraz analizy materiału. Proces taki nie jest zupełnie zautomatyzowany i wymaga sumiennego i obiektywnego podejścia do badanych modeli. W różnych przypadkach metodyka musi być różna, a wynik końcowy przedstawiony w odmienny sposób. Jednym z najprostszych, a zarazem pozwalający na przedstawienie wyników końcowych w sposób najbardziej czytelny i zrozumiały dla osób nie posiadających wiedzy specjalistycznej jest analiza powierzchniowych śladów ugryzienia. Ich powierzchniowy charakter pozwala na dopasowanie zarówno całościowych elementów łuków zębowych jak również wyszczególnienie cech poszczególnych zębów. Przy wykonywaniu tego rodzaju badania należy jednak zwrócić szczególną uwagę na powierzchnię skóry, na której ujawniono ślady ugryzienia. Wzorcową sytuacją jest taka w której powierzchnia skóry jest płaska. Taka sytuacja niestety bardzo rzadko ma miejsce i możliwa jest jedynie po wypreparowaniu fragmentu skóry zmarłej osoby, na którym znajduje

się ślad. Nie daje to możliwości badania śladów płaskich znajdujących się na osobach żywych. Możliwe jest jednak cyfrowe rozciągnięcie wymodelowanego kawałka skóry na płaską powierzchnię, jedna postępowanie takie budzi wątpliwości możliwości zastosowania tak uzyskanego materiału w postępowaniu dowodowym spowoduje ingerencję w materiał i dokona jego modyfikacji. W przypadkach, kiedy ślady ugryzienia nie znajdują się na płaskiej powierzchni skóry należy w trakcie wykonywania analizy dokonać podziału śladu na mniejsze fragmenty (znajdujące się na płaskich elementach) i indywidualne ich badanie.



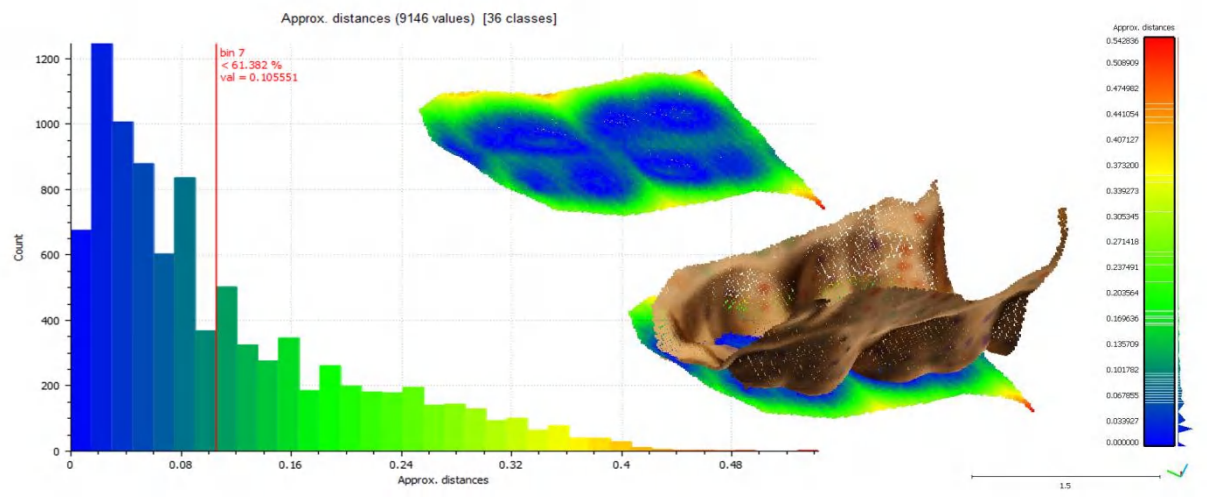
Ryc. Nr 67 – Dopasowanie całościowe modelu cyfrowego szczęki do modelu cyfrowego śladu ugryzienia pozostawionego na skórze świńskiej.



Ryc. Nr 68 – Dopasowanie cyfrowych modeli 3D przedstawiających odlew protetyczny szczęki oraz świńskiej skóry z odwzorowanym śladem ugryzienia.

Rycina przedstawia dopasowanie wydzielonej sekcji zawierającej zęby 12, 11, 21 zgodnie z oznaczeniem FDI, sekcją skóry na których widoczne jest odwzorowanie tych zębów. Na potrzeby identyfikacji po dopasowaniu z modelu cyfrowego fragmentu skóry wygenerowano mapę odchyłek ukazującą poziomy dopasowania oraz diagram ukazujący ilość punktów zawartych w poszczególnych przedziałach dopasowania. Z histogramu wynika, że ponad połowa wszystkich punktów ukazanych w mapie odchyleń zawiera się w przedziale różnicy dopasowania do 1 mm. Należy jednak zauważyć, że mapa odchyłek nie zawiera wyłącznie śladów wgłębionych w skórze, lecz również ich otoczenie, które brane jest pod uwagę w wynikach dopasowania. Sam ślad oraz jego dopasowanie jak widać na rycinie zawiera się w kolorze niebieskim co wskazuje, że wszystkie punkty porównywane na potrzeby identyfikacji zawierają się w granicy odchylenia 1mm.

W celu wykonania cyfrowej analizy ugryzienia należy przeprowadzić dopasowanie materiału porównawczego do materiału dowodowego poprzez wstępne wskazanie punktów tożsamych na powierzchni ugryzionej skóry w stosunku do punktów i wgłębień ujawnionych na skórze. Aby proces ten wykonać prawidłowo należy dokładnie przeanalizować ślad poprzez wstępne dopasowanie łuku do śladu, następnie dobranie i podział na odpowiednie powierzchnie pomiarowe, podział śladu na sekcję i indywidualne dopasowanie materiału. Po wykonaniu dopasowania wstępnego poszczególnych sekcji należy dokonać optymalizacji dopasowania poprzez automatyczne wykonywane przez komputer dopasowanie chmury punktów śladu do chmury punktów wycisku. Z tak uzyskanego materiału wykonujemy mapę odchyłek ukazującą różnice pokrycia się wzajemnego doładowanych chmur punktów. Dopasowanie takie pozwala również na wygenerowanie wykresu w postaci histogramu oraz tabelarycznego przedstawienia dopasowania.



Ryc. Nr 69 – Dopasowanie modeli cyfrowych zębów trzonowych 27, 28 (oznaczenie wg. FDI) z wygenerowaną mapą odchyłek w oparciu o skórę świńską będącą nośnikiem śladu ugryzienia oraz histogramem przedstawiającym liczbę punktów zawartą w przedziałach dokładności dopasowania.

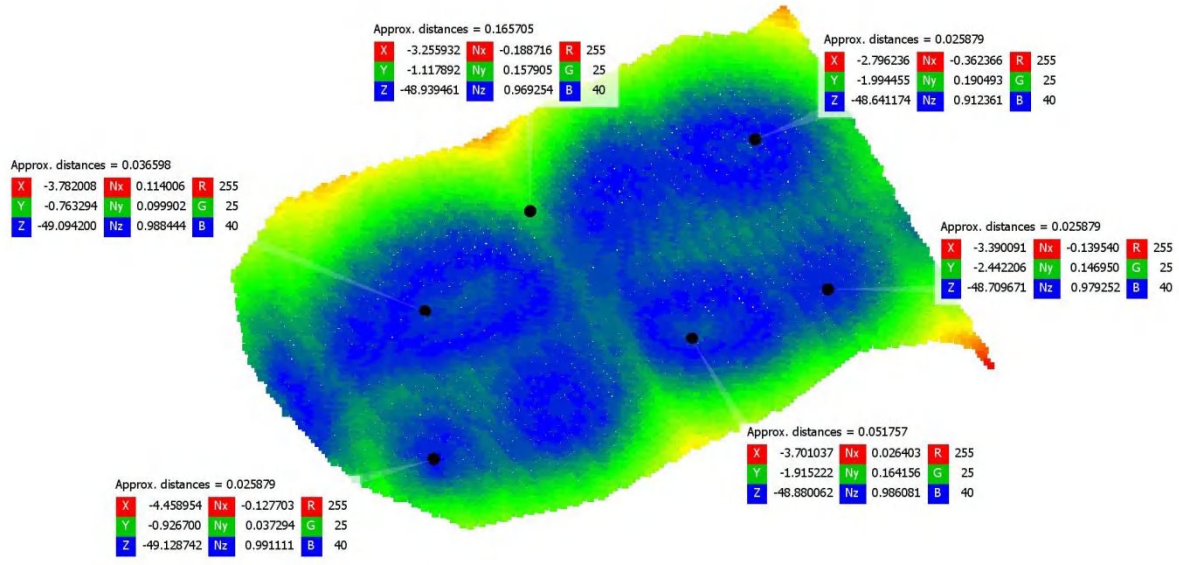
Numer przedziału	Ilość punktów zawartych w przedziale	Początek przedziału [mm]	Koniec przedziału [mm]
1	675	0,000000000000	0,015078783035
2	1246	0,015078783035	0,030157566071
3	1007	0,030157566071	0,045236349106
4	879	0,045236349106	0,060315132141
5	603	0,060315132141	0,075393915176
6	836	0,075393915176	0,090472698212
7	368	0,090472698212	0,105551481247
8	502	0,105551481247	0,120630264282
9	325	0,120630264282	0,135709047318
10	276	0,135709047318	0,150787830353
11	346	0,150787830353	0,165866613388
12	185	0,165866613388	0,180945396423
13	261	0,180945396423	0,196024179459
14	199	0,196024179459	0,211102962494
15	181	0,211102962494	0,226181745529
16	178	0,226181745529	0,241260528564
17	195	0,241260528564	0,256339311600
18	140	0,256339311600	0,271418094635
19	144	0,271418094635	0,286496877670
20	129	0,286496877670	0,301575660706
21	93	0,301575660706	0,316654443741
22	101	0,316654443741	0,331733226776
23	64	0,331733226776	0,346812009811
24	78	0,346812009811	0,361890792847
25	40	0,361890792847	0,376969575882
26	39	0,376969575882	0,392048358917
27	29	0,392048358917	0,407127141953
28	11	0,407127141953	0,422205924988
29	5	0,422205924988	0,437284708023
30	3	0,437284708023	0,452363491058
31	3	0,452363491058	0,467442274094
32	1	0,467442274094	0,482521057129
33	2	0,482521057129	0,497599840164

34	0	0,497599840164	0,512678623199
35	0	0,512678623199	0,527757406235
36	2	0,527757406235	0,542836189270

Tab. Nr 5 – Tabelaryczne przedstawienie wyników dopasowania modeli cyfrowych zębów 27,28 oraz śladu przez nie pozostawionych na świńskiej skórze.

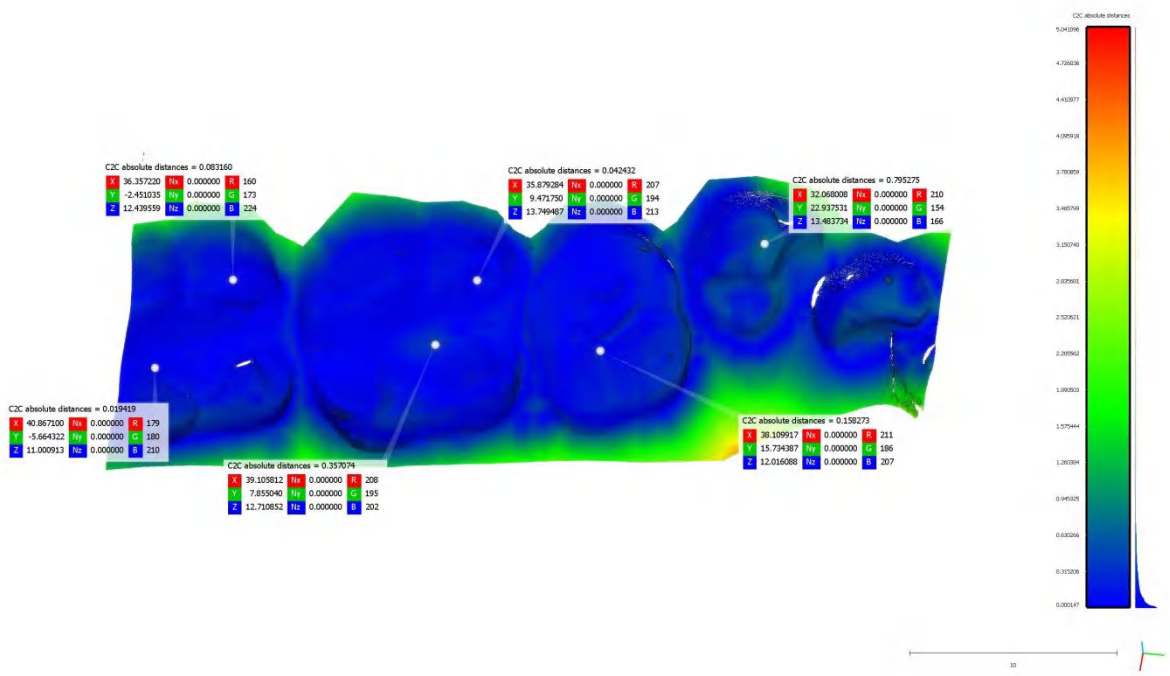
W tabeli przedstawiono 36 przedziałów wielkości zawierających się w 0,15 mm błędu dopasowania. Dla każdego z przedziałów podana została liczba punktów modelu w nim się zawierających.

Cyfrowa analiza śladów odontoskopijnych pozwala również na zobrazowanie odchylenia dopasowania w poszczególnych punktach. Dzięki takiej możliwości można precyzyjnie przeanalizować fragment śladu oraz jego dopasowanie do materiału porównawczego w którym znajdują się szczególnie istotne dla procesu identyfikacji ślady.



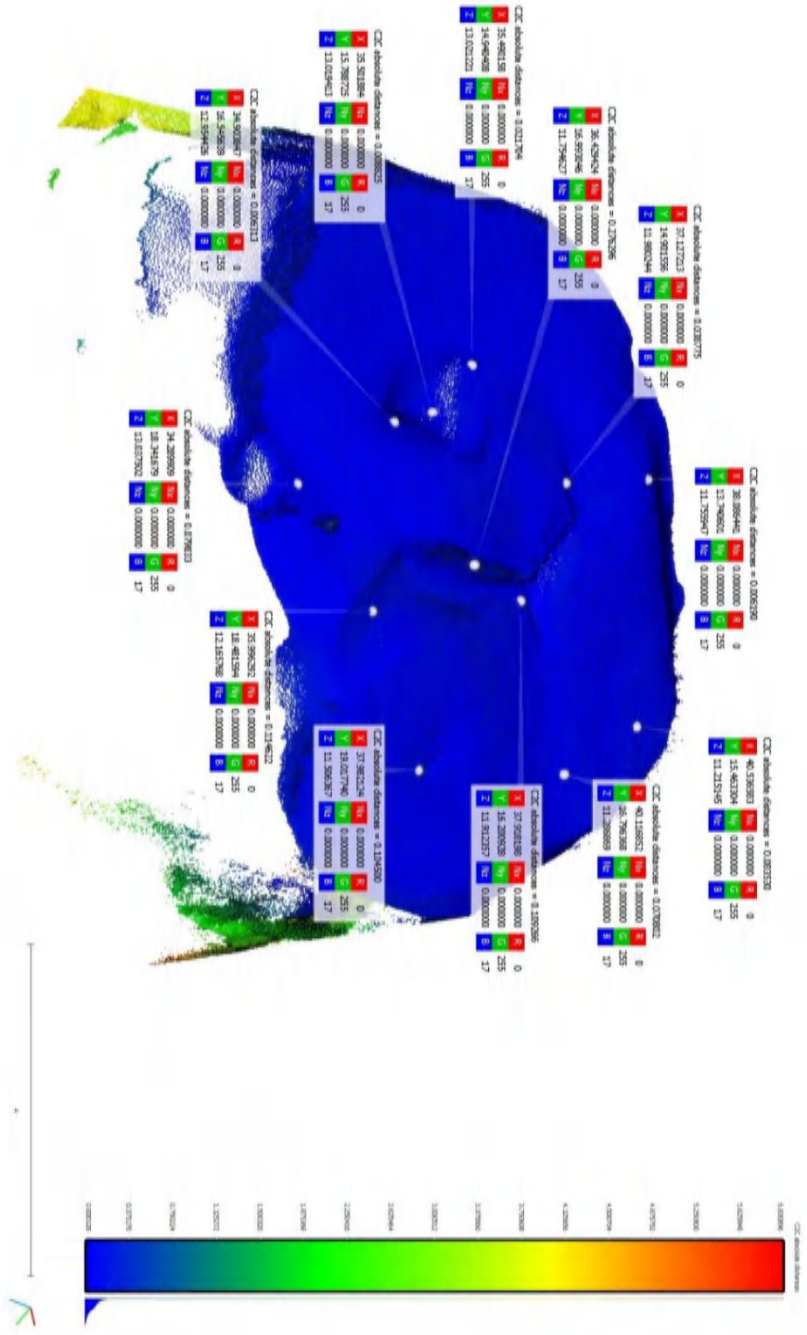
Ryc. Nr 70 – Mapa odchyleń dopasowania zębów 27, 28 wygenerowana w oparciu o skórę świńską będącą nośnikiem śladu z zaznaczonymi punktami (ich położeniem w lokalnym układzie współrzędnych oraz wartością odchylenia dopasowania.

Wyżej opisana analiza dokonana być może z wykorzystaniem modeli uzyskanych za pomocą wszystkich technik modelowania 3D. W zależności od zastosowanej techniki modelowania różna będzie precyzja wykonanych pomiarów[93].



Ryc. Nr 71 - Dopasowanie modeli cyfrowych odlewu protetycznego żuchwy do śladu ugryzienia pozostawionego w plastelinie. Oba modele zostały wykonane z wykorzystaniem skanera światła strukturalnego. Uzyskana rozdzielczość pozwala na analizę nawet drobnych uszczerbków na zębach.

[93] A. Lasser, A. Warnick, G. M. Berman, *Three-Dimensional Comparative Analysis of Bitemarks, Journal of Forensic Sciences, Maj 2009, Vol.54, No.3, s. 658 i nast.*



Ryc. Nr 72 – Analiza dopasowania śladu pozostawionego przez ząb 35 w plastelinie do powierzchni tego zęba uzyskanej poprzez wykorzystanie skanera światła strukturalnego na powierzchni odlewu protetycznego. Widoczne znaczniki na cechach indywidualnych zęba. Dokładność pokrycia na poziomie 0,1 mm na całej powierzchni pozwala na dokonanie identyfikacji indywidualnej.

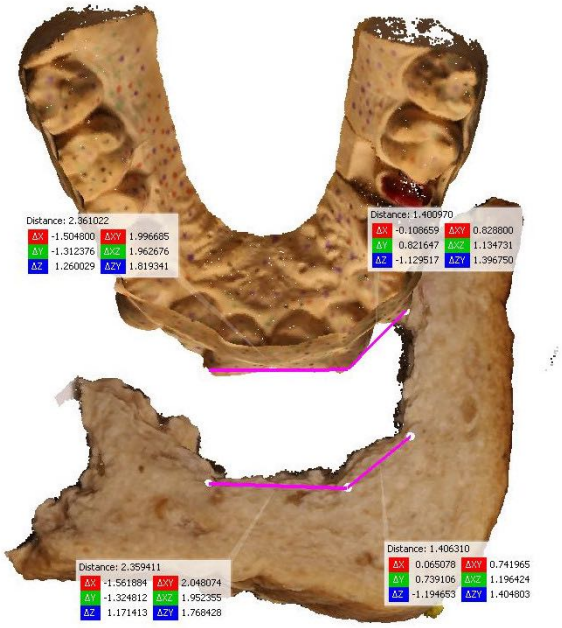
W przypadku śladów przegryzienia i odgryzienia należy przyjąć inną metodykę badania. W tych wypadkach porównaniu nie będzie poddana cała powierzchnia zęba, a jedynie

ślady pozostawione przez jego część tnącą. Powoduje to większy problem cyfrowego dopasowania materiału porównawczego z materiałem dowodowym. Aby wykonać dopasowanie należy wskazać punkty skrajne na powierzchni tnącej zębów oraz punkty wierzchnie ugryzionego przedmiotu a powstałe na skutek działania punktów skrajnych na powierzchni tnącej zębów. Tak jak w wypadku ugryzienia istotny jest kształt gryzionego przedmiotu. W przypadku płaskich elementów jak plaster sera, tabliczka czekolady, kromka chleba istnieje duże prawdopodobieństwo dopasowania fragmentu łuku biorącego udział w procesie gryzienia. Przegryzione obiekty obłe lub posiadające nierównomierny kształty wymagać będą tak jak w przypadku ugryzień podzielenia ich na poszczególne segmenty i dopasowanie do niech odpowiednich fragmentów łuku.



Ryc. Nr 73 - Przedstawiająca zgrubne dopasowanie fragmentu szczęki do przegryzionych obiektów. Po lewej wafelek czekoladowy (skan uzyskany z wykorzystaniem skanera światła strukturalnego), po prawej tost (skan uzyskany z wykorzystaniem techniki modelowania SFM).

Po zakończeniu dopasowania w celu wykonania badania na potrzeby identyfikacyjne w tym wypadku możliwy jest do dokonania cyfrowy pomiar poszczególnych zębów oraz grup zębów oraz porównanie otrzymanych wyników z wynikami wykonanymi na modelu materiału dowodowego. Oprócz pomiarów liniowych można wykonać pomiar kąta grup zębów oraz poszczególnych zębów względem siebie. Porównanie wykonanych w ten sposób pomiarów pozwana na wykonanie analizy zmierzającej do identyfikacji.



Ryc. Nr 74– Pomiar odległości wykonany na modelu cyfrowym odlewu protetycznego oraz materiale dowodowym w postaci nadgryzionej kromki pieczywa.

Na potrzeby dysertacji dokonano pomiarów materiału w postaci cyfrowego modelu protetycznego szczęki oraz materiału w postaci przegryzionej przez osobę, od której uzyskano model protetyczny kromki chleba tostowego. Jako punkty pomiaru na szczęce przyjęto elementy szczęki wyraźnie odwzorowujące swój kształt w czasie procesu gryzienia. Analogicznie na materiale dowodowym jako punkty pomiarowe przyjęto ślady charakterystyczne dla elementów szczęki. Wyniki pomiarów:

odcinek A pomiędzy krańcami zębów 11 (skraj przy zębie 12) 22 (skraj przy zębie 21)

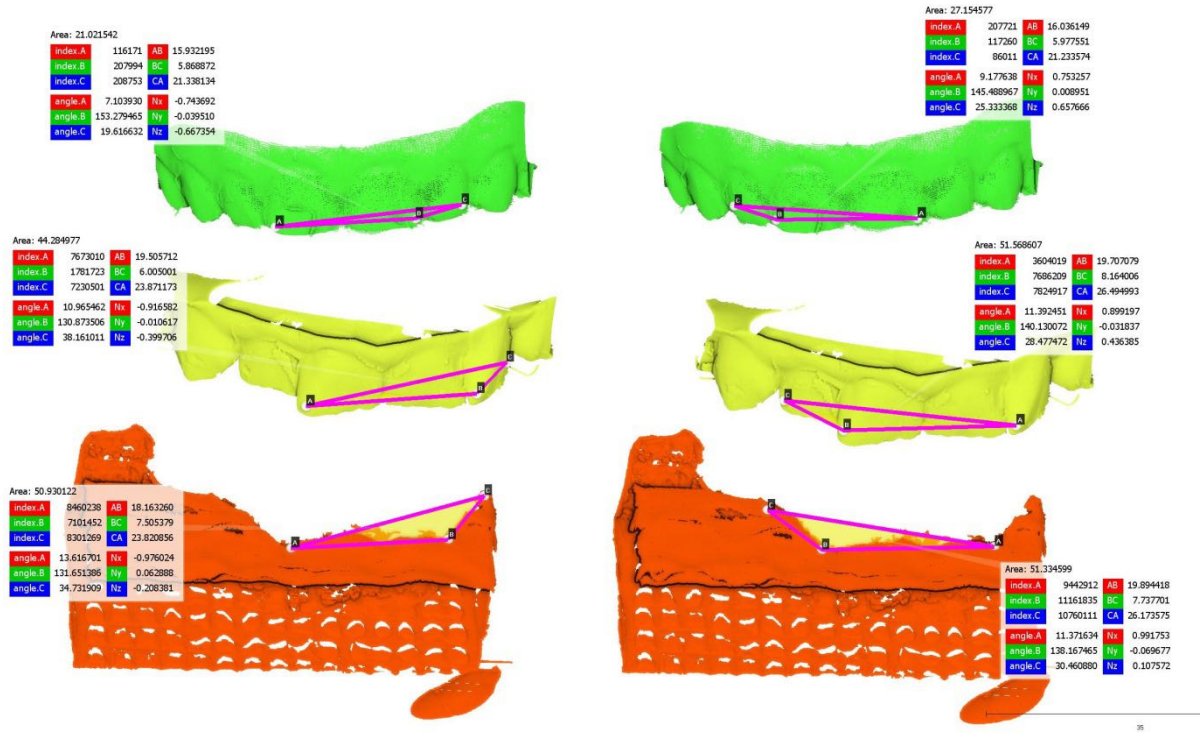
- wynik uzyskany na cyfrowym modelu protetycznym **2,361022 cm,**
- wynik uzyskany na materiale dowodowym pomiędzy śladami pozostawionymi przez skraje zębów opisanych wyżej **2,359411 cm**

Odcinek B pomiędzy krańcem zęba 22 (skraj przy zębie 21) a najbardziej wystającym elementem kła 23.

- wynik uzyskany na cyfrowym modelu protetycznym **1,400970 cm**
- wynik uzyskany na materiale dowodowym pomiędzy śladami pozostawionymi przez skraje zębów opisanych wyżej **1,406310 cm**

Analogicznie z wykorzystaniem innego materiału uzyskanego z wykorzystaniem skanera światła strukturalnego wykonano pomiar kąta zawartego pomiędzy elementami szczęki pozostawiającymi charakterystyczne ślady na gryzionych obiektach. Do przeprowadzenia tego

badania wykonano model cyfrowy odlewu protetycznego szczęki oraz model cyfrowy wafla w polewie czekoladowej przegryzionego przez osobę od której pobrano odlew. W celu porównania wyników analogiczne pomiary dokonano na modelu cyfrowym odlewu szczęki osoby trzeciej.



Ryc. Nr 75– Przedstawiająca modele cyfrowe poddanych analizie materiałów. W celu zwiększenia przejrzystości modelom zadano kolory odpowiednio pomarańczowy dla materiału dowodowego w postaci przegryzionego wafla, żółty dla modelu protetycznego szczęki pochodzącego od osoby, która przegryzła materiał dowodowy, oraz zielony dla modelu pochodzącego od osoby trzeciej niebiorącej udziału w badaniu. Na rycinie widoczne wyniki pomiaru kąta. W przypadku modeli znajdujących się po lewej i prawej stronie ryciny porównaniu został poddany kąt oznaczony literą B.

Na potrzeby badania dokonano pomiaru kąta występującego pomiędzy płaszczyzną zębów 11 i 21 a zębem 12 (pomiar A) oraz zębem 22 (pomiar B). W związku że w wypadku modelu pochodzącego od osoby która przegryzła materiał dowodowy ząb 22 wystaje poza obrys łuku jako skraj krawędzi tnącej tworzonej przez zęby 21 11 przyjęto skraj zęba 22 znajdujący się od strony zęba nr 21. W przypadku modelu pochodzącego od osoby trzeciej w łuku szczęki zęby nie wychodzą poza obrys łuku w związku z powyższym jako skraje powierzchni tnącej tworzonej przez zęby 11 i 21 wskazano skraje tych zębów od strony zębów 12 i 22. W materiale dowodowym wskazano punkty które wyraźnie stanowią załamanie płaszczyzn cięcia.

Uzyskane wyniki:

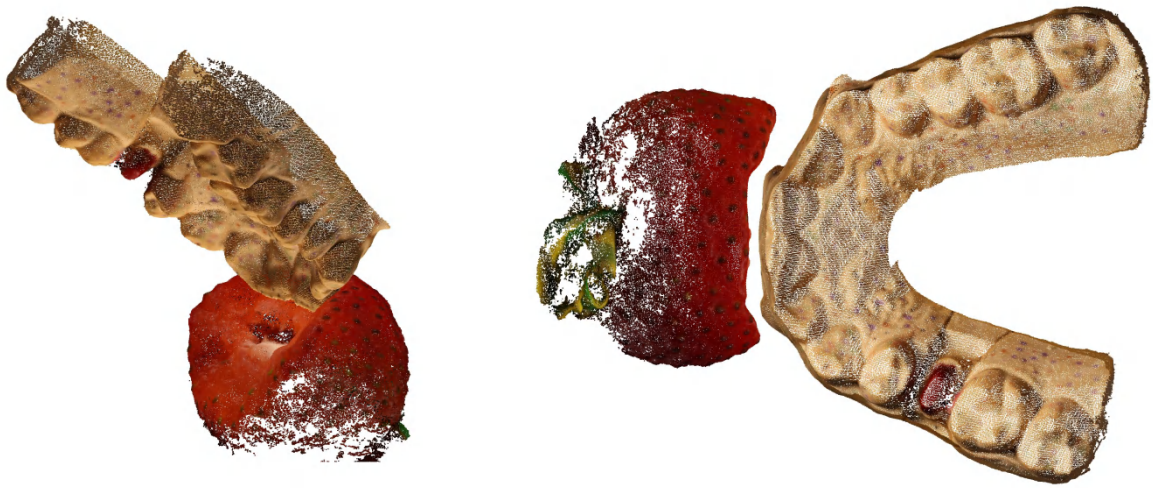
kąt zawarty pomiędzy płaszczyzną cięcia zębów 11,21 a płaszczyzną cięcia zęba 22

- Materiał dowodowy (kolor pomarańczowy): **131,651386°**
- Odlew 1 (kolor żółty): **130,873506°**
- Odlew 2 (kolor zielony): **153,279465°**

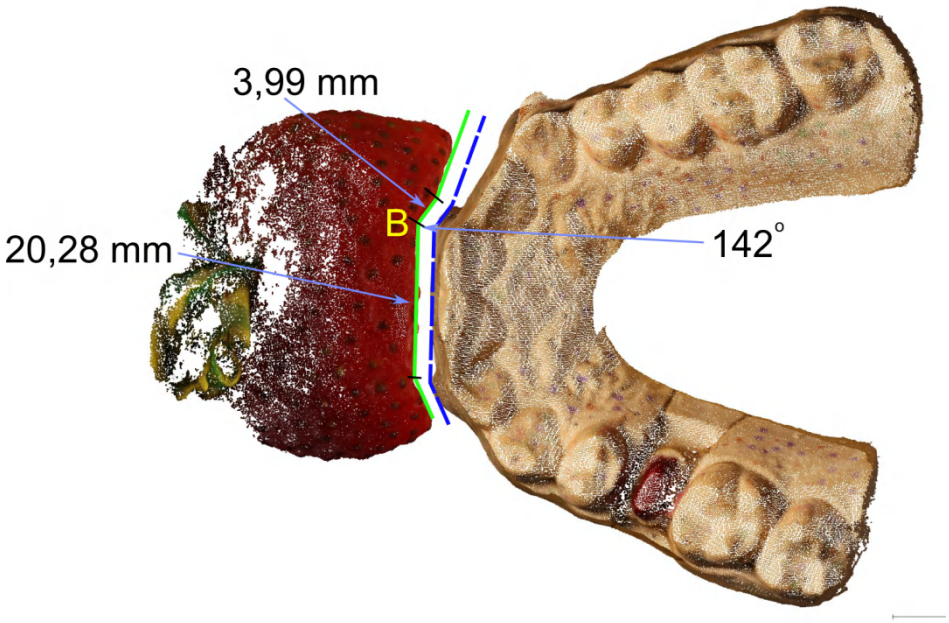
kąt zawarty pomiędzy płaszczyzną cięcia zębów 11,21 a płaszczyzną cięcia zęba 12

- Materiał dowodowy (kolor pomarańczowy): **138,1674465°**
- Odlew 1 (kolor żółty): **140,130072°**
- Odlew 2 (kolor zielony): **145,488967°**

W przypadku obiektów obłych należy szczególną uwagę zwrócić na analizę nośnika śladów. Przeanalizować go trzeba pod kątem kształtu załamań i dopasować w związku z tym ślady do zębów które go pozostawiły. Możliwość analizy dają w tym wypadku również rzuty ortagonalne które dzięki temu, że nie są obarczone błędami perspektywicznymi pozwalają na analizę uzyskanych w modeli 3D obrazów dwuwymiarowych.



Ryc. Nr 76 – Dopasowanie zgrubne modelu cyfrowego szczęki do modelu cyfrowego obłego przedmiotu w postaci truskawki.



Ryc. Nr 77 - Pomiary i analiza wykonana na płaskim rzucie ortagonalnym. Analizę wykonano poprzez wrysowanie krzywej określającej płaszczyznę cięcia obiektu (zielona linia) następnie krzywa kopiowano i dopasowano do krzywej cięcia szczęki. Na krzywej wykonano również pomiary odcinkowe oraz pomiar kąta zawartego pomiędzy dwoma płaszczyznami cięcia.

5) Tworzenie cyfrowej bazy danych śladów odontoskopijnych

Dzięki zastosowaniu modelownia 3D w przypadku zabezpieczania i badania śladów odontoskopijnych możliwe staje się zbudowania bazy danych pozwalającej na dokonywanie analiz oraz porównań śladów o takim charakterze na przestrzeni wielu lat od zaistnienia zdarzenia. Dzięki cyfrowemu zapisowi modeli możliwe jest utrwalenie śladów odontoskopijnych w formie niezmienionej, w której czas nie będzie wpływał na ich zamianę w związku z ich wysychaniem gniciem czy obkurczaniem. Coraz większe moce obliczeniowe komputerów powodują również fakt, że automatyzacji procesu identyfikacji na podstawie danych objętościowych (modeli 3D) staje się nie tylko elementem obecnym w serialach kryminalnych, lecz również rzeczywistością.

Badania wykonane na potrzeby dysertacji dowodzą również, że istnieje dużo możliwości dokonania analizy materiału odotoskopijnego 3D. Metody mogą się zazębiać powodując w przypadku pokrycia danych, znaczne wzmocnienie wniosków identyfikacyjnych płynących z analizy. Przedstawione metody i techniki badawcze, wstępnie pokazują swoją przydatność do identyfikacji. Trzeba jednak pamiętać, iż możliwości techniki nie mogą przysłaniać kwestii merytorycznych. Musimy uwzględniać opisane szczegółowo w literaturze

cechy indywidualne, gdyż tylko one pozwalają na identyfikację indywidualną[94] i umożliwiają wyliczenie statystyczne powtórzenia się danego układu cech u innej osoby. Wszelkiego rodzaju nowości techniczne, w tym modelowanie 3D jedynie pomagają w procesie identyfikacji, ułatwiają zabezpieczenie śladów zębów na trudnych, psujących się podłożach. Pozwalają także na znacznie dokładniejsze dokonanie pomiarów i wzajemną wizualizację śladu dowodowego i materiału porównawczego. W przypadku śladów zębów zalecana jest daleko idąca ostrożność. Autorowi znany jest przypadek sprawy o zabójstwo, gdzie na ciele ofiary ujawniono ślady zębów. Wykonujący ekspertyzę medyk sądowy (nie mający w zakresie identyfikacji śladów zębów żadnego doświadczenia), zafascynowany możliwościami komputerowego systemu AutoCad, tak dopasował dowodowe ślady zębów do materiału porównawczego, że uzyskał „pełną" zgodność – myląc przy tym zęby szczęki z zębami żuchwy.

[94] Patrz katalog cech wyróżniony przez J. Kasprzaka – J. Kasprzak, *Odontoskopia kryminalistyczna,* Wyd. Volumina pl., Olsztyn – Szczecin 2011, s. 79 i nast.

ROZDZIAŁ VI
Wykorzystanie techniki 3D w przypadku badań traseologicznych

1) Opis technik modelowania 3D śladów traseologicznych

Rozwój techniki cyfrowej spowodował powstanie kilku metod pozwalających na uzyskanie chmury punktów umiejscowionych w układzie współrzędnych XYZ, czyli takim, który pozwala na wizualizację ich w przestrzeni trójwymiarowej. Techniki te charakteryzuje różna dokładność, funkcjonalność oraz różnice w wymaganiach sprzętowych niezbędnych do uzyskania rezultatu. W aktualnym stanie najbardziej popularnymi technikami, które znajdują zastosowanie w kryminalistyce są technika pulsacyjnych i fazowych skanerów laserowych, technika „Structure from Motion" (SFM) oraz technika z zastosowaniem skanerów 3D światła strukturalnego.

Każda z wymienionych technik posiada swoje dobre i złe strony, każdej z nich przypisana jest również określona wartość dokładności pomiarów. W przypadku gęstości uzyskanych punktów, a co za tym idzie precyzji wymiarów najlepsze rezultaty daje technika skanera 3D z zastosowaniem światła strukturalnego. Dzięki zastosowaniu tego rodzaju urządzenia pomiarowego otrzymujemy wyniki z bardzo dużą dokładnością pomiarową sięgającą rzędu dziesiątych części milimetra. Technika ta wymaga zastosowania sprzętu dość dużego gabarytowo i trudnego do konfiguracji w warunkach zewnętrznych. Ponadto technika skanerów światła strukturalnego wymaga zastosowania rzutnika emitującego na skanowany obszar specjalny obraz rastrów, dzięki czemu na podstawie ich zniekształceń na powierzchniach skanowanych generowana jest chmura punktów. Stanowi to nierozwiązywalny jak do tej pory problem skanowania przy naturalnym oświetleniu zewnętrznym lub silnym oświetleniu sztucznym na miejscu zdarzenia, które może zakłócić lub nawet uniemożliwić proces skanowania. Niewątpliwą zaletą skanera światła strukturalnego jest metryczny charakter uzyskanej chmury punktów bez konieczności jej ręcznego przeskalowania. W związku z charakterystyka wyżej wymienionej techniki skanowania odrzucona ją do przeprowadzenia testów przy zabezpieczeniu śladów traseologicznych na śniegu.

Inną metodą znajdującą oprócz kryminalistyki szerokie zastosowanie w geodezji czy inżynierii jest technika ToF z zastosowaniem laserowych skanerów fazowych i pulsacyjnych. Sposób pomiaru w tej technice opiera się na pomiarze czasu pomiędzy wyemitowaniem wiązki lasera przez nadajnik, a odbiorem sygnału zwrotnego od mierzonego przedmiotu. Na podstawie tak dokonanego pomiaru skaner określa odległość mierzonego punktu od skanera, a dzięki zastosowaniu mechanizmu lustra obrotowego i precyzyjnych elementów pozycjonujących wiązka określa położenie mierzonych punktów układzie współrzędnych XYZ. Gęstość uzyskanego pomiaru zależna jest w dużym stopniu od odległości mierzonego punktu od skanera. Dokładność pomiaru określona w specyfikacji producenta oraz w certyfikatach jakościowych urządzenia nie przekracza ~2 mm. Chmura punktów otrzymana w tej technologii jest metryczna. Problematyczne dla technologii ToF okazują się przedmioty przeźroczyste i połyskliwe, które w związku ze swoją charakterystyką załamują lub odbijają promień lasera. Powoduje to zafałszowanie wyników pomiaru oraz powstanie licznych szumów i artefaktów na uzyskanych obrazach 3D. Żandarmeria Wojskowa jako jedna z pierwszych służb zakupiła skanery laserowe wykorzystujące technikę ToF do każdej jednostki terenowej i sukcesywnie wprowadza ją do oględzin miejsca zdarzenia oraz innych czynności procesowych na potrzeby postępowania przygotowawczego i sądowego. Precyzja skanera oraz liczba punktów pomiarowych wykonywanych podczas skanowania nawet z jednego punktu (w zależności od ustawień nawet do 976 000 punktów/sekundę) sprawiają, że skaner ten doskonale sprawdza się podczas rejestracji całościowego miejsca zdarzenia oraz rozmieszczenia na nim poszczególnych śladów. Mimo całej gamy plusów jakie niesie ze sobą skanowanie tą techniką trzeba zauważyć, że deklarowana przez producenta dokładność pomiaru sięgająca 2mm jest zbyt mała, aby skanery te znalazły zastosowanie w tak precyzyjnym dziale kryminalistyki jakim jest traseologia. W związku z tym, po przeprowadzeniu kilkunastu testów wyżej wymienionej techniki stwierdzono, że doskonale nadaje się ona do określenia położenia śladów na miejscu zdarzenia, a co za tym idzie rekonstrukcji chociażby takich faktów jak sposób przemieszczania się po miejscu zdarzenia jednakże jej dokładność nie pozwala na identyfikacje grupowa i indywidualną przez biegłego z zakresu traseologii, co skutkowało odrzuceniem jej w dalszej części przeprowadzonych badań[95].

[95] A. Doniec, B. Klepczyński, L.Niewiadomski, M.Świętek, *Methods of recovering three-dimensional impression Evidence in snow from the perspective of applying new Technologies,* Problem of Forensic Scienses, 2017 r., vol.111, s. 171-174

Technikę modelowania 3D którą wybrano i zastosowano do przeprowadzenia badań jest technika „Structure from Motion" w skrócie zwaną techniką SFM[96]. Technika ta charakteryzuje się wykorzystanie fotografii cyfrowej śladu lub przedmiotu w celu przetworzenia jej i wygenerowania za jej pośrednictwem modelu 3D w postaci chmury punktów umiejscowionych w układzie współrzędnych XYZ. Do wygenerowania chmury punktów za pomocą dedykowanego oprogramowania niezbędne jest wykonanie minimum kilku zdjęć jednak w celu uzyskania modelu o dużej gęstości oraz dokładności pomiaru niezbędne jest wykonanie kilkudziesięciu, a przy modelach wielkogabarytowych nawet kilkuset zdjęć modelowanego obiektu. Fotografie powinny być wykonane zgodnie z kanonami fotografii kryminalistycznej, a więc z zastosowaniem dużej głębi ostrości obejmującej całość obiektu. Odmienne od zasady fotografii kryminalistycznej jest tylko kąt, pod którym oś optyczna obiektywu skierowana jest na fotografowany obiekt. Kiedy w wypadku fotografii kryminalistycznej dążymy do uzyskania kąta prostego pomiędzy osią optyczna obiektywu, a płaszczyzną fotografowanego przedmiotu, tak w trakcie wykonywania fotografii na potrzeby techniki SFM konieczne jest wykonanie fotografii przedmiotu pod różnymi kątami przemieszczając się naokoło modelowanego obiektu. Technika ta pozwala na uzyskanie rezultatów dokładności pomiaru w zakresie 0,1 mm. Dzięki temu, że sprzętem wykorzystywanym podczas modelowania 3D jest standardowe wyposażenie technika kryminalistyki, czyli aparat fotograficzny wysokiej klasy, technika ta jest stosunkowo łatwa do wdrożenia w pracy śledczej na miejscu zdarzenia, a koszty konieczne do poniesienia to koszty licencjonowanego oprogramowania generującego chmury punktów z fotografii. Metoda ta nie jest pozbawiona wad. Jak każda w opisanych wyżej technik wrażliwa ona jest na powierzchnie przeźroczyste oraz połyskliwe utrudniające dokonanie pomiaru. Ponadto technika SFM problematyczna jest w przypadku powierzchni jednolitych kolorystycznie pozbawionych cech indywidualnych. W tych przypadkach, ze względu na niemożliwość odnalezienia punktów tożsamych na fotografiach powstają częstokroć dziury w danych. Sposobem na wyeliminowanie wyżej wymienionych problemów jest kontrastowanie oraz matowienie modelowanych przedmiotów.

[96] H. Larsen, M. Budka, M. R. Bennet, *Technological innovation in the recovery and analysis of 3D forensic footwear evidence: Structure from motion (SfM) photogrammetry*, Science & Justice, volume 61, Issue 4, Lipiec 2021, s. 356 i nast.

W związku z relacjami kosztów zastosowania techniki do dokładności pomiarowej oraz łatwością zastosowania jej na miejscu zdarzenia do przeprowadzenia badania nad zabezpieczeniem śladów traseologicznych wgłębionych w śniegu wybrano metodę SFM[97].

Metodyka przeprowadzenia badania

W celu poprawności przeprowadzenia badania przyjęto następujące kryteria:

- Dokładność uzyskanego modelu śladu.
- Dokładność uzyskanego modelu materiału porównawczego.
- Powtarzalność uzyskanych modeli.
- Pokrycie cyfrowego modelu referencyjnego z cyfrowym modelem zabezpieczanego śladu traseologicznego.
- Pokrycie cyfrowego modelu referencyjnego z modelem gipsowym śladu traseologicznego.

W celu weryfikacji metody pomiarowej wykonano dwa modele cyfrowe protektora prawego buta marki „CAT". Każdy z wykonanych modeli został wyliczony na podstawie ok 60 fotografii cyfrowych z wykorzystaniem w pierwszym przypadku oświetlenia ciągłego w rozproszonego światła halogenowego, w drugim oświetlenia błyskowego z zastosowaniem parasola rozpraszającego. Po wygenerowaniu modeli zostały one przeskalowane na podstawie współczynnika skali obliczonego według wzoru.

$$W = \frac{Lw}{Lp}$$

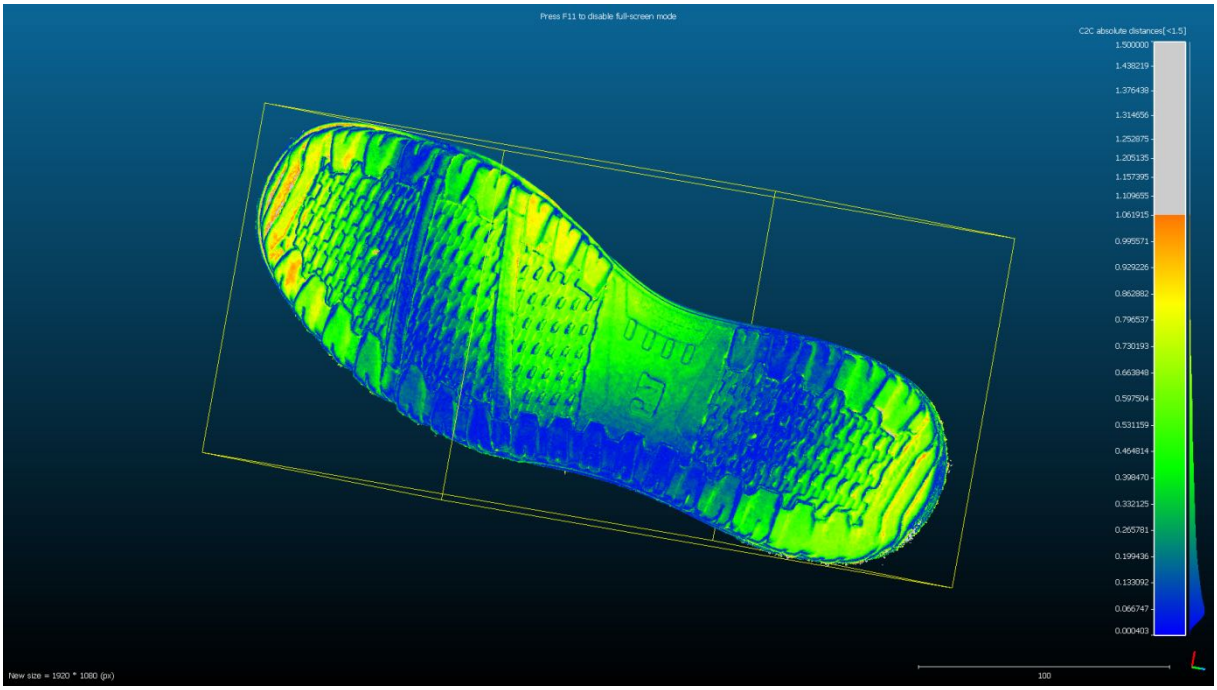
W – współczynnik skali

Lw – wymiar wzorca wyrażony w mm

Lp – wymiar wzorca uzyskany na nieprzeskalowanym modelu 3D

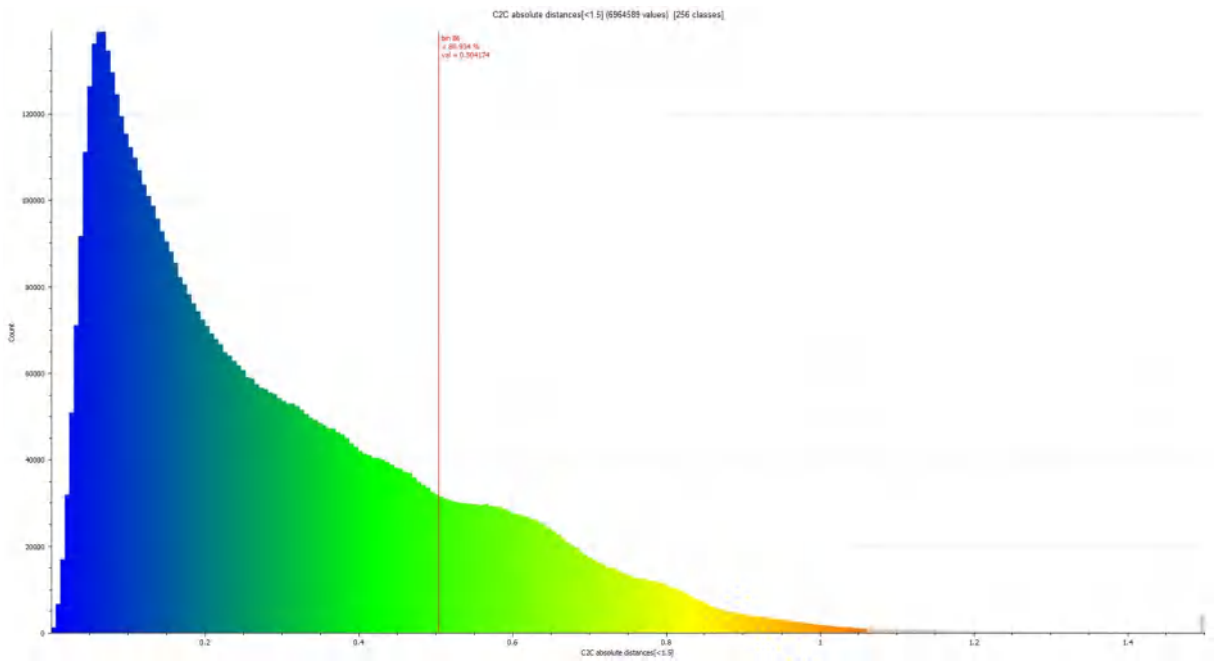
Następnie modele obuwia zostały podane przekształceniom mającym na celu nałożenie ich na siebie z największą możliwą dokładnością. Przekształcenia te są niezwykle istotne, gdyż od ich dokładności zależne jest uzyskanie porównanie modeli oraz uzyskanie mapy odchyleń i błędów pomiarowych w mierzonych punktach. W wyniku przeprowadzonego pomiaru odchylenia uzyskana następującą mapę odchyleń.

[97] Por. B. Niedźwiedź, J. Trojniak, *Wykonywanie replik śladów w śniegu,* Problemy Kryminalistyki, 100/72, s. 855 i nast. a także Ł. Łachacz, *Zabezpieczanie śladów traseologicznych występujących na (w) „trudnych" podłożach,* Problemy Współczesnej Kryminalistyki, Tom III, Warszawa 2000, s. 251 i nast.



Ryc. Nr 78 – Mapa odchyleń pomiarowych uzyskanych pomiędzy dwoma chmurami punktów tego samego materiału porównawczego. (skala w mm).

Z mapy odchyleń wygenerowano również wykres określający liczbę punktów reprezentujących poszczególne elementy zawarte w przedziałach błędów pomiarowych.

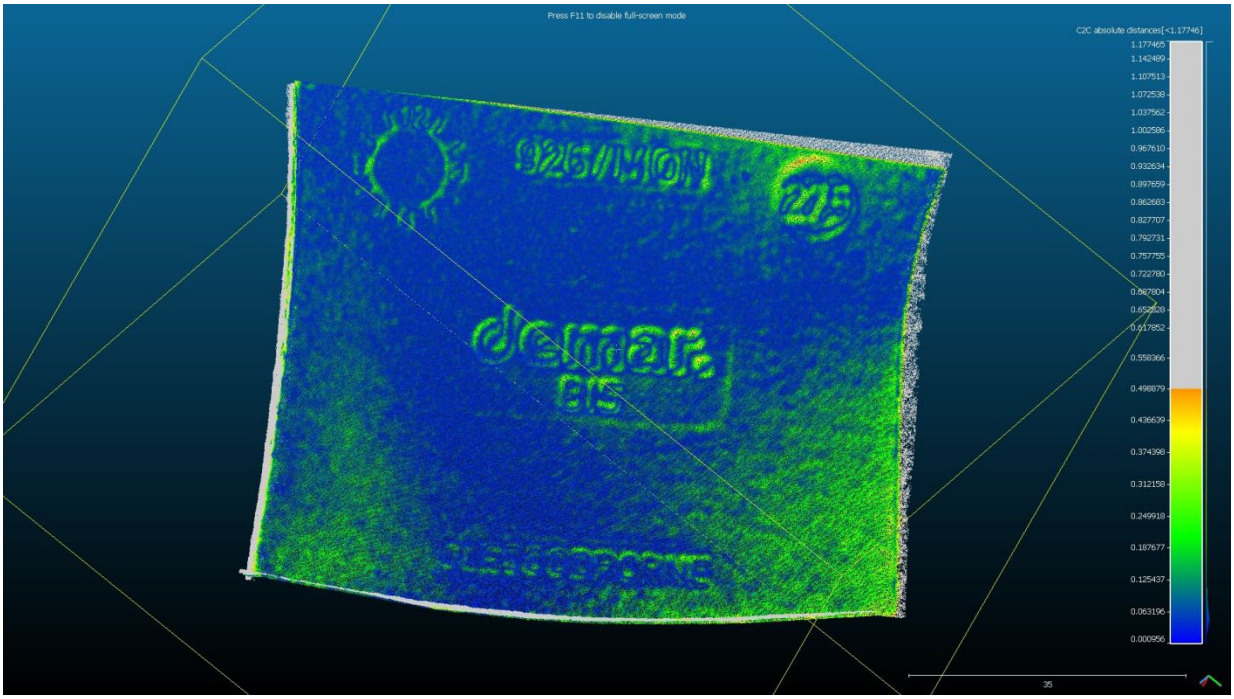


Ryc. Nr 79 – Wykres liczby punktów w zakresach błędów pomiaru (oś y przedstawia liczbę punktów, oś y przedstawia błąd pomiarowy wyrażony w mm).

Jak przedstawia mapa oraz wykres pomiędzy powierzchnią protektora przedstawioną za pomocą wygenerowanych w dwóch odmiennych warunkach pomiarowych odchylenia nie

sięgają wartości większej niż 1 mm, a ponad 80% pomierzonych punktów pomiarowych zawiera się w błędzie nie większym niż 0,5 mm. Należy tu jednak wspomnieć, iż na materiał porównawczy podczas wykonywania fotografii pomiarowych działały odmienne warunki zewnętrzne w postaci temperatury, wilgotności oraz samego urządzenia wykorzystywanego do umiejscowienia modelowanego obuwia w przestrzeni, co mogło w znaczący sposób wpłynąć na materiał elastyczny jakim jest guma tworząca protektor modelowanego obuwia. Ponadto wyżej wspomniany proces złożenia modeli cyfrowych przy błędnym jego zastosowaniu może spowodować wystąpienie błędów pomiarowych. Tak więc stwierdzono, że koniecznym elementem walidacji tej metody badawczej jest zawężenie mierzonego pola pomiarowego, a co za tym idzie podzielenie badanych modeli na segmenty. Przyjęto podział obuwia na trzy segmenty pięta, podbicie i śródstopie wraz z palcami. Do wykonania pomiarów z tak przyjętą metodyką został wykorzystany but używany w wojsku.

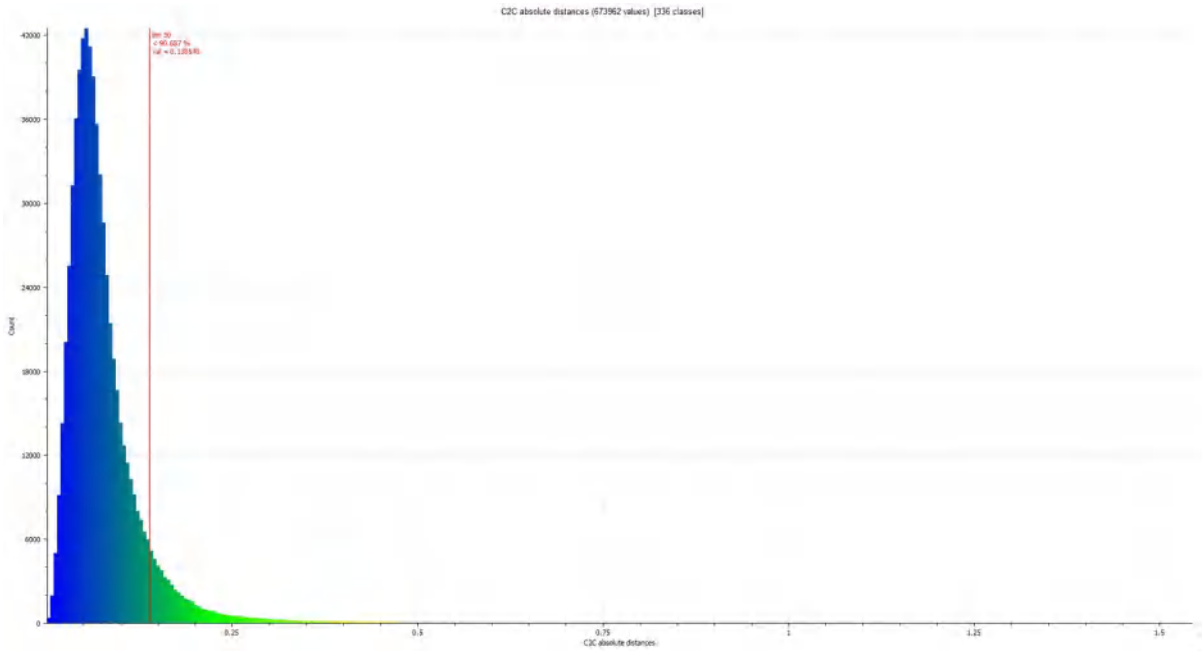
Po wykonaniu modeli i podziale ich na wyżej wymienione segmenty dokonano porównań i ich zobrazowań za pomocą wykresów oraz map odchyleń.[98]



Ryc. Nr 80 - Mapa odchyleń pomiarowych ukazująca odchylenia nie przekraczające w skrajnych przypadkach maksymalnie 0,4 mm.

[98] H. J. Larsen, M. R. Bennett, *Empirical Evaluation of the Reliability of Photogrammetry Software in the Recovery of Three-Dimensional Footwear Impressions*, Journal of Forensic Sciences, Vol. 65, no. 5, s.1722 i nast.

Uzyskane wyniki wykazały, że dokonanie segmentacji modeli protektora przyniosły pożądany efekt w postaci dokładniejszego złożenia modelu referencyjnego z modelem porównawczym. Jak pokazuje rycina numer 4 na całej powierzchni badanych modeli odchylenie pomiaru nie przekracza 0,4 mm natomiast większość porównywanego segmentu zawiera się w wartościach pomiarowych nie przekraczających 0,2 mm. Dokładny pomiar rozłożenia błędów pomiarowych pokazuje rycina numer 5 która pokazuje, że ponad 90,6 % punktów pomiarowych nie przekracza błędu wartości pomiarowej 0,138 mm.



Ryc. Nr 81 - Wykres błędów pomiarowych uzyskanych na segmencie podbicia buta.

Podobna sytuacja przedstawiała się na dwóch pozostałych segmentach pomiarowych co wyraźnie pokazuje, że kluczowym elementem poprawności badania jest prawidłowe złożenie badanych obiektów. Wyniki uzyskane w procesie walidacji pozwalają na sformułowanie hipotezy, że wybrana technika tworzenia modeli 3D SFM nadaje się do identyfikacji zarówno grupowej jak i indywidualnej w traseologii.

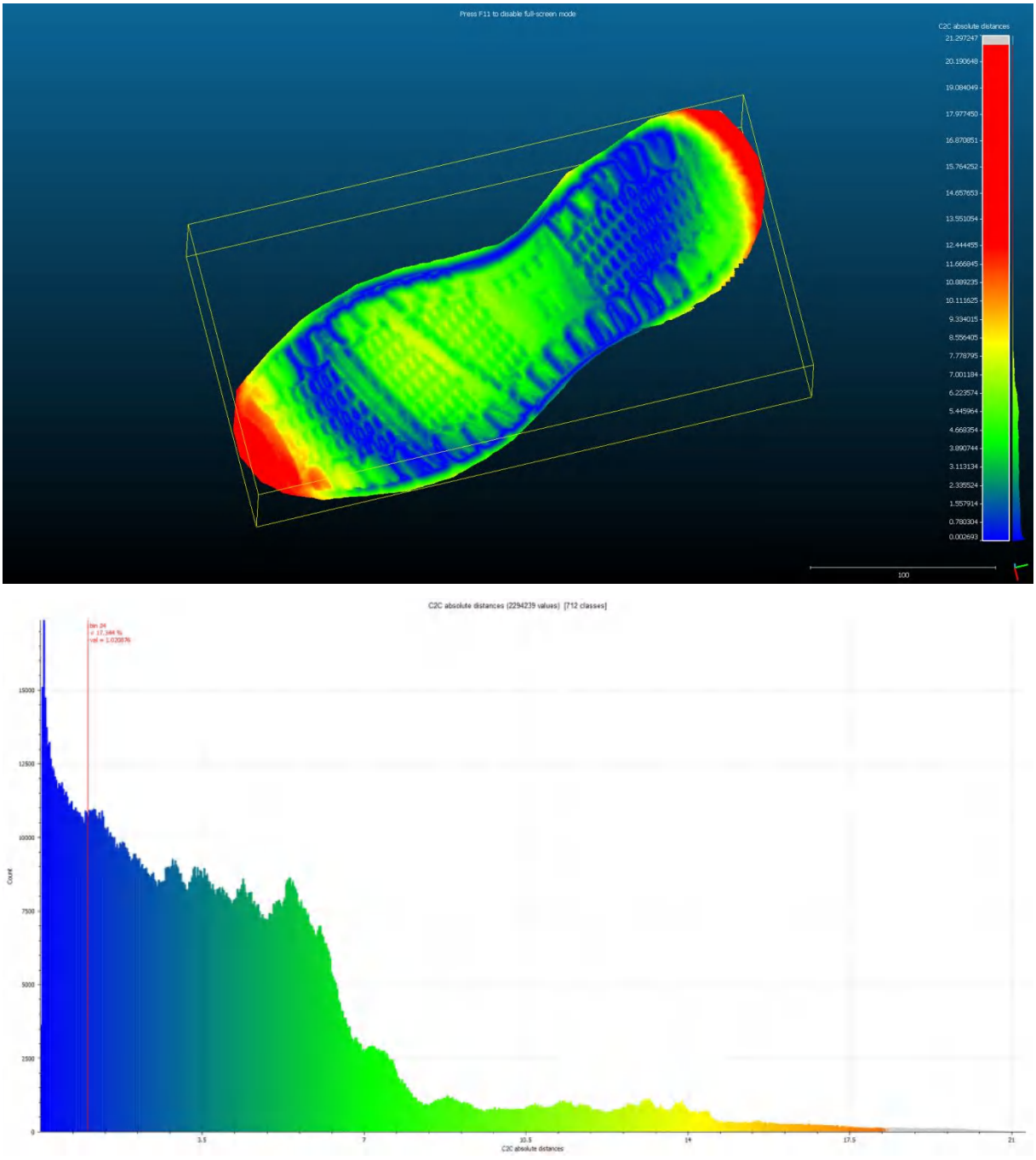
Aby potwierdzić postawioną hipotezę przeprowadzono badanie mające na celu wygenerowanie modelu 3D śladu wgłębionego w śniegu za pomocą techniki SFM i techniki standardowej za pomocą kamienia dentystycznego oraz porównanie ich ze materiałem porównawczym w postaci obuwia[99].

[99] H. J. Larsen, M.R. Bennett, *Recovery of 3D footwear impressions using a range of different techniques*, Journal of Forensic Sciences, Vol. 66, 2021r., s. 1054 i nast.

Jak opisano wyżej standardowe metody modelowania śladów traseologicznych w śniegu w związku ze strukturą śniegu oraz reakcją egzotermiczną charakterystyczną dla procesu tężenia kamienia dentystycznego nie zawsze pozwalają na uzyskanie modeli pozwalających na jakąkolwiek identyfikację na potrzeby postępowania przygotowawczego oraz sądowego[100]. Jednym z nowych środków, wykorzystywanych w celu poprawy jakości tego typu modeli jest preparat „Snowprint" mający na celu kontrastowanie śniegu oraz utworzenia bariery woskowej niwelującej wpływ ciepła na modelowany ślad. Preparat ten znajduje również duże zastosowanie podczas modelowania śladów za pomocą technik cyfrowych, wrażliwych na powierzchnie o jednakowo tonalnie i kolorystycznie płaszczyznach. Dzięki skontrastowaniu śniegu uzyskuje wiele punktów charakterystycznych wykorzystywanych w procesie wyliczania punktów w układzie współrzędnych XYZ.

Kolejnym elementem koniecznym do zastosowania podczas fotografii na potrzeby modelowania śladu 3D za pomocą techniki SFM jest umiejscowienie w najbliższej okolicy śladu wzorca wielkości. Jako wzorzec można przyjąć standardowy przymiar liniowy lub kątowy stosowany standardowo w fotografii kryminalistycznej, jednakże warunkiem koniecznym zastosowania tego typu wzorca jest umiejscowienie go na sztywnym prostym podłożu. Pozwoli to na zachowanie precyzji podczas przeskalowywania modelu po jego przeliczeniu przez program komputerowy. Na potrzeby badania wytypowany ślad wgłębiony w śniegu skontrastowano preparatem „Snowprint" oraz po umieszczeniu przy nim przymiaru wykonana około 60 fotografii śladu. Przeliczony model przeskalowano w sposób opisany wyżej. Kolejnym etapem badania było złożenie modelu 3D śladu z modelem 3D materiału porównawczego.

[100] Por. L. Rodowicz, *Wczoraj, dziś i jutro traseologii,* Problemy Współczesnej Kryminalistyki, Tom III, Warszawa 2000, s. 305 i nast. a także L. Rodowicz, *Problematyka śladów obuwia w …"pigułce",* Problemy Współczesnej Kryminalistyki, Tom XII, Warszawa 2008, s. 273 i nast.

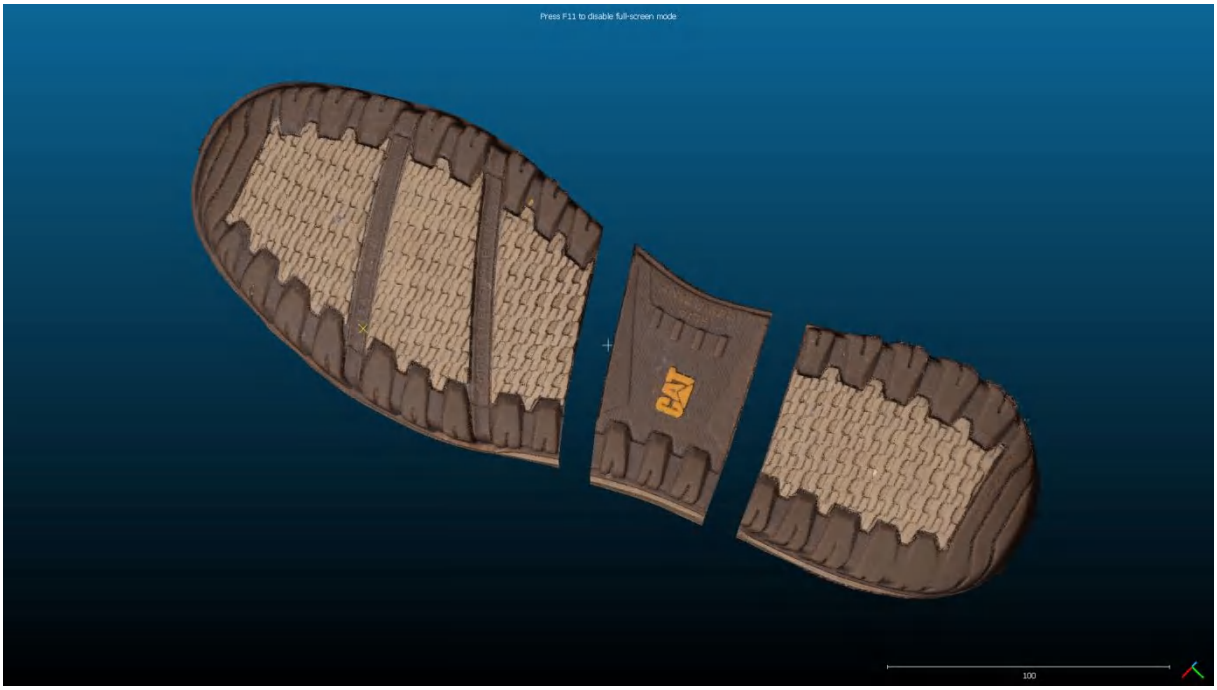


Ryc. Nr 82 - Mapa odchyłków oraz wykres błędów pokrycia śladu w stosunku do modelu referencyjnego obuwia.

Jak można wnioskować z otrzymanych rezultatów porównania cyfrowego modelu śladu wgłębionego w śniegu do modelu cyfrowego materiału porównawczego w postaci buta prawidłowe złożenie w tym przypadku jest sprawą kluczową. Odchyłki pomiędzy modelami w wartościach skrajnych sięgają nawet 1 cm co nie pozwala na wykorzystanie w taki sposób uzyskanych wyników do celów przeprowadzenia dowodu. Jednakże uwagę należy zwrócić na fakt, że podczas analizy modeli poruszamy się w przestrzeni trójwymiarowej w której błędy

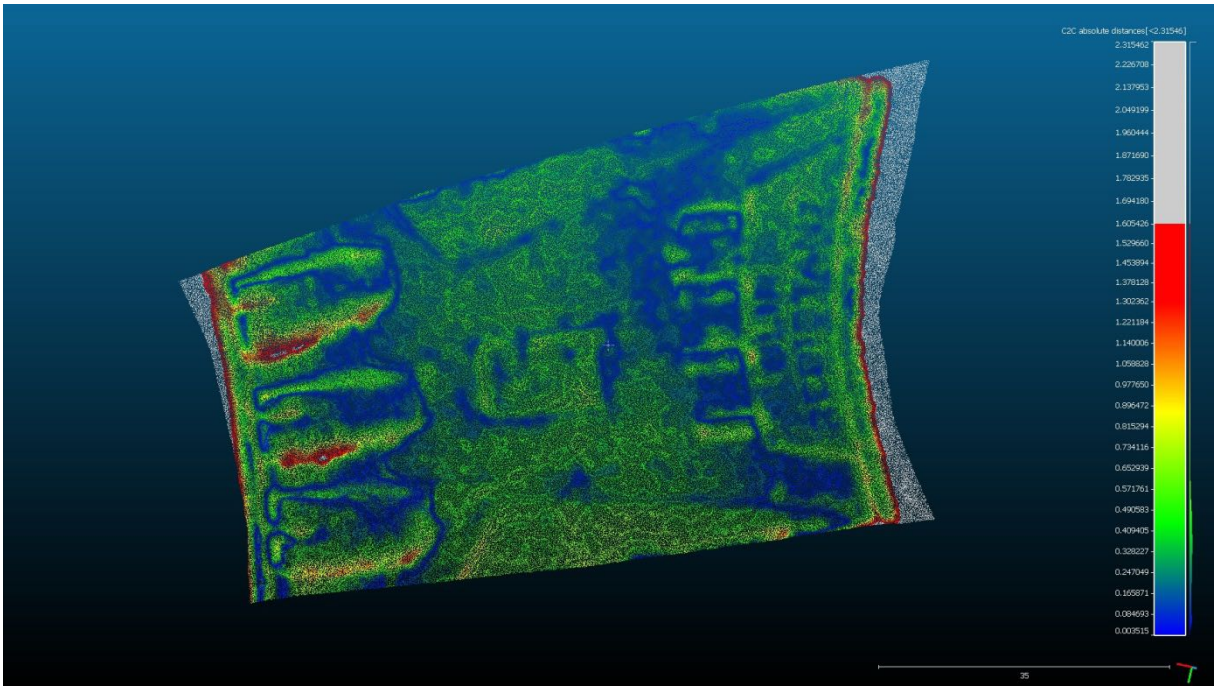
pomiarowe uzyskujemy nie tylko w układzie XY, lecz w układzie XYZ. W związku z tym olbrzymie znaczenie dla uzyskanych wyników stanowi w tym przypadku mechanizm powstania modelowanych śladów. Płaszczyzny w całościowym ujęciu modelu śladu nie pokrywają się z modelem materiału porównawczego, co jest również zauważalne w standardowych metodach modelowani śladów za pomocą masy gipsowej czy silikonowej.

Aby możliwe było analizowanie modeli cyfrowych tak jak w przypadku walidacji metody modele śladu i protektora obuwia podzielono na trzy segmenty zawierające kolejno część śródstopia wraz z palcami, podbicie oraz piętę.

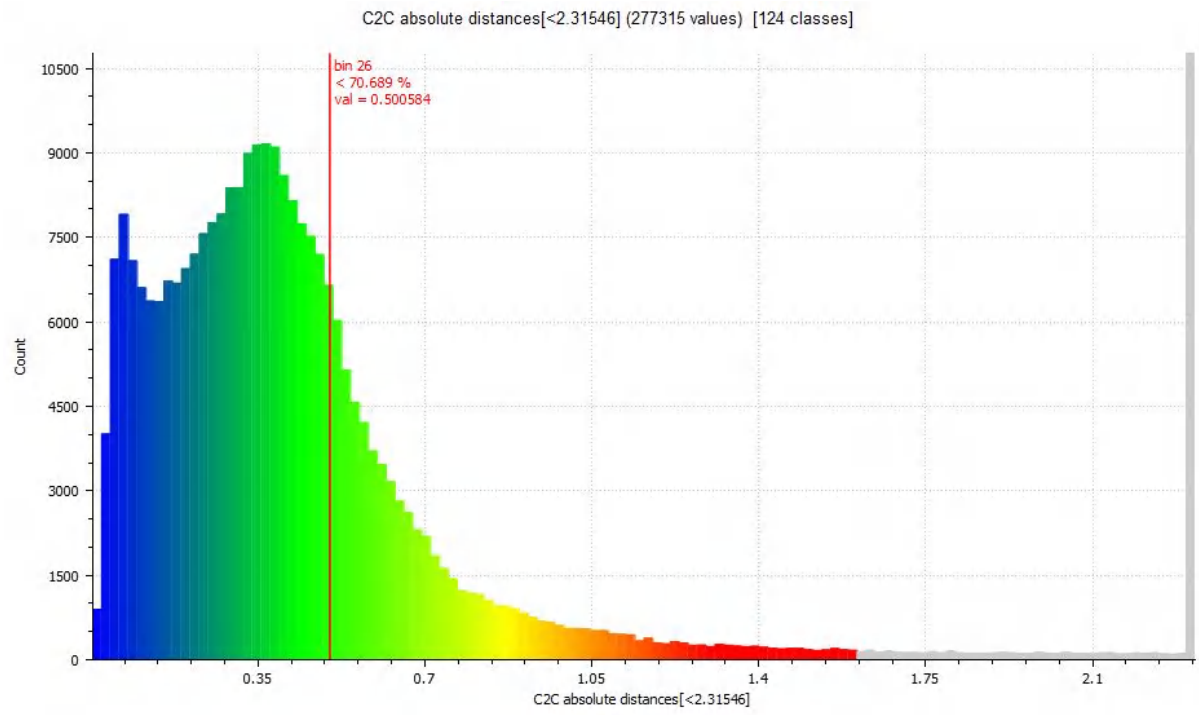


Ryc. Nr 83 – Sposób podziału buta oraz śladu na segmenty poddawane analizie.

Po dokonaniu podziału segmenty złożono oraz poddano ocenie zbieżności wymiarów. Rezultaty otrzymane w segmencie reprezentującym podbicie wyraźnie poprawiły wskaźniki pokrycia, a odchyłki pomiaru 70 % pomierzonych punktów nie przekroczyły wartości 0,5 mm. Punkty które na wykresie reprezentowane są kolorem ciemno pomarańczowym i czerwonym przedstawiają różnice o wartości ok. 1mm. Po analizie fotografii wykonanych na potrzeby modelu 3D śladu stwierdzono, że rejony te przedstawiają elementy, na które podczas mechanizmu powstawania śladu obsypały się elementy śniegu. Proces porównania segmentów powtórzono dla segmentu pięty oraz śródstopia z palcami w obydwu przypadkach dokładność pomiaru wzrosła w bardzo dużym stopniu porównywalnym do segmentu reprezentującego podbicie.



Ryc. Nr 84 - Mapa odchyłków pomiędzy podbiciem materiału porównawczego, a śladem.



Ryc. Nr. 85 – Wykres błędów pokrycia pomiędzy podbiciem materiału porównawczego, a śladem.

Ostatnim elementem badania było wykonanie modelu w sposób standardowy to jest za pomocą gipsu dentystycznego. Modelowanie to sprawiło duże problemy ze względu na warunki atmosferyczne panujące podczas jego wykonywania. Temperatura zewnętrzna

panująca podczas modelowania spowodowała, że proces zamarzania wody w użytej masie gipsowej postępował szybciej niż wiązanie gipsu. Uzyskany w ten sposób model nie niósł ze sobą wielu informacji o modelowanym śladzie. W celu optymalizacji otrzymanych rezultatów wykonano kilka modeli z zastosowaniem zróżnicowanie metodyki ich otrzymywania akceptowanych przez traseologię. Pomimo zastosowania różnych metod w danych warunkach atmosferycznych żaden z otrzymanych modeli nie uzyskał jakości porównywalnej do uzyskanego modelu cyfrowego.

Ponadto na potrzeby badań model śladu cyfrowego przygotowano w sposób umożliwiający uzyskanie z niego modelu materialnego w postaci wydruku 3D. Model po wydrukowaniu na drukarce 3D, poddano analizie, która pokazała że dokładnie przedstawia on geometrię i wymiary zabezpieczonego śladu. Wydruk ten dokonano wychodząc naprzeciw potrzebom procesu karnego, który w obecnym stanie hołduje zasadzie „materialności" śladów. Ponadto cyfrowy charakter modelowania za pomocą techniki SFM jest nie zawsze zrozumiały dla osób, które spotkały się z nią po raz pierwszy, a materialny wydruk śladu w łatwy sposób umożliwia jej zrozumienie. Kolejnym pozytywnym aspektem fizycznego przedstawienia modelu 3D w postaci wydruku, jest jego trwałość, a co za tym idzie archiwizacja wrażliwych cyfrowych danych.

ROZDZIAŁ VII
Zastosowanie modelowania 3D na potrzeby medycyny sądowej

Możliwość analizowania zwłok ludzkich pod kątem rekonstrukcji wydarzeń oraz stwierdzenia mechanizmów śmierci zainteresowała badaczy już we wczesnym okresie tworzenia rozwiniętych cywilizacji. W okresie cywilizacji greckiej w II w naszej ery doszło do orzeczenia lekarza, które to uchroniło pewną Greczynkę przed karą za wiarołomstwo. Fakt urodzenia przez kobietę dziecka, które wyglądem nie przypominało zupełnie ojca został wytłumaczony obrazem z wizerunkiem mężczyzny znajdującej się w domu owej greczynki. Podobieństwo rysów twarzy dziecka do rysów twarzy mężczyzny z obrazu wytłumaczono długotrwałym oglądaniu tego obrazu w trakcie ciąży. Innym przypadkiem historycznym zastosowania medycyny w procesie badania czynu przestępczego było stwierdzenie starorzymskiego lekarza Antistiusa, który zajmował się badaniem ciała zamordowanego Juliusza Cezara. Stwierdził on ze z dwudziestu trzech ran kłutych występujących na ciele Cezara tylko jedna z ran była raną śmiertelną[101]. Pomimo wydania w kolejnych latach opracowań takich jak: Xi Yuan Ji Lu *(Collected Cases of Injustice Rectified)* w chinach w 1248 roku, czy Bamberskiego Kodeksu Spraw Gardłowych w niemczech w roku 1507, początek rozwoju medycyny sądowej datuje się na przełom wieku XIX z wiekiem XX[102]. Wtedy to wraz ze postępem technologicznym medycyna pozyskała wiele narzędzi analitycznych, lecz również możliwości obrazowania zwłok, obrażeń oraz charakterystycznych zmian pośmiertnych tak istotnych, do określenia przebiegu zdarzenia oraz przyczyn śmierci. Pionierzy medycyny sadowej w tego okresu jak Saillant, Bernt, Casper oraz śledczy Gordon oraz inni przedstawiciele organów ścigania z tego okresu dostrzegli wagę czynności oględzin miejsca znalezienia zwłok, samych zwłok w miejscu ich znalezienia oraz rzeczy tak istotnej jak sekcja zwłok. Wraz z ich dokonaniami rozpoczęła się ekspansja medycyny sądowej jako odrębnego działu nauki służącej wymiarowi sprawiedliwości. Wraz z tym rozwojem medycyna sądowa

[101] J. Thorwald, op. cit. s. 190, a także W. Bonte, *Forensic Medicine – History,* [w:] Encyclopedia of Forensic Science, Tom 3, Wyd. Academic Press, London 2000, s. 1065, Gajus Swetoniusz Trankwillus, *Żywoty Cezarów,* Wyd. Zakład Narodowy Ossolińskich, Wrocław – Warszawa – Kraków – Gdańsk – Łódź 1987, s. 68.
[102] J. Thorwald, op. cit. s. 191

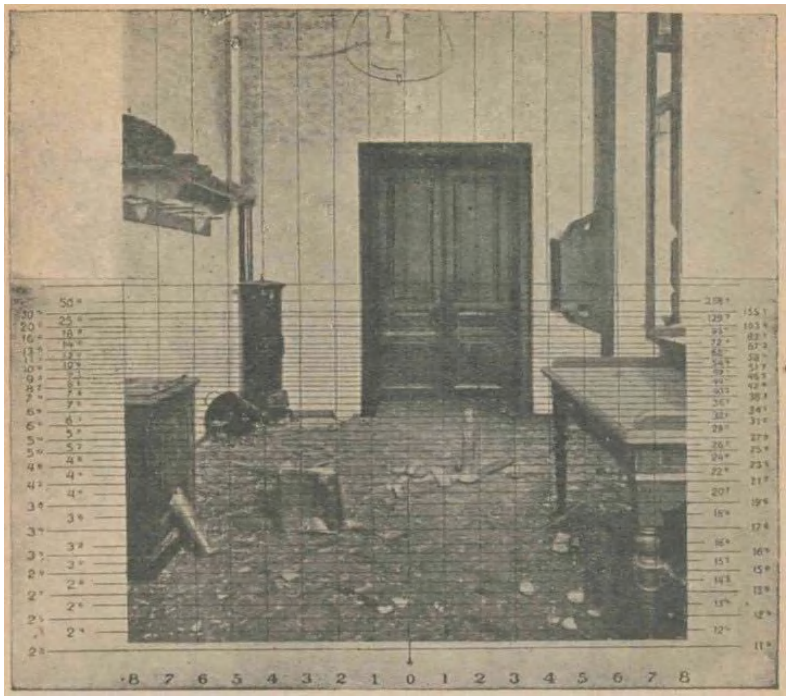
przestała się zajmować jedynie badaniem zwłok, ale również rozpoczęto badania nad osobami żywymi i wyjaśnianiem obrażeń na ciele żywego człowieka.

Od samego początku medycyna sądowa zmagała się z obrazowaniem czynności oraz uzyskanych informacji z sekcji zwłok. Problemem dla medyków sądowych było utrudnione możliwości prezentacji wyników autopsji w sądzie. Fotografia w tym okresie pomimo szybkiego rozwoju nie potrafiła przekazać informacji tak istotnej dla przemian w ciele ludzkim jak kolor. Sam opis słowny czy ryciny wykonane w sposób manualny dawały możliwość podejścia subiektywnego. Wykorzystywano więc bardzo często w owym czasie preparaty z osób zmarłych, które to przedstawiane były przed sądem. Miejsca ujawnienia zwłok oraz sposób ich ułożenia najczęściej przedstawiane były w postaci szkiców. Wraz z biegiem lat oraz postępem sposób obrazowania miejsca ulegał zmianie. Ułożenie zwłok zaczęto dokumentować w sposób umożliwiający wnioskowanie o wymiarach, czyli za pomocą fotografii metrycznej opracowanej już przez Bertilliona. I tak w polskich opracowaniach opisujących technikę sekcyjną można znaleźć zapiski wskazujące wykonanie fotografii metrycznej (fotogrametrycznej) jako sposób prawidłowego zabezpieczenia obrazu zwłok w miejscu ich znalezienia oraz przez rozpoczęciem czynności autopsji.

„Lekarz, wezwany do podjęcia oględzin zwłok w miejscu ich znalezienia, winien postępować rozważnie a nie dorywczo. Za zasadę powinien przyjąć, że najpierw należy tylko wzrokiem ogarnąć ogólna sytuacyę i pominąć na razie szczegóły. W tym celu należy za pomocą szkicu rysunkowego, lub, co lepiej, zdjęcia fotograficznego, względnie fotogrametrycznego, dokonanych z pewnej odległości, ustalić położenie zwłok i ich stosunek do otoczenia”[103].

Już wtedy zauważono potrzeby wykonania fotografii fotogrametrycznej jako takiej która pozwoli na odczytanie z niej wielkości obiektów na niej się znajdujących. Samo stwierdzenie nie było nowością w tym czasie, gdyż fotografie takie wprowadzono już pod koniec XIX wieku we Francji za sprawą Alfonsa Bertilliona, jednakże zapisy te pokazują jak istotne dla medycyny sądowej było i jest rejestrowanie wyglądu miejsca ujawnienia zwłok.

[103] L. Wachholz, S. Ciechanowski, *Technika sekcyi zwłok – protokół sekcyi i orzeczenie*, Wyd. Gebethnera i Wolffa , (reprint), Warszawa 2019, s. 26.



Ryc. Nr 86 – Przykładowa fotografia fotogrametryczna zamieszczona w książce „Medycyna Sądowa" autorstwa profesora Leona Wachholza z roku 1920[104].

Wraz z rozwojem techniki wizualizacyjnej możliwości obrazowania pozwalały na coraz to precyzyjniejsze przedstawienie miejsca znalezienia zwłok, wizerunku i obrazu ciała ludzkiego. Podstawową technika stosowaną od ponad 100 lat jest wciąż rejestrowanie fotograficzne. Posiada ono jedną cechę, która w praktyce organów ścigania dominuje od dziesiątek lat – fizyczność. Możliwość wydruku i przedstawienia dwuwymiarowej fotografii w każdych warunkach osobom uczestniczącym w postepowaniu przygotowawczym i sądowym sprawiła, że stała się ona podstawowym sposobem rejestracji wyżej wskazanych elementów. Zmarginalizowała ona nawet materiał wideo który posiada niewątpliwą przewagę w postaci ciągłości zmiany kadrów oraz obrazowanych miejsc przez co łatwiej jest odbiorcy zorientować się w obrazowanej przestrzeni. Ponadto należy stwierdzić, że wraz z postępem technologicznym, a co za tym idzie wprowadzeniem cyfrowych rejestratorów obrazu, w znacznym stopniu zmalała świadomość wykorzystania ich w trakcie czynności śledczych. Stało się tak za sprawą możliwości łatwej weryfikacji poprawności wykonanej fotografii oraz możliwości wykonania znacznie większej liczby obrazów podczas zdarzenia, bez konieczności zmiany nośnika danych który to w jeszcze na początku XXI wieku pozwalał na zarejestrowanie

[104] L. Wachholz, *Medycyna sądowa. Na podstawie ustaw obowiązujących na ziemiach polskich,* Wyd. Gebethner i Wolf, Kraków 1920, Fig. 1, tab. II.

zaledwie 36 klatek na jednej rolce. Ograniczenia takie zmuszały osoby wykonujące rejestrację wyglądu miejsca zdarzenia do świadomego wykorzystania aparatu fotograficznego bez możliwości kontroli jakości uzyskanego materiału w trakcie realizowanych czynności. Bieg czasu spowodował również odejście od technik fotogrametrycznych oraz ograniczenie roli materiału fotograficznego jedynie do roli materiału poglądowego. Rozważania na temat rozmiarów obiektów występujących na fotografiach stały się domeną biegłych z zakresu wizualizacji oraz antropologii. Dzięki pracy specjalistów (biegłych) opracowano chociażby techniki superprojekcji, które to dzięki fotografii wizerunku osoby oraz porównanie jej do obrazu czaszki pozwalają na identyfikację niezidentyfikowanych szczątków ludzkich.

1) Zastosowanie modelowania 3D w medycynie sądowej

W chwili obecnej dzięki rozwojowi medycyny konwencjonalnej, a przede wszystkim diagnostyki medycyna sądowa dysponuje dużymi możliwościami w zakresie modelowania 3D oraz analizy i wnioskowania na podstawie materiału uzyskanego w ten sposób. Oprócz wykorzystania technik opisanych wyżej jak fotogrametriia (SFM), skanowanie laserowe czy skanowanie za pomocą światła strukturalnego, medycyna posiada jeszcze jedną technikę pozwalająca na rekonstrukcję trójwymiarową. Tą techniką jest skanowanie za pomocą tomografu komputerowego oraz rezonansu magnetycznego. Pomimo różnej technologii uzyskania obrazu, w których to podczas tomografii komputerowej uzyskujemy obraz za pomocą promieniowania rentgenowskiego, a w przypadku rezonansu magnetycznego za pomocą magnetycznego rezonansu jądrowego, rezultaty obydwu tych badań pozwalają na uzyskanie dwuwymiarowych czarnobiałych przekrojów ciała ludzkiego, gdzie poszczególne elementy ciała cechuje różny poziom szarości. Powstałe przekroje, dzięki wzajemnemu równoległemu usytuowaniu względem siebie oraz znanej odległości pomiędzy każdym z nich pozwalają na wykonanie rekonstrukcji całego ciała oraz poszczególnych jego elementów w trójwymiarowe metryczne modele. Modele poza możliwością wnioskowania na ich podstawie wnoszą dużą wartość wizualizacyjną, dzięki której w zrozumiały i obrazowy sposób można przedstawić przyczyny śmierci w czasie opiniowania i w rezultacie w czasie postępowania sądowego. Materiały takie mogą być przedstawione w postaci rycin, animacji jak również

wydruków 3D przedstawiających wygląd poszczególnych części ciała w naturalnym rozmiarze[105].

1.1) Technika skanowania laserowego na potrzeby medycyny sądowej

Skanowanie laserowe cechuje się dużym zasięgiem uzyskanego odwzorowania 3D, przez co wykorzystywane jest w szczególności do obrazowania całości zakresu badanego miejsca zdarzenia. Fakt ten nie wyklucza wykorzystania modelu 3D miejsca zdarzenia powstałego wskutek zastosowania skanerów laserowych, co więcej obraz powstały w ten sposób pozwala na pełniejsze przeanalizowanie miejsca pod kątem ustalenia przyczyny zgonu czy powstałych na ciele obrażeń.

Pośród najważniejszych możliwości zastosowania skanera laserowego 3D na potrzeby medycyny sądowej należy wskazać:

- **Możliwość metrycznego zobrazowania ułożenia zwłok na miejscu ich znalezienia oraz usytuowania ich względem otoczenia.**

  Biegły z zakresu medycyny sądowej bardzo często nie znajduje się na miejscu zdarzenia. Ma dostęp do tego miejsca tylko w sytuacjach, kiedy przebieg zdarzenia oraz przyczyna śmierci budzi poważne wątpliwości prokuratora prowadzącego oględziny zwłok w miejscu ich znalezienia. Ponadto co do zasady sekcja sądowo-lekarska zwłok powinna być przeprowadzona przez biegłego, który uczestniczył w oględzinach zwłok w miejscu ich znalezienia. Podstawą tego stwierdzenia jest fakt, że lekarz ten posiada najwięcej wiadomości o ułożeniu zwłok na miejscu, elementach znajdujących się wokół zwłok a mogących mieć związek z obrażeniami na ich ciele, oraz stanu zwłok w miejscu ich znalezienia (plamy opadowe, stężenie pośmiertne, temperatura ciała itp.)[106]. W sytuacji, w której biegły zapoznaje się ze sprawą bezpośrednio przed przeprowadzeniem sekcji zwłok, bardzo często jedyną dokumentacją, z która ma możliwość się zapoznać jest postanowienie o powołaniu biegłego, bez wyjaśnienia szczegółowych okoliczności przebiegu zdarzenia ustalonych w trakcie czynności wykonywanych w miejscu ujawnienia zwłok. W znacznym stopniu utrudnia mu to, a w niektórych przypadkach uniemożliwia wydanie opinii na temat mechanizmu powstania obrażeń, ułożenia ciała

[105] L. Chr. Ebert, M.J. Thali, S. Ross, Getting in Touch – 3D printing in Forensic Imaginig, Forensic Science International, Volume 211, Issues 1-3, Wrzesień 2011, s 1-6

[106] Por. T. Marcinkowski, *Medycyna sądowa dla prawników,* Wydawnictwo Prawnicze, Warszawa 1993, s. 147 a także V.J. DiMaio, D. DiMaio, *Medycyna sądowa,* Wyd. Medyczne Urban & Partner, Wrocław 2003, s. 20 i nast.

po śmierci czy prawdopodobnym czasie zgonu. Wykonanie skanowania laserowego miejsca znalezienia zwłok umożliwia zarejestrowanie ułożenia zwłok. Rezultat skanowania można wykorzystać do stworzenia filmu obrazującego sposób ułożenia zwłok. Co za tym idzie możliwe będzie dokonanie zbadania możliwości powstania niektórych obrażeń przyżyciowych. Obrażenia takie charakterystyczne są dla zgonów naturalnych, którym towarzyszą drgawki, czy takim w których w skutek zasłabnięcia nastąpiło uderzenie o element otoczenia. Przedstawienie materiału ze skanowania 3D pozwala na zorientowanie się w przestrzeni miejsca zdarzenia, biegłemu z zakresu medycyny sądowej, który do czasu sekcji zwłok nie miał możliwości pozyskania informacji o sprawie.

- **Możliwość wykonania rekonstrukcji przemieszczania się człowieka podczas zdarzenia na podstawie wzajemnego usytuowania zwłok w stosunku śladów ujawnionych na miejscu zdarzenia.**

  Samo usytuowanie zwłok w miejscu ich znalezienia bardzo często nie pozwala na rekonstrukcję przebiegu zdarzenia oraz stwierdzenia czy obrażeni stwierdzone na zwłokach mogą być jego przyczyną. Ma to bardzo często miejsce w sytuacjach, kiedy badane zdarzenie cechowała duża dynamika (np. wypadek samochodowy, upadek z wysokości). W tym wypadku zastosowanie skaningu laserowego pozwala na powiązanie śladów zarejestrowanych na skanach 3D z położeniem zwłok.

  Analizując upadki z wysokości istnieje możliwość analizy śladów takich jak ślady teraseologiczne wskazujące na obślizgnięcie się osoby. Ponadto możliwe jest przeanalizowanie położenia ciała względem miejsca, z którego spadło pod kątem dokonania analizy, czy doszło do wypchnięcia, czy upadek nastąpił na skutek nieszczęśliwego wypadku. Możliwa jest też analiza powstałych obrażeń w stosunku do wysokości z jakiej nastąpił upadek.

  W przypadku wypadków samochodowych możliwe jest określenie miejsca, w którym nastąpiło uderzenie w stosunku do ułożenia ciała poszkodowanego. Ponadto na podstawie pomiarów elementów konstrukcyjnych pojazdów biorących udział w zdarzeniu oraz dopasowaniu ich do obrażeń powstałych na ciele możliwe jest dopasowanie i rekonstrukcja przebiegu zdarzenia. W sytuacjach w których w wyniku kontaktu głowy poszkodowanego z szybą przednią pojazdu doszło do jej uszkodzenia

lub pozostawienia na niej śladów, możliwe jest tak zwane cyfrowe rozciągnięcie powierzchni ciała na powierzchni pojazdu. Analiza ta pozwala na stwierdzenie czy uszkodzenia pojazdu powstały na skutek uderzenia w poszkodowanego. Badania takie mają duże znaczenie w przypadkach, kiedy sprawca uciekł z miejsca zdarzenia i niezbędne jest przeprowadzenie dowodu potwierdzającego jego udział w zdarzeniu.

- **Przedstawienie ogólnego wizerunku zwłok w stanie tożsamym ze stanem ich znalezienia.**

  Identyfikacja NN zwłok to jeden z podstawowych elementów niezbędnych do wykonania w czasie śledczego badania miejsca zdarzenia oraz w trakcie postępowania przygotowawczego. Dzięki zastosowaniu badań DNA w chwili obecnej możliwe jest precyzyjne określenie tożsamości zwłok. Niezbędne do tego jednak jest posiadanie profilu DNA osoby poszukiwanej lub profilu osób blisko z nią spokrewnionych (ojciec, matka, rodzeństwo, dzieci). W wypadku, kiedy ujawniono zwłoki, w których przypadku niemożliwe lub wątpliwe jest ustalenie ich pochodzenia, niemożliwe będzie zastosowanie techniki profilowania DNA na pierwszym etapie postępowania. W związku z powyższym niezbędne jest uwiecznienie wyglądu zwłok w sposób umożliwiający ich identyfikacje przez inne osoby. W chwili obecnej realizuje się to za pomocą aparatu fotograficznego wykonując fotografie na wprost twarzy, profile twarzy ora w miarę możliwości półprofile twarzy. Wykonuje się również fotografię cech charakterystycznych ciała takich jak tatuaże, blizny, znamiona. Zastosowanie skanera 3D pozwoli na wykonanie wizerunku twarzy oraz całego ciała osoby w sposób kompleksowy na jednym spójnym pliku. Możliwość obrotu zobrazowanego wizerunku pozwala na uzyskanie wielu ujęć i kątów widzenia, a co za tym idzie zwiększenie wartości identyfikacyjnej. Ponadto możliwe jest precyzyjne zlokalizowanie znamion oraz innych cech charakterystycznych ciała bez konieczności przeprowadzania traumatycznych przeżyć dla osób którym okazywane są fizycznie zwłoki. Okazań wstępnych dokonać wtedy można przed ekranem komputera. Możliwości wykonania obrotu i zbliżeń zwłok pozwalają na precyzyjniejsze wykonanie czynności, poza tym oczywiste negatywna identyfikacji zwłok oszczędzi osobom identyfikującym konieczności obcowania ze zwłokami. W wypadkach wątpliwych lub pozytywnej identyfikacji konieczne może okazać się fizyczne okazanie zwłok.

Rejestracja wyglądu zwłok w czasie czynności wykonywanych po ich znalezieniu pozwala również na utrwalenie ich wizerunku niezmienionego zmianami pośmiertnymi, a przynajmniej na takim etapie zmian na jakim zostały one znalezione. Ma to szczególne znaczenie w sytuacjach, w których zmiany pośmiertne oraz związana z nimi zmiana wizerunku następuje w sposób nagły, jak to ma miejsce w przypadku wyciągnięcia zwłok z wody. Należy również zauważyć, że w wypadku wykonywania wizerunku NN zwłok najlepsze rezultaty osiągnąć można z wykorzystaniem techniki SFM, gdyż dzięki zastosowaniu tekstur uzyskujemy możliwość wykonania modeli fotorealistycznych[107].

- **Możliwość rekonstrukcji zdarzenia oraz „mapy ujawnionych zwłok" (wzajemne ułożenie zwłok względem siebie oraz otoczenia) w przypadku zdarzeń o charakterze masowym (np. akt terroru).**

  Coraz częstszym problemem, przed którym stają organy ścigania oraz wymiar sprawiedliwości są zdarzenia o charakterze masowym, gdzie występuje znaczna ilość ofiar. Badania z zakresu medycyny sądowej pozwalają w tym wypadku na identyfikację ofiar, odróżnienie ofiar od sprawców, rekonstrukcję zdarzenia na podstawie obrażeń jakie posiadają ofiary oraz rekonstrukcję zdarzenia na podstawie położenia ciał. Ma to szczególne znaczenie w przypadkach wypadków komunikacyjnych, takich jak katastrofy lotnicze czy katastrofy kolejowe w których występuje znaczna ilość ofiar. Dzięki stworzeniu mapy rozmieszczenia zwłok oraz dokonaniu ich identyfikacji możliwe jest stworzenie przypuszczalnego modelu przebiegu zdarzenia. Elementem, który w dużej mierze przyczynia się do możliwości stworzenia takiej rekonstrukcji jest fakt ewidencjonowania miejscówek pasażerów. Znajomość ich lokalizacji w momencie zaistnienia katastrofy oraz mapa rozmieszczenia zwłok pozwala wnioskować o siłach oraz położeniu środka transportu w poszczególnych fazach zdarzenia.

1.2) Modelowanie techniką SFM na potrzeby medycyny sądowej

Fotogrametryczna metoda uzyskania geometrii obiektu w przypadku medycyny sadowej znajduje szerokie zastosowanie. Dzięki teksturowaniu przedmiotów możliwe jest za jej pomocą uzyskanie wysokiej rozdzielczości modeli 3D obrazujących ułożenie zwłok w

[107] Por. D. Gibelli, D. De Angelis, P. Poppa, Ch. Sforza, C. Cattaneo, *A View to the Future: A Novel Approach for 3D-3Dsuperimposition and Quantification of Differences for Identification from Next-Generation Video Surveillance Systems, Journal of Forensic Sciences, marzec 2017, Vol. 62 No. 2, s. 457 i nast.*

miejscu ich znalezienia jak również przedstawienie rozlokowania oraz kolorystyki obrażeń i zmian pośmiertnych na ciele człowieka. Stosunkowo mały koszt wdrożenia metody fotogrametrycznej do pracy organów ścigania pozwala na jej rozpowszechnienie, a rezultaty możliwe do uzyskania w znaczny sposób poprawiają metody wizualizacji zwłok w miejscu ich ujawnienia oraz w czasie sądowo-lekarskiej sekcji zwłok.

1.2.1) Zasady stosowania metody fotogrametrycznej na potrzeby medycyny sądowej

- **Ustawienie poprawnego balansu bieli**

  Elementem niezwykle istotnym dla medycyny sądowej jest kolor powstałych obrażeń. Może on świadczyć o „wieku" obrażeń, powstaniu ich przyżyciowo lub po śmierci, jak i szczególnym charakterze znamion śmierci (np. karminowe zabarwienie skóry przy ostrym zatruciu tlenkiem węgla). Dlatego też w czasie wykonywania materiału na potrzeby modelowania 3D, za pomocą techniki fotogrametrycznej 3D, niezbędne jest wykonanie dokładnego pomiaru natężenia oraz temperatury barwowej światła wykorzystywanego w czasie wykonywania fotografii lub filmu. Pomocne w tym wypadku może być wykorzystanie wzornika tak zwanej szarości kodakowskiej (19% szarości) które pozwala na precyzyjne dobranie wartości balansu bieli w urządzeniu rejestrującym. Innym rozwiązaniem tego problemu jest również wykonywanie obrazów w postaci nieskompresowanej (np. pliki *.raw, *.nef) o możliwości zmiany wartości balansu bieli. Konieczne w tym wypadku jest uwidocznienie na każdym z wykonanych fotografii wzornika kolorów, dzięki któremu możliwe jest dobranie parametru balansu bieli dla każdego ze zdjęć w postprodukcji. Zagrożeniem związanym z balansem bieli w tym wypadku może być występowanie w obrazowanym obszarze dwóch lub więcej źródeł światła o innej temperaturze barwowej. Wykonanie materiału wyjściowego w takich warunkach może doprowadzić do przebarwień występujących w niektórych obszarach obiektu. Taki stan niestety może doprowadzić do nieprawidłowego wnioskowania na podstawie wytworzonego modelu. Aby zapobiec takiej sytuacji każdorazowo należy dokonać analizy źródeł światła, a w wypadku możliwości wyeliminowania części z nich dokonanie tego poprzez zaciemnienie np. zasłonięcie okien jako źródła światła naturalnego.

- **Zastosowanie przymiaru**

  Rozmiary obrażeń ich rozmieszczenie jest elementem niezwykle istotnym w medycynie sądowej, dlatego też podczas wykonywania obrazowania na potrzeby techniki SFM

konieczne staje się zastosowanie przymiarów odpowiedniej wielkości, które zostało opisane w rozdziale dotyczącym techniki skanowania SFM. Poprawne zastosowanie przymiaru pozwala na dokonywanie pomiarów wielkości obrażeń oraz znamion śmierci na ciele człowiecza z dokładnością do dziesiątych części milimetra.

Ponadto należy stosować się do zasad opisanych w rozdziale opisujących technikę fotogrametryczną SFM, gdyż są one uniwersalne podczas wykonywania materiału wyjściowego na potrzeby tej techniki.

Skanowanie SFM w medycynie sądowej największe zastosowanie znajduje w:

- **Obrazowaniu ułożenia zwłok w miejscu ich znalezienia.**
  Tak jak w wypadku skaningu laserowego Technika SFM pozwala na rejestrowanie i trójwymiarowe modelowanie ułożenia zwłok w miejscu ich ułożenia. Wadą techniki SFM jest jej stosunkowo mniejszy zasięg. Zaletą możliwość stworzenia fotorealistycznych modeli teksturowanych, z którym można odczytać drobne szczegóły otoczenia. Kolejnym pozytywnym aspektem zastosowania techniki SFM w tym przypadku jest możliwość zastosowania obiektywów typu macro podczas wykonywania fotografii na potrzeby techniki SFM uzyskanie zbliżeń fragmentów będących w szczególnym zainteresowaniu i wykonanie precyzyjnego odwzorowania ich geometrii. Podczas wykonywania modeli należy pamiętać, że wyższą wartość pomiarową niesie ze sobą gęsta chmura punktów uzyskana niż model płaszczyznowy uzyskany przez połączenie punktów w siatkę trójkątów, gdyż w jego przypadku pomiar odnosić się będzie do utworzonej płaszczyzny a nie do wyliczonego fotogrametrycznie punktu w przestrzeni[108].
- **Obrazowaniu poszczególnych obrażeń ciała.**
  Dzięki zastosowani modelowania technika fotogrametryczną SFM możliwe staje się wymodelowanie nie tylko ogólnego obrazu ułożenia zwłok w miejscu ich znalezienia, lecz również dokładne przedstawienie poszczególnych nawet drobnych obrażeń występujących na zwłokach jak i ciele żywego człowieka. W przypadku techniki SFM dzięki przejściu przez wszystkie fazy rekonstrukcji od tworzenia chmury punktów aż do możliwości stworzenia powierzchniowych modeli teksturowanych, możliwe jest

[108] B. Murray, D. T. Anderson, D. J. Wescott, R. Moorhead, M. F. Anderson, *Survey and Insights into Unmanned Aerial-Vehicle-Based Detection and Documentation of Clandestine Graves and Human Remains,* Human Biology, Wayne State University Press, Detroit 2018, s. 33 i nast.

zarówno dokonanie dokładnych pomiarów na wytworzonej chmurze punktów, ale również fotorealistyczne przedstawienie urazów z zachowaniem szczegółów[109].



Ryc. Nr 87– Widok powierzchniowego modelu teksturowanego wykonanego techniką SFM rany w zgięciu stawu łokciowego.

Zastosowanie techniki SFM wykazuje wyższość w porównaniu do zobrazowania pojedynczą fotografią poprzez element przestrzenności, który pozwala dodatkowo ocenić głębokość obniesionych obrażeń. Teksturowanie modelu przewyższa z kolei techniki modelowania z wykorzystaniem obrazów tomograficznych, gdyż brak koloru obrażeń, a jedynie powierzchniowe przedstawienie powłok skóry nie pozwala na kompleksowe wnioskowanie o charakterze obrażenia. Sytuacja ta zmieni się w wypadku ran i obrażeń głębokich, gdzie metoda z wykorzystaniem obrazów tomograficznych i modelowanie metodą SFM będą się wzajemnie uzupełniać.[110]

- **Obrazowaniu znamion śmierci.**

  Podobnym zastosowaniem techniki fotogrametrycznej rekonstrukcji geometrii przedmiot jak w wypadku obrażeń ciała, jest rejestrowania znamion śmierci, takich jak plamy opadowe lub cech charakterystycznych dla poszczególnych mechanizmów śmierci. Metoda ta pozwala również zobrazować obrażenia powstałe przyżyciowo, a na podstawie zmian kolorystycznych tych obrażeń oszacować orientacyjny czas ich powstania. W tym wypadku technika posiada dużą przewagę nad tomograficznymi

[109] Por. G. Cecchetto, G. Viel, F. De Lotto, R. Manara, M. Montisci, S. Zancaner, D. Ferrara, *Machinery-Related Deaths: Relevance of Workplace Investigation and Antemortem radiological Data in Reconstructing the Fatality*, Journal of Forensic Sciences, Maj 2010, Vol. 55 No.3, s. 845 i nast.

[110] U. Buck, S. Naether, B. Rass, Ch. Jackowski, M. J. Thali, *Accident or homicide – Virtual crime scene reconstruction using 3D methods,* Forensic Science International 225 (2013), s. 75-84

odwzorowaniami 3D. Przewaga ta wynika z faktu, że obrazowane przemiany nie wpływają na zmianę kształtu powierzchni skóry człowieka, a jedynie wpływają na jej zabarwienie, które to niemożliwe jest do przedstawienia za pomocą monochromatycznego obrazu z tomografu lub rezonansu. Zarejestrowanie tych zmian za pomocą fotogrametrii pozwala nie tylko zrekonstruować geometrię powierzchni skóry, lecz również precyzyjnie ukazać rozłożenie i zabarwienie przemian. Dzięki tak powstałym rekonstrukcjom w sposób „bezkrwawy" przedstawić można przed sądem np. przebarwienia „karminowe" skóry będące cechą charakterystyczną zatrucia tlenkiem węgla i odróżnić jej od plam opadowych.

- **Obrazowaniu wizerunku na potrzeby identyfikacji.**

  Jednym z najstarszych problemów z jakimi borykała się medycyna sadowa jest identyfikacja NN zwłok. Pomimo rozwinięcia genetyki, a co za tym idzie identyfikacji na podstawie profili DNA, identyfikacja na podstawie wizerunku w dalszym ciągu stanowi podstawę stwierdzania tożsamości zwłok. W tym celu standardową procedurą jest okazanie fizyczne zwłok. Podczas takiego okazania przedstawiane są osobie identyfikującej takie cechy charakterystyczne jak wizerunek, cechy charakterystyczne jak tatuaże, znamiona, blizny, elementy świadczące o przebytych chorobach oraz ich leczeniu. Wszystkie z wymienionych elementów na skutek przemian fizykochemicznych zachodzących w zwłokach ludzkich zmieniają swój wygląd stając się trudne do rozpoznania, a w skrajnych przypadkach niewidoczne powodując błędy identyfikacyjne. Należy również zauważyć, że bardzo często okazanie zwłok w związku z nieznanym ich pochodzeniem przeprowadzane są po kilku dniach, a nawet tygodniach od momentu ich znalezienia, kiedy to zmiany pośmiertne w sposób znaczny wpłynęły na zmianę wyglądu. Jako rozwiązanie tego problemu zastosowywać można rejestrowanie wizerunku osoby oraz jej cech charakterystycznych, zaraz przed wykonaniem sądowo lekarskiej sekcji zwłok. Czas ten pozwoli na modelowanie wizerunku już po umyciu zwłok, co uwidoczni elementy, które mogły być niewidoczne na miejscu zdarzenia z powodu zabrudzeń powłok ciała. Wykorzystanie w tym wypadku równomiernego oświetlenia oraz jednolitej metodyki otrzymywania teksturowanych modeli za pomocą techniki SFM pozwala na wykonanie modelu przedstawiającego zarówno wizerunek osoby pomocny przy identyfikacji, nie tylko

przez osoby bliskie[111]. Dzięki walorowi metryczności modelu, możliwa również jest identyfikacja na podstawie cech anatomicznych, takich jak budowa małżowiny usznej[112]. W przypadkach, w których ze względu na posunięty proces rozkładu niemożliwe jest przeprowadzenia rejestracji obrazu linii papilarnych za pomocą standardowego przeniesienia na kartę daktyloskopijną z użyciem tuszu możliwa jest również rejestracja ich obrazu z wykorzystaniem techniki fotogrametrycznej. Proces ten jest skomplikowany w związku z czym zalecane jest w razie możliwości wykorzystanie na taką potrzebę technikę światła strukturalnego. Obecnie w związku z dużą popularyzacją tatuowania ciała występują duże możliwości identyfikacyjne na podstawie obrazu tatuażu na ciele człowieka. Charakterystyczna technika tatuażysty, indywidualne projekty tatuażu oraz elementy charakterystyczne stanowiące swoisty podpis osoby wykonującej tatuaż, pozwalają na dokonanie identyfikacji indywidualnej. W takich wypadkach zarejestrowanie obrazu tatuażu za pomocą modelu pozwala na przedstawienie całości jego obrazu. Ponadto pozwala to na przedstawienie wycinka ciała bez konieczności przedstawienia ogólnego obrazu zwłok.

Przedstawienie zwłok, ich wizerunku oraz cech charakterystycznych za pomocą modeli 3D niewątpliwie pozwala na rejestrację ich obrazu, taką jaką posiadały w chwili ich znalezienia, a przedstawienie ich podczas okazania oraz procesu identyfikacji pozwala na dotarcie do większej grupy osób bez konieczności ich narażenia na traumatyczne przeżycia w postaci obcowania ze zwłokami ludzkimi[113].

- **Obrazowanie na potrzeby powleczenia skórą (teksturą) modeli tomograficznych.** Obrazowanie tomograficzne pozwala na uzyskanie cennego materiału w postaci wyglądu wnętrza ludzkiego ciała bez konieczności ingerencji chirurgicznej. Ma bardzo szerokie zastosowanie nie tylko w medycynie konwencjonalnej, lecz również w kryminalistyce. Uzyskiwane za pomocą tomografu obrazy przedstawiają ciało w postaci

[111] Por. C. Cattaneo, A. Cantatore, R. Ciaffi, D. Gibelli, A. Cigada, D. De Angelis, R. Sala, *Personal Identification by the Comparison of Facial Profiles: Testing the Reliability of a High-Resolution 3D-2D Comparison Model,* Journal of Forensic Sciences, styczeń 2012, Vol. 57 No. 1, s. 182 i nast.

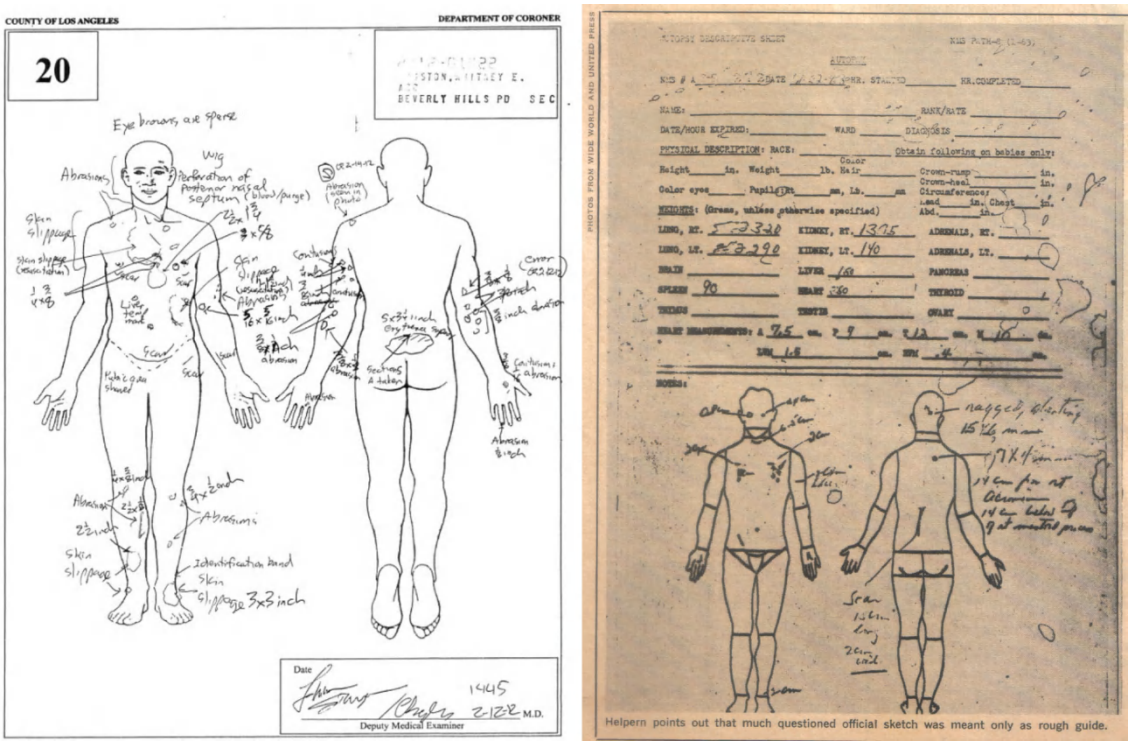
[112] Por. J. Kasprzak, *Otoskopia kryminalistyczna. System identyfikacji. Zagadnienia dowodowe,* Wyd. UWM, Olsztyn 2003, s. 30, a także J. Kasprzak, *Nietypowy przypadek identyfikacji zwłok na podstawie małżowiny usznej,* [w:] red. J. Kasprzak, J. Bryk, Prawo. Kryminalistyka. Policja – Księga pamiątkowa ofiarowana Prof. B. Młodziejowskiemu, Wyd. WSPol. Szczytno 2008, s. 45 i nast.

[113] Won-Joon Lee,C.M. Wilkinson, Hyeon-Shik Hwang, *An Accuracy Assessment of Forensic Computerized Facial Reconstruction Employing Cone-Beam Computed Tomography from Live Subjects,* Journal of Forensic Sciences, marzec 2012, Vol. 57, Issue 2, s. 318 i nast.

„plastrów” o monochromatycznej barwie. Jest to jeden z nielicznych wad zastosowania takiego obrazu w kryminalistyce, gdyż nie pozwala na analizę tak istotnego elementu jakim jest barwa. W przypadku skóry człowieka rozwiązaniem jest zastosowanie modelowania za pomocą techniki SFM i „powleczenie” geometrii wykonanej na podstawie tomograficznego obrazu teksturowaną „skórą”. Warunkiem przeprowadzenia tego procesu jest identyczne ułożenie zwłok w trakcie wykonania badania TK i fotografowania na potrzeby techniki SFM. W związku z powyższym obydwie z tych czynności winno wykonać się jedna po drugiej, nie przemieszczając zwłok na stole urządzenia tomograficznego. Konieczne staje się również wykonanie podwójnego obrazowania zarówno tomograficznego jak również SFM w związku z potrzebą przedstawienia obrazu zarówno przodu jaki tyłu ciała. W wyniku połączenia obydwu technik modelowania, możliwe jest porównanie obrażeń wewnątrz narządowych z ich kolorem oraz umiejscowieniem na powłokach skóry. Możliwe staje się również dopasowanie kanałów powstałych w skutek postrzału lub użycia ostrych narzędzi (badanie tomograficzne) z ich powierzchniowym kolorowym obrazem przerwania powłok skóry.

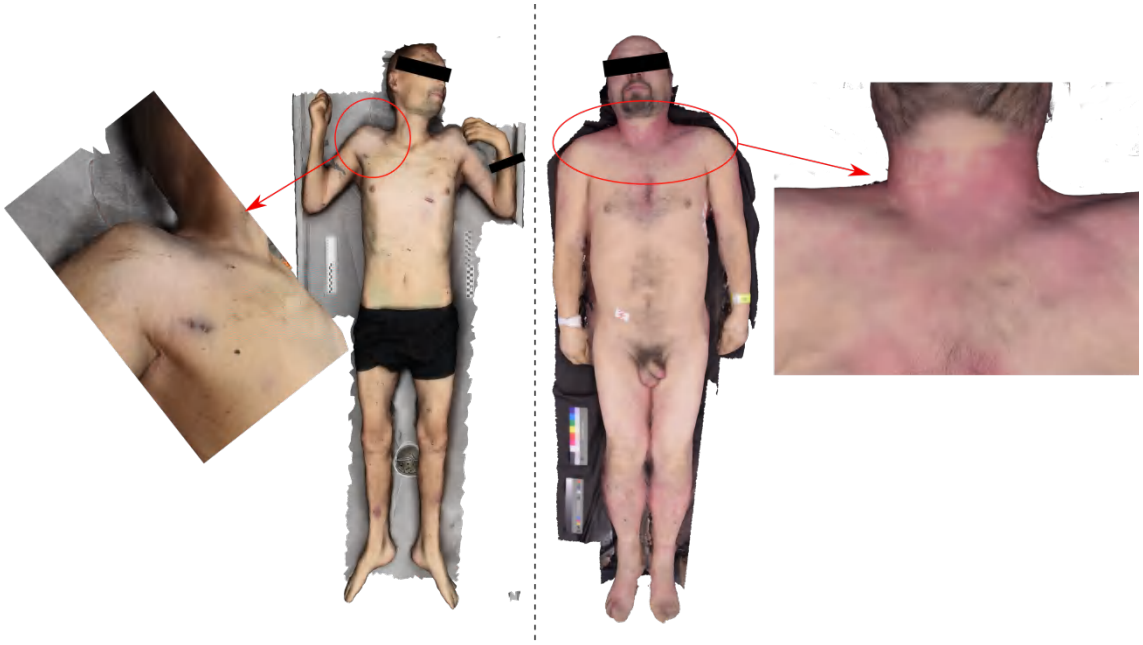
- **Wykonywanie szkiców obrażeń.**

  Praktyka wykonywania sekcji zwłok już od początku wprowadzała jako jeden z istotnych elementów protokołu sekcyjnego, szkic obrazujący anatomiczne, schematyczne przedstawienie części ciała na których podczas sekcji zwłok lekarz nanosił z wykorzystaniem różnych kolorów usytuowanie, kształt oraz rozmiar obrażeń zewnętrznych i zmian pośmiertnych takich jak plamy opadowe. Schematy te nanoszone w początkowym okresie były bezpośrednio do protokołów sekcyjnych za pomocą pieczęci gumowych. W późniejszym okresie, aż do czasów obecnych funkcjonują jako drukowane załączniki. Zastosowanie szkiców pozwala podczas sekcji zwłok jak również podczas postępowania przygotowawczego i sądowego zwizualizować opisane szczegółowo w protokole obrażenia, a co za tym idzie obrazowo i zrozumiale przedstawić je osobom nie posiadającym wiedzy specjalistycznej z zakresu medycyny sądowej. Szkice te, jak wspomniano, są schematycznym przedstawieniem sylwetki człowieka oraz poszczególnych części ciała, co w związku ze zróżnicowaną budową ciała związaną z takimi elementami jak otyłość czy duża muskulatura ciała nie odzwierciedla realnego ich wyglądu.



Ryc. Nr 88 – Szkice stosowane standardowo podczas obrazowania sekcji zwłok (po prawej szkic z autopsji J.F. Kenediego.

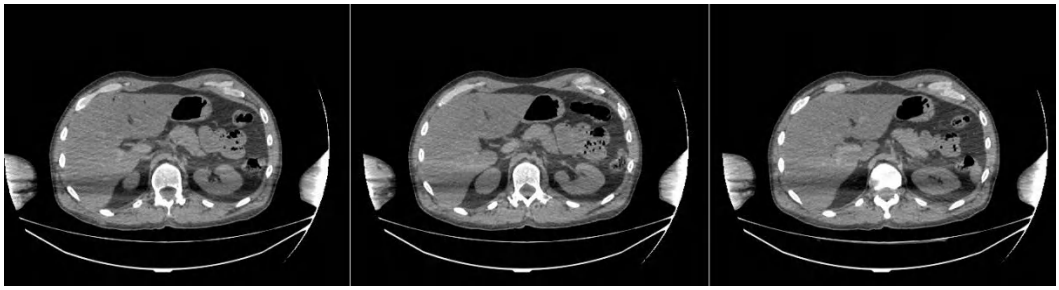
Zastosowanie modelowania 3D ciała przed przystąpieniem do sekcji zwłok pozwala na uzyskanie rzutów całego ciała, jak również jego poszczególnych elementów z szczegółowym odwzorowaniem zabarwienia skóry, występujących na ciele obrażeń oraz cech szczególnych jak zarost, owłosienie, blizny, znamiona czy tatuaże. Uzyskane rzuty przedstawiają ciało zgodnie z jego budową. Ponadto dzięki możliwości obrotu ciała o dowolny kąt oraz wykonania zbliżeń możliwe jest zobrazowanie w protokołach elementów nie występujących w standardowym zbiorze schematów. Tak samo jak w przypadku „powlekania skórą" modeli uzyskanych za pomocą tomografu w wypadku obrazowania 3D na potrzeby wygenerowania szkiców obrażeń niezbędne jest wykonanie obrazowania z dwóch stron (zwłoki ułożone na plecach, zwłoki ułożone na brzuchu) w celu uzyskania obrazu całościowego. Należy stwierdzić, że czynności wykonania modeli na potrzeby „powlekania skórą", jak i generowania szkiców obrażeń są identyczne w związku z powyższym zasadne jest wykonanie tej czynności raz, a uzyskany rezultat wykorzystać do dwóch wyżej wskazanych celów. W obydwu przypadkach najlepszą techniką wykonania modeli 3D jest technika fotogrametryczna SFM dzięki której możliwe jest uzyskanie fotorealistycznych modeli teksturowanych.



Ryc. Nr 89 – Przykładowe szkice wykonane z wykorzystaniem techniki modelowania SFM z oznaczonymi obrażeniami oraz zmianami pośmiertnymi przedstawionymi w rzutach szczegółowych.

1.3) Modelowanie na potrzeby medycyny sądowej w wykorzystaniem obrazów tomograficznych

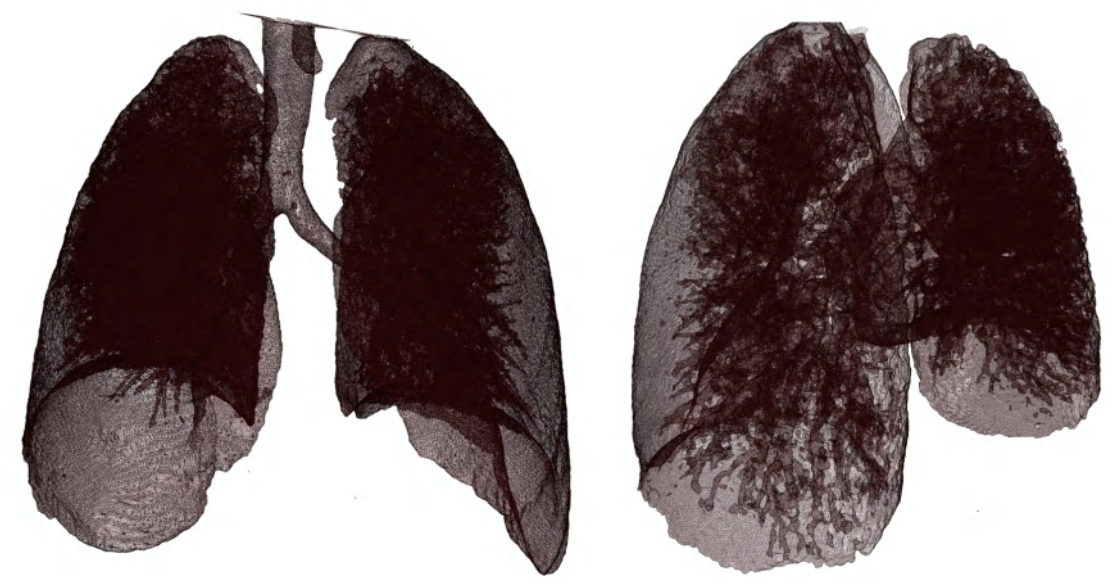
Obrazowanie tomograficzne ciała człowieka przez ostatnie lata rozwinęło się w sposób umożliwiający dokonanie diagnozowania nawet najmniejszych elementów ciała człowieka. Sposób uzyskania obrazów tomograficznych można w największym skrócie opisać jako uzyskanie obrazów przekroju ciała człowieka o zadanej grubości. Na potrzeby wykonania obrazowania całego lub części ciała wykonywana jest seria takich obrazów reprezentujących płaszczyzny równoległe w stosunku do siebie uzyskiwane w równych od siebie odległościach. Odległości te mogą wyrażać się w wielkości kilku milimetrów do nawet dziesiątej części milimetra. W zależności od rodzaju obrazowania uzyskujemy przekroje najczęściej monochromatyczne, gdzie poszczególne elementy ciała człowieka reprezentowane są przez obszary o tożsamym poziomie szarości.



Ryc. Nr 90 – Trzy kolejne obrazy tomografii komputerowej o dokładności 1mm przedstawiające obraz klatki piersiowej.

Na potrzeby medycyny konwencjonalnej diagnozowanie z wykorzystaniem obrazów tomograficznych odbywa się poprzez analizę kolejnych dwuwymiarowych obrazów płaszczyzny i zmiany kształtu i koloru danego elementu. Stosunkowo rzadko zdarza się że w diagnozie wykorzystywane są modele przestrzenne. Jednakże istnieje możliwość ich generowania. Opiera się ona na znanej grubości warstwy reprezentowanej przez obraz dwuwymiarowy oraz znanej odległości do kolejnego przekroju. Dzięki tym cechom metryczności obrazu tomograficznego oraz zmianie kształtu w warstwach poszczególnych elementów ciała, reprezentowanych przez ten sam kolor, istnieje możliwość ich wzajemnego złożenia, w którym tak jak w przypadku drukarek 3D nadrukowywana jest dwuwymiarowa warstwa jedna po drugiej. W ten sposób uzyskuje się pełnowartościowy, metryczny oraz zawierający nie tylko warstwę wierzchnią, lecz całą strukturę model 3D. Dzięki możliwości zaznaczenia obszarów o różnym stopniu szarości oraz wskazaniu ich jako oddzielnych struktur istnieje możliwość odtworzenia nawet tak skomplikowanych struktur jak mózg czy serce[114].

[114] K.J. Woźniak, A. Moskała, P. Kluza, K. Romaszko, O. Lopatin, E. Rzepecka-Woźniak, *Whole-body post-mortem computed tomography angiography of a newborn revealing transposition of great arteries,* International Journal of Legal Medicine, Listopad 2015, vol.129, s. 1253 I nast.



Ryc. Nr 91 – Model płuc z widocznymi elementami wewnątrz narządowymi wykonany z użyciem obrazu z tomografu komputerowego.

Rodzaje obrazowania tomograficznego

- **Tomografia komputerowa**

  Obrazowanie polegające na wykorzystaniu promieniowania X czyli rentgenowskiego. Tomograf zbudowany jest z lamp rentgenowskich oraz umieszczonych po przeciwnej stronie detektorach rejestrujących osłabienie emitowanego promieniowania po przejściu przez badany obiekt (najczęściej ciało człowieka). Układ lamp i detektorów obraca się spiralnie wokół badanego obiektu zapisując z zadaną dokładnością siłę promieniowania zarejestrowaną przez detektor. Następnie następuje wyliczenie przez komputer o dużej mocy obliczeniowej pliku objętościowego, czyli danych określających z jaką siłą w danym punkcie badanej przestrzeni absorbowane jest promieniowanie X. Dzięki temu procesowi uzyskiwany jest monochromatyczny obraz przedstawiający badany obiekt jako sumę punktów o określonym poziomie przenikliwości promieniowania. Dzięki tak zapisanemu plikowi objętościowemu możliwe jest uzyskanie przekrojów ciała w dowolnie zadanej płaszczyźnie oraz rekonstruowanie elementów ciała w postaci obiektów trójwymiarowych.

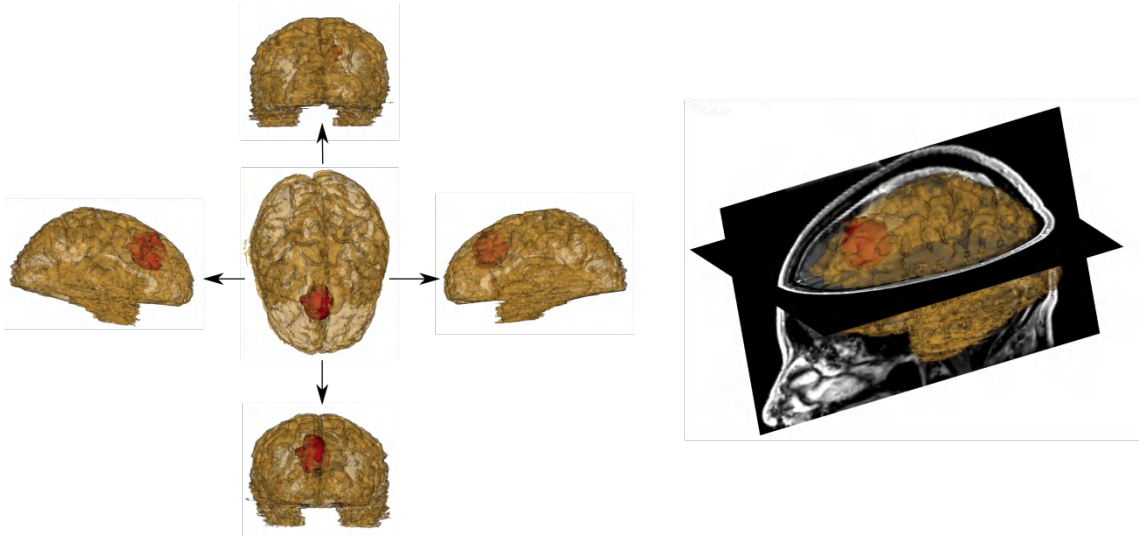
  W celu lepszego zobrazowania niektórych części ciała podczas wykonywania obrazowania za pomocą tomografu komputerowego wykorzystywany jest kontrast, czyli substancja wprowadzona do organizmu cechująca się większą lub mniejszą

absorbcją promieniowania X w stosunku do elementów ciała znajdującego się w pobliżu. Dzięki takiemu zabiegowi możliwe jest uzyskanie precyzyjnie wyizolowanego obrazu badanego organu, a dzięki temu jego lepsza diagnostyka, analiza oraz rekonstrukcja 3D. Przykładami takiego zastosowania tomografii komputerowej jest angioTK, w którym to osobom badanym następuje wstrzyknięcie do krwioobiegu substancji kontrastującej, a dzięki temu precyzyjne uwidocznienie naczyń krwionośnych. Kontrast stosuje się również przy badaniu przebiegu układu pokarmowego. W tym wypadku płyn ze środkiem kontrastującym badany wypija przed obrazowaniem w celu dokładnego odtworzenia obrazu i przebiegu przełyku, żołądka oraz jelit. Podanie kontrastu jak widać w wyżej wymienionych przypadkach możliwe jest jedynie osobie żywej, u której funkcjonują wskazane wyżej układy. W przypadku badania TK osób nieżyjących w związku z brakiem pracy układu środek kontrastujący nie będzie w stanie być równomiernie rozprowadzony po badanym układzie.

- **Rezonans magnetyczny**

  Obrazowanie tomograficzne z wykorzystaniem rezonansu magnetycznego [**RM** (rezonans magnetyczny), **MRI** (ang. magnetic resonance imaging), **NMR** (ang. nuclear magnetic resonance), **MR** (ang. magnetic resonance)] opiera się na zjawisku magnetycznego rezonansu jądrowego. W celu przeprowadzenia badania obiekt umieszczany jest w silnym polu magnetycznym oraz poddany oddziaływaniu fal radiowych określonej częstości. Jądra atomowe poddane takiemu oddziaływaniu absorbują energię tych fal aby następnie oddać ją emitując fale o tej samej częstości (zjawisko rezonansu). Dzięki czujnikom umieszczonym w urządzeniu możliwe jest precyzyjne zlokalizowanie i zarejestrowanie siły z jaką emitowane są fale radiowe, a tym samym możliwa jest rekonstrukcja położenia obiektów o różnym charakterze emisji. Szybkość emisji jest odmienna dla tłuszczów, wody czy białek. Zależność ta pozwala na w prosty sposób rozróżnić typy tkanek. Tak jak w wypadku tomografii komputerowej w wyniku obrazowania uzyskujemy pojemnościowy plik gdzie poszczególne rodzaje organów reprezentowane są monochromatycznym obrazem o różnych skalach szarości. Rezonans magnetyczny pozwala na precyzyjniejsze obrazowanie tkanek miękkich w stosunku do badania TK dlatego częściej wykorzystywany jest w diagnostyce nowotworów oraz zmian występujących w

narządach ciała. Również w przypadku badań RM stosowane są środki kontrastujące w celu dokładniejszego zobrazowania wybranych narządów.



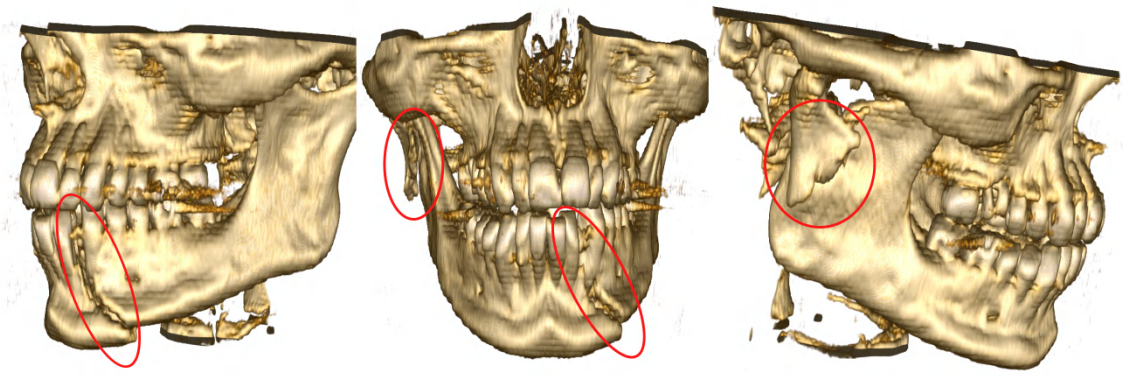
Ryc. Nr 92 – Widok modelu 3D mózgu uzyskanego wskutek obróbki obrazów uzyskanych za pomocą rezonansu magnetycznego. W modelu widoczny guz mózgu oznaczony kolorem czerwonym. Po prawej stronie model mózgu z nałożonymi obrazami dwuwymiarowymi (pionowym i poziomym) na wysokości ich występowania w modelu.

Pośród wielu zastosowań modelowania 3D za pomocą obrazowania tomograficznego na szczególne wyróżnienie zasługują:

- **Modelowanie uszkodzonych organów oraz kości.**

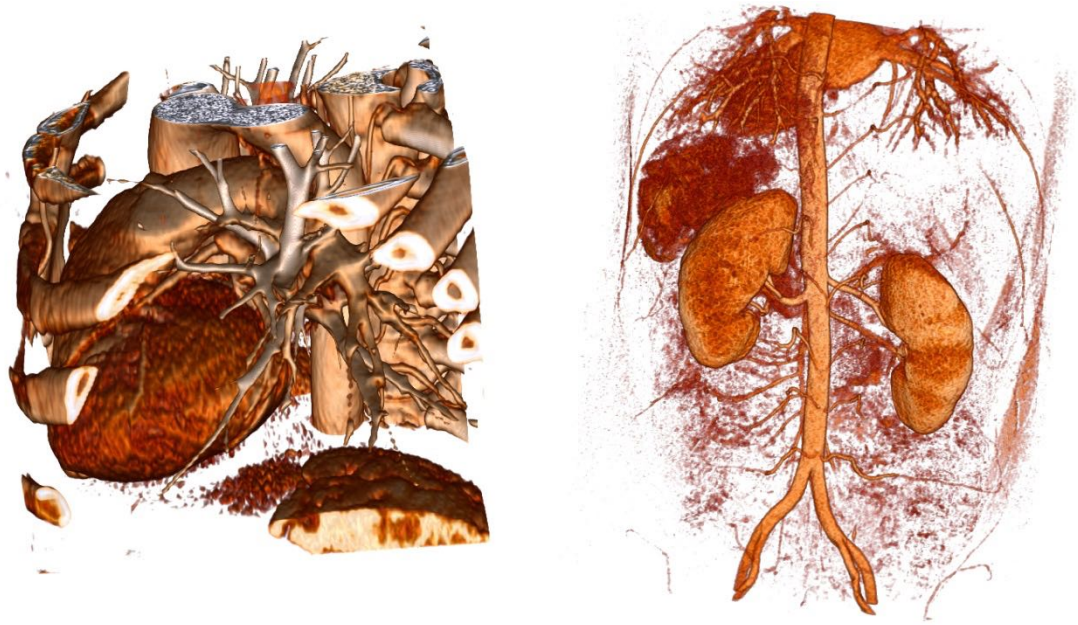
  Określenie przebiegu zdarzenia oraz przyczyny śmierci bardzo często wymaga określenia obrażeń jakie powstały na ciele oraz mechanizmu ich powstania. Standardowo czynności te wykonywane są w czasie klasycznej sekcji zwłok. Jednakże w takim w wypadku trudne do określenia jest położenie fragmentów odłamanych w wyniku odniesionych obrażeń kości. Z wykorzystaniem obrazowania tomograficznego możliwe jest, nie tylko modelowanie odłamanych fragmentów kostnych lecz również określenie położenia każdego z nich. Pozwala to na dokonanie analizy siły powodującej obrażenie i kierunku jej przyłożenia[115]. Ponadto dzięki możliwości wykonania badania na całość możliwa jest rekonstrukcja kształtu pierwotnego kości. Metoda ta jest analogiczna do badania na całość rozbitej szyby i tak jak w jej przypadku umożliwia określenie kształtu przedmiotu powodującego obrażenie oraz punktu przyłożenia siły.

[115] M. Grassberger, A. Gehl, K. Puschel, E.E. Turk, *3D reconstruction of emergancy cranial computed thomography scans as a tool in clinical forensic radiology after survived blunt head trauma – Raport of two cases, Forensic Science International, Kwiecień 2011, Volume 207, Issues 1-3, s. 19 I nast.*



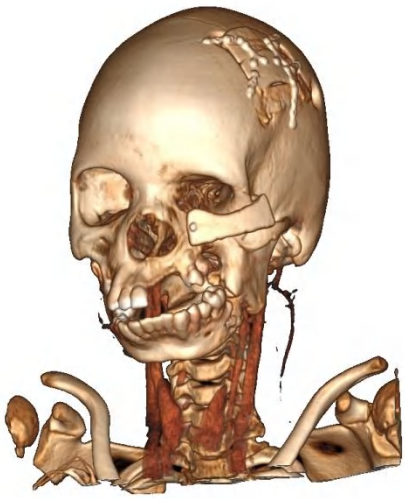
Ryc. Nr 93 – Model żuchwy wykonany z wykorzystaniem obrazowania TK z zaznaczonymi miejscami jej złamania.

Obrazowanie tomograficzne umożliwia również modelowanie poszczególnych organów ciała bez konieczności ich sekcjonowania. W trakcie analizy takiego materiału określane jest miejsce i stopień uszkodzenia organu, wylewy krwi jak również ułożenie uszkodzeń w stosunku do powłok ciała, co nie jest możliwe do wykonania przy standardowym modelu wykonywania sądowo-lekarskiej sekcji zwłok[116].



Ryc. Nr 94 – Ograny wewnętrzne wymodelowane za pomocą obrazowania tomograficznego po lewej serce, po prawej nerki.

[116] R.M. Carew, R.M. Morgan, C. Rando, *A Preliminary Investigation into the Accuracy of 3D Modeling and 3D Printing in Forensic Anthropology Evidence Reconstruction,* Jurnal of Forensic Sciences. Marzec 2019, Vol. 64 No.2, s.342 I nast.



Ryc. Nr 95 – Model trójwymiarowy wykonany z wykorzystaniem tomografii komputerowej przedstawiający rekonstrukcję twarzy oraz pooperacyjne uszkodzenia czaszki.

- **Modelowanie tuneli powstałych wskutek penetracji ciała przez ciała obce.**

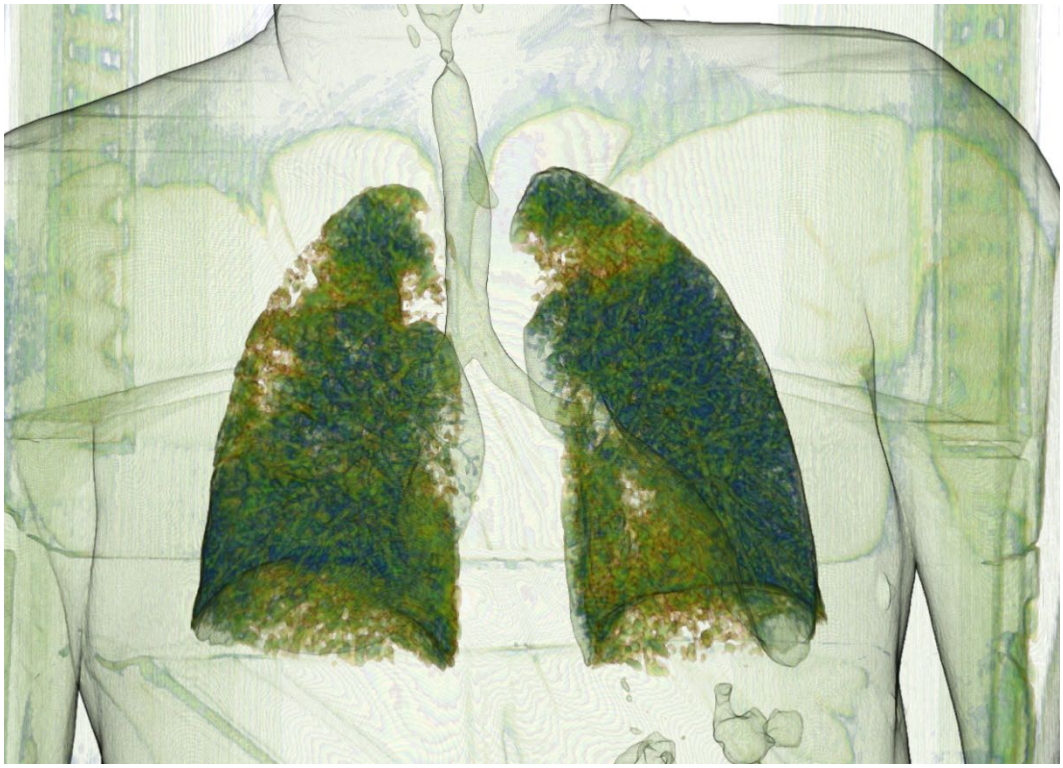
  W oparciu o odwrotność zasady rekonstruowania organów i kości istnieje możliwość obserwowania w organizmie człowieka przestrzeni powietrza. Można je zaobserwować wpłucach, przewodzie pokarmowym oraz w przypadku postępujących przemian pośmiertnych w przestrzeniach wypełnionymi gazami gnilnymi. Bardzo cenną możliwością obserwowania przestrzeni powietrza w ciele jest obserwacja przestrzeni powstałych w skutek penetracji ciała człowieka przez ciała obce. Daje to możliwość rekonstrukcji kanałów ran postrzałowych, ran kłutych czy ran powstałych w skutek penetracji ciała przez odłamki urządzeń wybuchowych. Dzięki takim analizom można uzyska wyniki w postaci:

  - pomiarów długości kanału rany;
  - kierunek przemieszczania się ciała obcego w ciele;
  - kontakt i uszkodzenia organów wewnętrznych z ciałem obcym.

  Wyniki te w trakcie badań kryminalistycznych umożliwiają określenie elementów istotnych dowodowo do rekonstrukcji miejsca zdarzenia. Spośród nich należy wymienić:

  - długość i kształt przedmiotu, którym zadano rany kłute;
  - kierunek z jakiego został dany strzał;
  - główną przyczynę zgonu (np. przerwanie worka osierdziowego serca przez ciało obce).

W postępowaniu przygotowawczym i sądowym informacje te są niezwykle cenne, gdyż niejednokrotnie są jedyną podstawą do znalezienia narzędzia zbrodni oraz doprowadzenia organów ścigania do sprawcy.



Ryc. Nr 96 – Przestrzenie powietrza w ciele człowieka (płuca oraz zawierające gazy elementy przewodu pokarmowego.

W trakcie analizowania przestrzeni powietrznych występujących w jamach ciała należy zwrócić szczególną uwagę na przemiany gnilne postępujące w zwłokach. Wytwarzane w tym procesie gazy obejmują swoim występowaniem całe ciało. Powstałe w ten sposób puste przestrzenie utrudniają uzyskanie prawidłowego obrazu tunelu rany powstałej na skutek penetrowania ciała przez ciało obce. W związku z powyższym zasadnym jest wykonanie obrazowania tomograficznego zwłok zaraz po ich przewiezieniu do zakładu medycyny sądowej.

- **Modelowanie oraz przestrzenne przedstawienie ciał obcych w organizmie człowieka.**

  Kolejnym niemniej istotnym zastosowaniem obrazowania tomograficznego na potrzeby medycyny sadowej jest lokalizowanie w ciele ludzkim ciał obcych. W przypadku pojedynczych ciał obcych o dużych gabarytach lokalizacja ich nie stanowi większego

problemu w trakcie sekcji zwłok. Jednakże duża liczba obiektów oraz ich mały rozmiar mogą w znacznym stopniu utrudnić odnalezienie wszystkich ciał obcych w ciele. W ten sposób można stracić niezwykle cenny materiał dowodowy w postaci kul, elementów urządzeń wybuchowych i tym podobnych. W Polsce zależność tą zauważono już w latach trzydziestych XIX w.. W 1930 r. w Krakowie doktor Stefan Ryglicki wykonał prześwietlenie zwłok w znacznym stanie rozkładu. W wyniku badania ujawniony został pocisk znajdujący się w rejonie miednicy. Obrazowanie tomograficzne poza możliwością dwuwymiarowego stwierdzenia obiektu na pewnej „wysokości" ciała pozwala na jego przestrzenne zlokalizowanie. Informacje takie pozwalają na precyzyjną lokalizację ciała obcego, a następnie jego wydobycie z ciała podczas sekcji zwłok. Zabieg taki niweluje możliwość utraty cennego materiału dowodowego w skutek przeoczenia i nie wydobycia go z ciała w czasie sekcji.



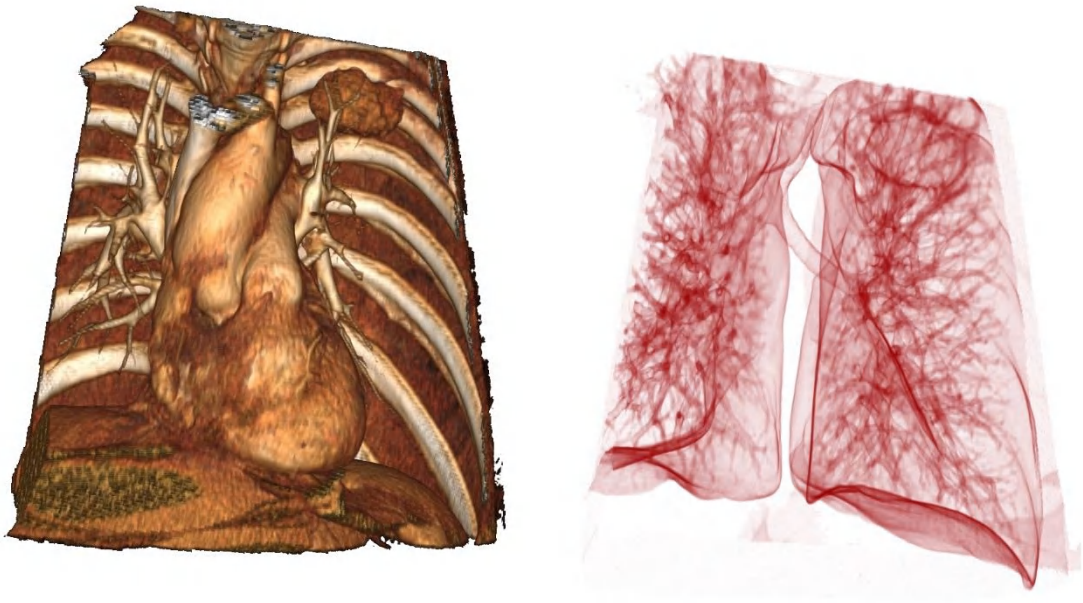
Ryc. Nr 97 – Ciało obce w postaci metalicznych implantów w żuchwie. Od strony lewej: lokalizacja implantów połączony widok modeli powłok skórnych, czaszki ora implantów, widok modelu powłok skórnych, widok modelu czaszki oraz widok modelu implantów.

Ponadto w wypadku występowania wielu drobnych ciał obcych penetrujących ciało ludzkie obraz ich rozmieszczenia w ciele może pozwolić zrozumieć przebieg zdarzenia.

- **Modelowanie zmian patologicznych.**

  Medycyna sądowa zajmuje się nie tylko wyjaśnieniem przyczyn śmierci powstałych w skutek działania przestępnego. Bardzo często jej zadaniem jest wyjaśnieniem zgonów nagłych w których należy wskazać przyczynę śmierci celem wykluczenia działania przestępnego. W tym wypadku możliwe jest również zastosowanie obrazowania tomograficznego celem wskazania przyczyny śmierci. Jeżeli śmierć nastąpiła wskutek

patologicznych zmian w organizmie jak guzy, narośla czy tętniaki możliwe jest ich przedstawienie w postaci modeli 3D. Takie przedstawienie zmian patologicznych może w zrozumiały i obrazowy sposób przedstawić przyczynę śmierci nawet osobom nieposiadającym specjalistycznej wiedzy z zakresu medycyny sądowej.



Ryc. Nr 98 – Model 3D guza umiejscowionego w lewym płacie płuca. Po lewej widok klatki piersiowej z widocznym sercem oraz obrazem guza w lewym płacie serca. Po prawej widok przestrzeni powietrznych z widocznym umiejscowieniem guza w lewym płacie płuca.

2) Analiza możliwości zastosowania technik 3D w medycynie sądowej podczas analizy przykładowych zdarzeń o charakterze kryminalnym

2.1) Wypadek drogowy

2.1.1) Skaner laserowy

- Skanowanie miejsca zdarzenia
  - Uwidocznienie oraz możliwość precyzyjnego pomiaru śladów oraz położenia zwłok względem miejsca, w którym nastąpiło uderzenie.
  - Uwidocznienie pojazdu oraz śladów na nim się znajdujących umożliwiające porównanie obrażeń na ciele do kształtu pojazdów.
- Uwidocznienie ułożenia zwłok umożliwiające pełniejszą analizę obrażeń (zarówno zwłok znajdujących się poza pojazdami jak i zwłok wewnątrz pojazdów).

2.1.2) Skanowanie metodą fotogrametryczną SFM

- Skanowanie miejsca zdarzenia
  - Skanowanie miejsca z wykorzystaniem kamery wideo lub aparatu fotograficznego pozwalające na uwidocznienie śladów dających możliwości analizy powstania obrażeń.
  - Skanowanie miejsca z wykorzystaniem bezzałogowego statku powietrznego pozwalające na zobrazowanie wielkopowierzchniowych miejsc zdarzenia o dużej ilości ofiar lub o dużej dynamice. Daje to możliwość wygenerowania takich elementów jak mapa rozmieszczenia zwłok.
- Skanowanie zwłok w miejscu ich znalezienia umożliwiające precyzyjne przedstawienie ich ułożenie względem otoczenia. Modelowanie możliwe jest do wykonania zarówno na zewnątrz jak i wewnątrz środków transportu biorących udział w zdarzeniu.
- Skanowanie pojazdów biorących udział w zdarzeniu po kątem ich kształtu oraz śladów na nich się znajdujących celem porównania ich z obrażeniami na ciele.
- Skanowanie twarzy ofiar wypadku drogowego na potrzeby identyfikacyjne. Daje możliwość dokonania „cyfrowych" wstępnych okazani zwłok. Modelowanie twarzy powinno się wykonać bezpośrednio na miejscu zdarzenia oraz w warunkach prosektorium po umyciu zwłok.
- Skanowanie z użyciem techniki fotogrametrycznej SFM modelu teksturowanego ciała na potrzeby szkiców sekcyjnych, przedstawienia szczegółowo obrażeń zewnętrznych oraz powleczenia „skórą" wygenerowanych modeli objętościowych z wykorzystaniem obrazowania tomograficznego.

2.1.3) Modelowanie z wykorzystaniem obrazowania tomograficznego

- Modelowanie ciała pod kątem ustalenia obrażeń ich położenia oraz porównania miejsc ich wykonania do elementów związanych ze zdarzeniem takie jak pojazdy.
- Modelowanie uszkodzenia organów wewnętrznych celem obrazowego przedstawienia ich na potrzeby postępowania przygotowawczego i sądowego[117].

[117] W. Baier, M.J. Donnelly, M. Payne, M.A. Williams, *A Holistic Multi-Scale Approach to Using 3D Scanning Technology in Accident Reconstruction*, Jurnal of Forensic Science, Wrzesień 2020, vol.65. No.5, s 1774 i nast.

2.2) Zdarzenie z bronią palną

2.2.1) Skaner laserowy

- Skanowanie i rekonstrukcja miejsca zdarzenia pod kątem określenia miejsca dania strzału (możliwe określenie odległości i kątów oraz wstawienie na model krzywych balistycznych na podstawie śladów fizycznych na miejscu zdarzenia jak również śladów pamięciowych świadków oraz innych osób biorących udział w zdarzeniu).
- Skanowanie pod kątem zarejestrowania ułożenia zwłok w miejscu ich ujawnienia (pozwala na wnioskowanie o udziale osób trzecich w zdarzeniu oraz w związku z występowaniem śladów użycia broni palnej na ciele ułatwia określenie punktu dania strzału).

2.2.2) Skanowanie metodą fotogrametryczną SFM

- Rekonstrukcja miejsca zdarzenia z wykorzystaniem obrazów dwuwymiarowych za pomocą aparatu fotograficznego lub kamery filmowej (pozwala na obrazowanie miejsc zdarzeń o stosunkowo małym rozmiarze, takich jak pojedynczy pokój lub ograniczona przestrzeń zewnętrzna. Dzięki modelowaniu możliwe jest określenie kąta i toru pocisku na podstawie zarejestrowanych na modelu śladów fizycznych.)
- Rekonstrukcja metodą fotogrametryczną z wykorzystaniem obrazów dwuwymiarowych uzyskanych z wykorzystaniem UVA (*bezzałogowych statków powietrznych*) miejsc o rozległym charakterze. (dzięki rekonstrukcji na tej podstawie możliwe jest próba określenia toru przelotu pocisku na dużym obszarze z uwzględnieniem ukształtowania terenu oraz obiektów na nim się znajdujących. Wykorzystanie dronu umożliwia rekonstrukcję miejsca zdarzenia rozciągniętego nawet na odległość kilku kilometrów.)
- Generowanie precyzyjnych modeli 3D przedstawiających ułożenie zwłok oraz śladów balistycznych na nich się znajdujących w miejscu ich znalezienia wraz z przedmiotami znajdującymi się w bezpośrednim pobliżu zwłok (umożliwia wnioskowanie o udziale osób trzecich w zdarzeniu. Pozwala na rekonstrukcję prawdopodobnego przebiegu zdarzenia na podstawie zarejestrowanych śladów)
- Precyzyjne modelowanie śladów balistycznych na ciele z wykorzystaniem obrazów dwuwymiarowych uzyskanych z aparatu fotograficznego z zamontowanym obiektywem typu macro. (umożliwia dokładną analizę śladów balistycznych na ciele człowieka pod kątem określenia toru lotu pocisku, a także na podstawie znanych

kryminalistyce cech szczególnych śladów balistycznych określenie prawdopodobnego zakresu odległości z jakiej został dany strzał)

- Precyzyjne skanowanie obrażeń ciała za pomocą techniki fotogrametrycznej SFM w warunkach prosektorium (pozwala na uwidocznienie precyzyjne obrażeń ciała oraz wnioskowanie na ich podstawie o ich wieku, mechanizmie powstania, przyżyciowym lub pośmiertnym charakterze, jak również powiązanie tych cech do możliwości ich powstania w miejscu ujawnienia zwłok.)
- Skanowanie twarzy ofiar oraz cech charakterystycznych ciała na potrzeby identyfikacyjne. Daje możliwość dokonania „cyfrowych" wstępnych okazani zwłok. Modelowanie twarzy powinno się wykonać bezpośrednio na miejscu zdarzenia oraz w warunkach prosektorium po umyciu zwłok.
- Skanowanie z użyciem techniki fotogrametrycznej SFM modelu teksturowanego ciała na potrzeby szkiców sekcyjnych, przedstawienia szczegółowo obrażeń zewnętrznych oraz powleczenia „skórą" wygenerowanych modeli objętościowych z wykorzystaniem obrazowania tomograficznego.

2.2.3) Modelowanie z wykorzystaniem obrazowania tomograficznego

- Modelowanie przestrzeni powietrznych w ciele ludzkim celem określenia tuneli ran powstałych na skutek użycia broni palnej (określenie tuneli ran pozwala na rekonstrukcje kąta przelotu poszczególnych pocisków przez ciało ludzkie. Przy wielokrotnym postrzeleniu umożliwia również dopasowanie ran wlotowych do ran wylotowych powstałych od jednego pocisku. Kąty przelotu pocisków przez ciało pozwalają również na wnioskowanie o możliwości ich samobójczego charakteru lub wskazują na niemożliwość ich powstania wskutek takiego działania.)
- Modelowanie tomograficzne na potrzeby określenia lokalizacji ciał obcych w organizmie (umożliwia lokalizację pocisków oraz ich odłamków w ciele człowieka, dzięki czemu możliwe jest uzyskanie wszystkich elementów pocisku pozostających w ciele na potrzeby identyfikacji balistycznej).
- Modelowanie wnętrza ciała pod kątem powstałych w skutek postrzału obrażeń organów wewnętrznych oraz układu kostnego. Obrazowanie obrażeń pozwala na określenie przyczyny zgonu, jak również stanowi materiał poglądowy do protokołów sekcyjnych oraz pozwala na przedstawienie specjalistycznej wiedzy medyczne w postepowaniu

przygotowawczym i sądowym w sposób obrazowy i zrozumiały dla osób takiej wiedzy nie posiadających.

2.3) Upadek z wysokości

2.3.1) Skaner Laserowy

- Skanowanie miejsca zdarzenia pod kątem precyzyjnego określenia wysokości punktu początkowego z którego nastąpił upadek oraz odległości wertykalnej punktu ujawnienia zwłok od punktu początkowego (wysokość, z której nastąpił upadek pozwala na porównanie obrażeń opisanych w trakcie sekcji z możliwością ich powstania na skutek upadku. Odległość wertykalna, czyli odległość jaką przebyło ciało w poziomie podczas upadku pozwala na wnioskowanie o charakterze zdarzenia i określenie wersji jego przebiegu. Dzięki tej odległości można określić czy do ciała w punkcie początkowym została przyłożona jakaś siła powodująca jego ruch w poziomie. Daje to możliwość próby odkreślenia charakteru zdarzenia jako wypadek, samobójstwo czy zdarzenie z udziałem osób trzecich).
- Modelowanie ułożenia zwłok w miejscu ich znalezienia pod kątem porównania obrażeń do otoczenia oraz przebiegu zdarzenia.

2.3.2) Skanowanie metodą fotogrametryczną SFM

- Fotorealistyczne modelownie 3D ułożenia zwłok w miejscu ich znalezienia.
- Modelowanie obrażeń zewnętrznych powstałych wskutek zdarzenia. (modelowanie powinno być wykonane zarówno w warunkach miejsca zdarzenia jak również w warunkach prosektoryjnych po umyciu zwłok)
- Skanowanie twarzy ofiar oraz cech charakterystycznych ciała na potrzeby identyfikacyjne. Daje możliwość dokonania „cyfrowych” wstępnych okazań zwłok. Modelowanie twarzy powinno być wykonane bezpośrednio na miejscu zdarzenia oraz w warunkach prosektorium po umyciu zwłok.
- Skanowanie z użyciem techniki fotogrametrycznej SFM modelu teksturowanego ciała na potrzeby szkiców sekcyjnych, przedstawienia szczegółowo obrażeń zewnętrznych oraz powleczenia „skórą” wygenerowanych modeli objętościowych z wykorzystaniem obrazowania tomograficznego.

2.3.3) Modelowanie z wykorzystaniem obrazowania tomograficznego

- Modelowanie obrażeń organów wewnętrznych oraz obrażeń układu kostnego na potrzeby określeni przyczyny zgonu oraz wskazania czy powstałe obrażenia powstały wskutek upadku z wysokości (wykonanie modeli 3D pozwala na wykorzystanie ich obrazu w protokołach sekcyjnych jak również stanowią materiał poglądowy pozwalający na obrazowe przedstawienie specjalistycznej wiedzy medycznej).

2.4) Zabójstwa z użyciem narzędzi niebezpiecznych (nóż, narzędzia tępe)

2.4.1) Skaner Laserowy

- Modelowanie miejsca zdarzenia pod kątem rekonstrukcji zdarzenia.
- Modelowanie powierzchni, na których występują plamy krwawe pod kątem określenia mechanizmu powstania plam, ich charakteru oraz rekonstrukcji zdarzenia na podstawie źródeł krwawienia i typu zastosowanego narzędzia zbrodni. (modelowanie trójwymiarowe pozwala na określenie źródła krwawienia w przestrzeni dzięki tym informacja można określić ułożenie ciała w czasie zadawanych ciosów jak również ze względu na charakter plam krwawych określić rodzaj użytego narzędzia. Możliwe jest również wytypowanie plam krwawych mogących pochodzić od sprawcy zdarzenia, a powstałych na skutek działań obronnych ofiary.)
- Modelowanie ułożenia zwłok pozwalające w porównaniu z obrażeniami oraz innymi śladami fizycznymi ujawnionymi na miejscu zdarzenia na dokonanie analizy pod kątem odpowiedzi na pytanie czy do zabójstwa doszło w miejscu ujawnienia zwłok, czy może zwłoki zostały przeniesione.

2.4.2) Skanowanie metodą fotogrametryczną SFM

- Fotorealistyczne modelowanie 3D ułożenia zwłok wraz z przedmiotami znajdującymi się w ich bezpośrednim pobliżu.
- Modelowanie miejsc zdarzeń o małej powierzchni (pojedyncze pomieszczenie lub ograniczony zasięgiem miejsce zdarzenia znajdujące się w terenie)
- Modelowanie narzędzia zbrodni celem dokonania analizy porównawczej narzędzia do obrażeń powstałych na i wewnątrz ciała (modelowanie narzędzia zbrodni powinno być wykonane w warunkach kontrolowanych to jest w laboratorium kryminalistycznym,

zakładzie medycyny sądowej lub siedzibie organu ścigania wykonującego analizę. Czynność skanowania powinna być wykonywana w ramach oględzin rzeczy, a sam proces wykonywania modelu dokładnie opisany w protokole.)

- Szczegółowe modelowanie 3D obrażeń zewnętrznych znajdujących się na ciele celem wykonania analizy porównawczej obrażeń z typowanym narzędziem zbrodni (modelowanie ze względu na przemiany pośmiertne powinno wykonać się zarówno w miejscu zdarzenia jak i w warunkach zakładu medycyny sadowej po umyciu zwłok).
- Precyzyjne modelowanie powierzchni na których występują plamy krwawe celem wyliczeń kątów oraz dynamiki tworzenia się śladów przez pojedyncze krople krwi padające na płaszczyznę (wykonanie precyzyjnych modeli umożliwiających zobrazowanie i zwymiarowanie nawet pojedynczych kropli krwi pozwala na dokonanie analizy źródła krwawienia oraz typowanie śladów mogących pochodzić od sprawcy zdarzenia. Modelowanie plam krwawych wymaga zastosowania aparatów fotograficznych o dużej rozdzielczości uzyskanego obrazu oraz zastosowanie optyki fotograficznej umożliwiającej osiąganie dużych powiększeń fotografowanego obrazu.).
- Skanowanie twarzy ofiar oraz cech charakterystycznych ciała na potrzeby identyfikacyjne. Daje możliwość dokonania „cyfrowych" wstępnych okazań zwłok. Modelowanie twarzy powinno się wykonać bezpośrednio na miejscu zdarzenia oraz w warunkach prosektorium po umyciu zwłok.
- Skanowanie z użyciem techniki fotogrametrycznej SFM modelu teksturowanego ciała na potrzeby szkiców sekcyjnych, przedstawienia szczegółowo obrażeń zewnętrznych oraz powleczenia „skórą" wygenerowanych modeli objętościowych z wykorzystaniem obrazowania tomograficznego (pozwala powiązać obrażenia zewnętrzne z obrażeniami wewnętrznymi uzyskanymi za pomocą obrazów tomograficznych).

2.4.3) Modelowanie z wykorzystaniem obrazowania tomograficznego

- Modelowanie obrażeń wewnętrznych oraz uszkodzeń układu kostnego na skutek użycia narzędzia tępego (umożliwia obrazowanie złamań kości, obrażeń powłok skórnych oraz uszkodzenia organów wewnętrznych i wylewów krwi do jam ciała. Dzięki obrazowaniu obrażeń możliwe jest obrazowe przedstawienie w protokołach sekcyjnych przyczyny

śmierci oraz wykonanie analizy porównawczej z zabezpieczonym narzędziem zbrodni)[118].

- Modelowanie przestrzeni powietrznych w ciele obrazujących penetracje ciała obcego wnętrze organizmu (w przypadku ran kłutych zastosowanie przez sprawcę ostrych narzędzi może spowodować utrudnienie w uzyskaniu obrazu tunelu rany, gdyż tkanki będą stykały się ze sobą nie tworząc przestrzeni powietrznych widocznych w obrazie tomograficznym, w tym wypadku szczególna uwagę należy zwrócić na obrażenia organów wewnętrznych ich kształt oraz głębokość).
- Modelowanie obrażeń organów wewnętrznych powstałych na skutek penetracji ciała przez ciała obce. (pozwala na określenie kanału rany w przypadku zastosowania ostrych narzędzi oraz styku powierzchni organów. Dzięki zastosowaniu modelowania obrażeń organów możliwe jest obrazowe przedstawienie przyczyn zgonu związanych z uszkodzeniem organu. W powiązaniu z możliwością występowania śladów narzędzia na układzie kostnym ofiary w związku z odniesionymi ranami kłutymi istnieje możliwość dokonania kompleksowej analizy przebiegu rany oraz porównanie jej z zabezpieczonym oraz wymodelowanym cyfrowo narzędziem zbrodni.).

[118] K. Woźniak, E. Rzepecka-Woźnika, A. Moskała, J. Pohl, K. Latacz, B. Dybała. *Weapon identification using antemortem computed tomography with virtual 3D and rapid prototype modeling-a report in case of blunt force head injury, Forensic Science International, Październik 2012, Volume 222, Issues 1-3, s. 29 i nast.*

Podsumowanie

Zastosowanie modelowania 3D w medycynie sądowej znajduje szerokie zastosowanie począwszy od oględzin zwłok w miejscu ich znalezienia, gdzie możliwe staje się fotorealistyczne przedstawienie miejsca zdarzenia w sposób metryczny, przedstawienie ułożenia zwłok oraz poszczególnych obrażeń. Daje to możliwość zamrożenia miejsca zdarzenia oraz obrazu samych zwłok i wykorzystanie tego obrazu w trakcie sądowo lekarskich sekcji zwłok uzupełniają pogląd na zdarzenie medykom sądowym. Modele te pozwalają również na powtórne przeanalizowanie miejsca zdarzenia w wypadku zaistnienia przesłanek zmieniających dotychczasowy pogląd na sprawę. W przypadku analizy medycznej obrazowanie tomograficzne oraz wykorzystanie fotogrametrycznych modeli teksturowanych znacznie wzbogaca możliwości analityczne wykonywane przez biegłych z zakresu medycyny sądowej oraz daje im do ręki potężne narzędzie wizualizacyjne uzupełniające dotychczasową dokumentacji sekcyjną oraz wykonywane opinie. Należy zauważyć, że w chwili obecnej w Europie trwają zaawansowane prace mające na celu zastąpienie tradycyjnego wykonywania sekcji zwłok przez cyfrowe wykonanie Virtopsy®. Model ten zakłada wykorzystanie obrazowania tomograficznego oraz fotogrametrycznej rekonstrukcji powierzchni ciała do opiniowania sądowo-lekarskiego, bez konieczności wykonywania tradycyjnej sekcji zwłok. Opracowany on został przez zespół szwajcarskich medyków sądowych i należy stwierdzić, że stanowi on przyszłość medycyny sądowej.

ROZDZIAŁ VII
Potencjalne kierunki rozwoju kryminalistyki z wykorzystaniem technologii 3D

1) Problem wartości dowodowej technologii 3D

Jeżeli kryminalistyka podchodzi do wszelkich nowinek technicznych dość entuzjastycznie i chętnie widziała by ich zastosowanie w szeroko rozumianej walce z przestępczością[119], to proces karny jest już bardzo ostrożny, sceptycznie nastawiony do jeszcze nie w pełni sprawdzonych technologii[120]. Pamiętamy jakie dyskusje wywoływało stosowanie w procesie karnym rejestracji magnetofonowej czy zapisu wideo[121]. Problematyka ta dotyka zagadnień dowodu naukowego.

Przez dowód naukowy rozumieć należy dowody dostarczone przez ekspertów i biegłych sądowych, którzy opierając się na swojej wiedzy fachowej, specjalnych metodach i technikach badawczych, przyjętych w danej dyscyplinie naukowej, wydają opinię traktowaną jako środek dowodowy w postępowaniu[122]. Pojęcie dowodu naukowego kojarzy się ze współczesnym rozwojem wiedzy, chociaż jego początki sięgają czasów starożytnych[123].

---

[119] Por. D. Wilk, *Nowoczesne metody fizykochemii kryminalistycznej w procesie karnym,* Wyd. JAK, Kraków 2018, a także M. Zubańska, *Nowe technologie w kryminalistyce. Aspekty prawne i kryminalistyczne,* Wyd. ElSet, Olsztyn 2019.

[120] Por. M. Lipczyńska, *Granice stosowania zdobyczy postępu technicznego w procesie karnym,* Studia Kryminologiczne, Kryminalistyczne i Penitencjarne, Tom 2, Wyd. PWN, Warszawa 1975, s. 243.

[121] Por. K. Krasny, *Zapis magnetofonowy w postępowaniu karnym,* Problemy Praworządności, nr 4, 1979, A. Leciak, *Utrwalanie przebiegu i wyników oględzin miejsca zdarzenia,* Prokuratura i prawo, nr 9, 1998, K. Marszał, *Utrwalanie przebiegu czynności procesowych za pomocą urządzeń audiowizualnych,* [w:] red. T. Widła, Wokół problematyki dokumentu. Księga pamiątkowa dedykowana Prof. A. Felusiowi, Wyd. Uniwersytet Śląski, Katowice 2005, s. 127 i nast., E. Skrętowicz, *Zapis magnetofonowy jako środek dokumentacji procesowej,* Problemy Praworządności, nr 9, 1972.

[122] E Gruza, *Przyczynek do zagadnienia dopuszczalności i wykorzystania „dowodów naukowych" w procesie karnym,* Przegląd Sądowy, 1995, Nr 7/8, s. 85, por. także J. Wójcikiewicz, *Dowód naukowy w procesie sądowym,* Wyd. IES, Kraków 2000.

[123] Por. dzieje dowodu naukowego – J. Kasprzak, *Dowód naukowy i jego kryteria w procesie karnym,* [w:] red. W. Cieślak, S. Steinborn, Profesor Marian Cieślak – osoba, dzieło, kontynuacje, Lex a Wolters Kluwer business, Warszawa 2013, s. 808 i nast.

Jednymi z bardziej rozbudowanych i posiadających długą tradycję są kryteria dowodowe występujące w procesie amerykańskim[124]. Wywodzą się one z obaw przed zbyt pochopnym wprowadzeniem nowoczesnych dowodów naukowych, które mogą być nie do końca sprawdzone, zawierać błędy i stanowić przyczynę niesłusznych skazań. Kryteria te obejmują bardzo szeroki wachlarz zagadnień, począwszy od wiarygodności danej zasady naukowej i opartej na niej metody badań, poprzez zastosowaną procedurę badawczą i wykorzystane oprzyrządowanie, aż do kwalifikacji biegłego[125]. O dopuszczalności dowodu naukowego – dowodu z opinii biegłego, co do jego istoty, decyduje sędzia prowadzący rozprawę. W Stanach Zjednoczonych istnieją dwa testy dopuszczalności, starszy – powszechnej akceptacji z roku 1923 zwany testem Frye'a i standardy Dauberta z roku 1993[126]. Test Frye'a polega na przyjęciu, że dla dopuszczenia danego rodzaju dowodu wymagana jest akceptacja środowiska naukowego w danej dziedzinie. W standardzie Dauberta dowód powinien spełniać określone kryteria:

1. Czy proponowana przez eksperta teoria, metoda, technika jest sprawdzalna?
2. Czy była sprawdzana?
3. Czy była przedmiotem oceny naukowej i publikacji w literaturze fachowej?
4. Czy w stosowanej metodzie, technice znany jest potencjalny poziom błędu?
5. Czy istnieją standardy użycia tej techniki?
6. Czy zastosowana metodologia jest powszechnie akceptowana?[127]

W odróżnieniu od systemu anglo – amerykańskiego, opartego na *common law* i systemie reguł dowodowych, w procesie karnym kontynentalnym, którego model obowiązuje w Polsce, powszechna jest zasada swobodnej oceny dowodów – art. 7 KPK. Panuje przekonanie, że kodeks postępowania karnego nie powinien zamykać się przed postępem naukowym i technicznym, stwarzając nowe możliwości dowodowe w zakresie tzw. dowodów naukowych[128]. Zdaniem S. Waltosia, posługiwanie się w procesie karnym nowymi środkami i technikami badawczymi wymaga jednak dużej ostrożności. Są bowiem dwa niebezpieczeństwa: wykorzystanie środka lub techniki badawczej jeszcze niesprawdzonej oraz

[124] J. Kasprzak, *Dowód naukowy …,* op. cit. s 811.
[125] T. Tomaszewski , *Proces amerykański. Problematyka śledcza*, Wyd. Comer, Toruń 1996, s. 224 – 225.
[126] C. Henderson, *Expert Witness*, [w :] Encyclopedia of Forensic Science, Wyd. Academic Press, London …2000, s.724.
[127] Por. T. Tomaszewski, op. cit., s. 233 – 237.
[128] R. Kmiecik, E. Skrętowicz, *Proces karny – część ogólna*, Kantor Wydawniczy Zakamycze, Kraków 2002, s. 367.

naruszenie podstawowych praw człowieka przez nowe osiągnięcia nauki i techniki[129]. Nauki nie wolno rozwijać kosztem oskarżonego, proces karny nie jest miejscem na sprawdzanie hipotez naukowych[130].

W orzecznictwie polskiego Sądu Najwyższego brak jest generalnych kryteriów dowodu naukowego i jego oceny, co nie oznacza, iż SN tymi problemami się nie zajmował. W licznych orzeczeniach znajdujemy wskazówki, że opinię biegłego należy oceniać w świetle wymagań współczesnej wiedzy, trzeba ustalić, czy rzeczywiście ekspertyza opiera się na jednolitej i powszechnie przyjętej metodzie badawczej. Zaleca się, by sądy wykorzystywały wyniki najnowszych badań naukowych, jeśli tylko te wyniki są dostatecznie pewne oraz nowa metoda cechuje się metodologiczną nienagannością[131].

Zgodnie z zasadą swobodnej oceny dowodów, organ orzekający może dany dowód naukowy przyjąć, jeżeli opierając się na posiadanej wiedzy, doświadczeniu, uzna zaprezentowaną przez biegłego metodę badań za wiarygodną i dopuszczalną. Jeżeli na gruncie polskiego procesu karnego orzecznictwo nie opracowało czegoś w rodzaju standardów Dauberta, z oczywistych względów zajmując się kryteriami i oceną dopuszczalności dowodu naukowego fragmentarycznie, to trzeba się zastanowić, czy owe kryteria i oceny nie wynikają bezpośrednio z przepisów KPK[132].

Ekspertyza wykonywana przy użyciu technik 3D jest wykonywana już od kilku lat i jest powszechnie uznawana jako dowód przez sądy na świecie i w Polsce[133]. Ekspertyza ta, co do zasady, odpowiada regułom amerykańskiego prawa dowodowego i przyjętym standardom. Odpowiada ona także kryteriom i ocenom dowodu naukowego na gruncie polskiego procesu karnego. Nazwa „dowód" jest jednym z najbardziej wieloznacznych wyrażeń w języku potocznym, jak i na gruncie terminologii prawnej i prawniczej. Nazwa dowód jest krótka i dlatego bardzo wygodna, narzuca się niejednokrotnie tak silnie od strony potocznej praktyki językowej, że często niezwykle trudno uniknąć używania jej w różnym znaczeniu[134]. Najogólniej, przez „dowód" należy rozumieć taki fakt, w domniemaniu prawdziwy, który ma służyć za podstawę do wiary w istnienie lub nieistnienie drugiego faktu. Wszelka zatem

[129] S. Waltoś, *Proces karny. Zarys systemu*., LexisNexis, Warszawa 2009, s. 347 – 348.
[130] S. Waltoś, op. cit. s. 347.
[131] J. Wójcikiewicz : op. cit., s. 9. red. J. Wójcikiewicz, *Ekspertyza sądowa. Zagadnienia wybrane*, Oficyna a Wolters Kluwer business, Warszawa 2007, s. 21.
[132] J. Kasprzak, J. Skorupka, *Dowód naukowy,* [w:] red. J. Skorupka, System Prawa Karnego Procesowego – Tom VIII, cz. 1, Dowody, Wyd. Wolters Kluwer, Warszawa 2019, s. 340 i nast.
[133] W. Baier, J.M. Warnett, M. Payne, M. A. Williams, Introducing 3D Printed Models as Demonstrative Evidence at Criminal Trials, Journal of Forensic Sciences, Lipiec 2018, Vol. 63. No.4,s. 1298 i nast.
[134] M. Cieślak, *Zagadnienia dowodowe w procesie karnym*, t. I, Wydawnictwo Prawnicze, Warszawa 1955, s. 40.

decyzja, oparta na dowodzie wyłania się z następującego rozumowania: ponieważ pewien fakt istnieje, wnioskuję stąd o istnieniu drugiego konkretnego faktu[135].

Przedstawiona definicja ma już w dzisiejszym ujęciu znaczenie historyczne. We współczesnej nauce procesu karnego zrezygnowano z podania definicji dowodu z uwagi na trudności łączące się z określeniem ogólnej nazwy „dowód"[136]. Omawia się jedynie funkcje dowodu i ich znaczenie w procesie karnym, przedstawia zasady dowodowe oraz wyszczególnienie szeregu znaczeń nazwy dowód.

Należy zgodzić się z poglądami, według których nazwę „dowód" trzeba zarezerwować dla jednostkowego pojęcia rzeczywistego dowodu rozumianego jako końcowy rezultat dowodzenia, to jest do samego wyniku celowo i prawidłowo przeprowadzonego rozumowania[137].

2) Ramy prawne stosowania technologii 3D

W całokształcie badań specjalistycznych, zlecanych i wykonywanych na potrzeby procesu karnego (art. 193 KPK), coraz większą rolę odgrywają ekspertyzy kryminalistyczne. Bezpośredni cel ekspertyzy formułuje prawo. Jej zadaniem jest ustalenie, poprzez wykorzystanie specjalistycznej wiedzy, faktów istotnych dla rozstrzygnięcia sprawy, a następnie przedstawienie opinii mającej znaczenie dowodowe.

Powstaje problem, jak faktycznie traktować modelowanie metodami 3D. Czy jest to przedmiot oddzielnej ekspertyzy kryminalistycznej i powinien być wykonywany przez biegłego, zgodnie z art. 193 KPK, czy też jest to metoda jedynie dokumentująca wygląd miejsca zdarzenia[138], bądź też metoda techniczna przy wykonywaniu innej ekspertyzy i powinna być traktowana jako działania specjalisty, zgodnie z art. 205 KPK. Metoda modelowania 3D stanowi stosunkowo nową, w naszej kryminalistyce metodę badawczą. Wymaga posiadania określonego sprzętu i właściwej jego obsługi. Stąd też można powiedzieć, iż wymaga owych

[135] J. Bentham, *Traktat o dowodach sądowych*, Wyd. Zrzeszenia Sędziów i Prokuratorów RP, Gniezno 1939.
[136] Z Doda, A. Gaberle, *Dowody w procesie karnym. Orzecznictwo Sądu Najwyższego*. Komentarz, t – I, Dom Wydawniczy ABC, Warszawa 1995, s. 23, T. Grzegorczyk, *Dowody w procesie karnym*, Wydawnictwo Prawnicze, Warszawa 1998, s. 3., A. Gaberle, *Dowody w sądowym procesie karnym*, Oficyna a Wolters Kluwer business, Kraków 2007, s. 38 i nast.
[137] M. Kulicki, *Źródła i środki dowodowe*, Studia Kryminologiczne, Kryminalistyczne i Penitencjarne, T – 3, PWN, Warszawa 1975, s. 189.
[138] Por. J. Kasprzak, *Oględziny osoby, miejsca i rzeczy,* [w:] red. J. Skorupka, System Prawa Karnego Procesowego – Tom VIII, cz. 4, Dowody, Wyd. Wolters Kluwer, Warszawa 2019, s. 5153.

„wiadomości specjalnych", wskazanych w art. 193 KPK. Ważną sprawą jest również problem możliwych niebezpieczeństw, jakie może nieść stosowanie tych technologii w postaci powstania określonych deformacji. Prowadzący modelowanie i dokumentowanie metodami 3D musi zdawać sobie sprawę z tych zagrożeń. Z jednej strony entuzjazm pasjonatów nowych technologii, z drugiej jednak strony chłodny osąd widzący zagrożenia, które w danej sprawie mogą powstać.

Jeżeli stwierdzimy, iż działania w zakresie modelowania 3D powinien podejmować biegły, to przyjmiemy, iż musi on wykonać ekspertyzę kryminalistyczną. Przez taką ekspertyzę będziemy rozumieć zespół czynności badawczych wymagających wiadomości specjalnych z zakresu stosowania technologii 3D, wykonywanych przez biegłych na zlecenie organu procesowego, zakończonych opinią mogącą mieć charakter dowodu w procesie karnym[139].

Dopuszczenie dowodu z ekspertyzy stosującej technologie 3D może nastąpić przez wydanie postanowienia, zgodnie z art. 194 KPK. Tylko takie postanowienie uprawnia wykonawcę ekspertyzy do podjęcia czynności w celu przeprowadzeniu badań i wydania opinii. Postanowienie zlecające powinno odpowiadać określonym wymogom formalnym, zawartym w treści art. 194 KPK. Zgodnie z tym przepisem organ procesowy ma obowiązek wskazać w postanowieniu: wykonawcę ekspertyzy, jej przedmiot, zakres, termin wykonania oraz w miarę potrzeby sformułować pytania szczegółowe[140].

Ze sformułowania przepisu art. 194 KPK wynika, że organ procesowy, dopuszczając dowód z ekspertyzy, powinien postawić wykonawcy pytania podstawowe (zasadnicze). Dotyczyć one mają konkretnego zagadnienia (problemu), którego nie jest w stanie rozstrzygnąć sam organ z uwagi na brak wiadomości specjalnych w tej dziedzinie. Oprócz pytań podstawowych organ procesowy w miarę potrzeby może postawić w postanowieniu pytania szczegółowe. Biegły z własnej inicjatywy może w uzasadnionych przypadkach przekroczyć zakres pytań postawionych przez organ procesowy, udzielając odpowiedzi na inne problemy, co do których pytań wprawdzie nie zadano, lecz których wyjaśnienie jest nieodzowne dla udzielenia odpowiedzi na pytania zasadnicze[141].

Zgodnie z art. 200 KPK, czynności badawcze z zakresu ekspertyzy, powinny kończyć się wydaniem opinii. W skład opinii powinno wchodzić: sprawozdanie z dokonanych czynności

[139] Definicja opracowana na podstawie definicji „ekspertyzy kryminalistycznej" – por. T. Hanausek, *Ekspertyza kryminalistyczna,* Zeszyty Naukowe ASW, 1973, Nr 1, s. 94.
[140] Por. T. Tomaszewski, *Dowód z opinii biegłego w procesie karnym*, Wyd. IES, Kraków 1998, s. 64 – 73.
[141] S. Kalinowski, *Opinia biegłego w postępowaniu karnym*, PWN, Warszawa 1972, s. 32.

i spostrzeżeń badawczych oraz oparte na nich wnioski. Konieczne jest, aby opinia biegłego zawierała wszystkie okoliczności potrzebne sądowi do ostatecznej oceny jej wartości jako środka dowodowego. Jej konstrukcja powinna być logiczna i zwarta oraz obejmować komplet koniecznych informacji. Zgodnie z treścią art. 200 KPK wydana opinia powinna zawierać wykaz osób biorących udział w jej wydaniu z podaniem ich stopni lub tytułów naukowych oraz imion i nazwisk, a także podpisy tych osób.

Wykorzystanie technologii 3D, zgodnie z przepisami kodeksu postępowania karnego – art. 205 KPK, może być także przeprowadzone przez specjalistę jako „użycie urządzeń technicznych" i „wykonanie czynności technicznych". W doktrynie, do chwili obecnej, nie zastanawiano się nad problemem, czy stosowanie technologii 3D, powinno być wykonane przez biegłego czy przez specjalistę. W przypadku biegłego, dowodem będzie jego opinia a w przypadku specjalisty, dowód stanowić będą oględziny czy eksperyment jako wynik czynności procesowej (a w zasadzie dokumentacja tych czynności). Jeżeli biegły np. z zakresu identyfikacji odontoskopijnej, w trakcie prowadzonych badań wykorzysta technologię 3D – skorzysta w tym zakresie z pomocy specjalisty (przewidywanej przez art. 205 KPK) – to dowodem będzie opinia biegłego a udział specjalisty będzie wskazany w treści tej opinii.

Na podstawie własnych, bogatych, doświadczeń uważam, iż w pewnych sytuacjach organ procesowy powinien rozważyć powołanie biegłego z zakresu technologii 3D, do wykonania modelowania i dokumentowania danego zdarzenia i określenia jego charakteru a także przebiegu. Dotyczy to przede wszystkim takich zdarzeń jak katastrofy lotnicze, katastrofy kolejowe, w ruchu drogowym, wybuchy, pożary. Czyli zdarzenia obejmujące znaczne obszary terenu i powodujące bez stosowania takich technologii ogromne problemy. Trzeba także zauważyć, iż w takich przypadkach stosowanie technologii 3D, specjalistycznego sprzętu i oprogramowania, „obrobienie" zgromadzonego materiału, wymaga praktycznie wiedzy eksperckiej – czyli wiedzy specjalnej, przekraczającej wiedzę specjalisty. W sytuacjach mniej skomplikowanych, dokumentowanie miejsca zdarzenia technologiami 3D można pozostawić specjaliście (praktycznie technikowi kryminalistyki). Może się tak zdarzyć, iż wyniki takiego dokumentowania będą stanowić materiał do ekspertyzy. Jeżeli biegły z innych dziedzin będzie stosować technologie 3D, to może sam posiadać wiedzę i umiejętności w zakresie stosowania tej technologii, ale także pozwolić, by w wykonaniu ekspertyzy uczestniczył specjalista. W takim przypadku „ostatnie słowo", należy jednak do biegłego. Musimy pamiętać o tym, by nowinki techniczne nie przesłoniły nam wartości merytorycznej badań. Modelowanie

technologiami 3D może być bardzo pomocne, ale nie może zastępować porównywania i wyszczególniania cech indywidualnych badanych śladów.

3) Znajomość zasad technologii 3D wśród pracowników organów ścigania i wymiary sprawiedliwości

Dla praktycznego stosowania omawianych technologii 3D w kryminalistyce i procesie karnym, niezbędna jest znajomość tych problemów przez pracowników wymiaru sprawiedliwości i pracowników organów ścigania. Pierwotnie zakładano bardzo szerokie badania ankietowe. Jednak po przeprowadzeniu badań pilotażowych okazało się, iż takie badania nie będą miały wielkiej wartości naukowej.

W badaniach pilotażowych, przy zastosowaniu ankiety (zawierającej 8 pytań), wzięło udział 168 osób (w tym 18 sędziów, 23 prokuratorów i 127 funkcjonariuszy Policji i Żandarmerii Wojskowej, zajmujący się pracą śledczo – dochodzeniową i techniką kryminalistyczną). Wszystkie badane 168 osób (100%) – słyszało i miało świadomość wykorzystywania technologii 3D zarówno w zakresie modelowania i dokumentowania badania miejsca zdarzenia jak i możliwości wykorzystania tej technologii w ramach ekspertyzy kryminalistycznej. Wszystkie osoby (100%) nie miały żadnych wątpliwości, iż technologie te są bardzo potrzebne i wnoszą do kryminalistyki nową jakość. Jednak tylko 24 badane osoby (trochę ponad 14%) wiedziały jak taka technologia 3D powinna być stosowana i jak się to praktycznie robi. Owe 24 osoby wywodziły się z Żandarmerii Wojskowej i spotkały się z tą problematyką podczas specjalistycznych kursów. Wydaje się więc konieczne, prowadzenie specjalistycznych szkoleń i warsztatów dotyczących pokazania praktycznego możliwości wykorzystania technologii 3D.

Wydaje się także celowe prowadzenie dalszych badań naukowych w zakresie udoskonalenia stosowania technologii 3D do modelowania i dokumentowania miejsca zdarzenia, zarówno na poziomie eksperckim jak też na poziomie technika kryminalistyki – specjalisty. Warto także podejmować badania w zakresie wykorzystania technologii 3D w metodyce badawczej przy wykonywaniu niektórych ekspertyz kryminalistycznych. Badania te muszą jednak odnosić się do merytorycznej strony danej ekspertyzy.

WNIOSKI

- W kryminalistyce jako dziedzinie naukowej, występowała zawsze duża dynamika zmian oraz absorbcja osiągnięć z szerokiego kręgu innych dyscyplin naukowych, do realizacji celów procesu karnego. Rozwój kryminalistyki cechuje duża chłonność nowatorskich rozwiązań znajdujących swoje zastosowanie w praktyce dochodzeniowo-śledczej. Jednakże w dobie rewolucji technologicznej charakterystycznej dla czasów obecnych, zmiany zachodzą w sposób „agresywny".
- Jednym z rozwiązań technicznych wprowadzanych do szerokiego zastosowania w ramach kryminalistyki jest skanowanie i modelowanie trójwymiarowe przedmiotów oraz otoczenia. Uzyskiwane za pomocą technik modelowania wyniki pokazują szereg możliwych zastosowań w wielu gałęziach kryminalistyki, na różnych poziomach jej zastosowania. Od pracy podczas dokumentowania miejsca zdarzenia przez funkcjonariuszy szeroko rozumianych organów ścigania, poprzez identyfikację indywidualną w ramach badań eksperckich z zakresu mechanoskopii, traseologii a nawet daktyloskopii. Zastosowanie technik modelowania trójwymiarowego pozwala również na rekonstrukcję zdarzeń drogowych, czy zdarzeń o charakterze masowym takich jak wybuch, katastrofa komunikacyjna oraz klęska żywiołowa.
- Wszystkie wskazane hipotezy badawcze zostały potwierdzone a zastosowane metody badawcze zostały wykorzystane i okazały się właściwe do weryfikacji hipotez.
- Pomimo tego, iż fotografia w kryminalistyce znalazła wykorzystanie już w połowie XIX wieku, to do chwili obecnej obserwujemy jej stały postęp. Z technologii dwuwymiarowej, coraz częściej wykorzystywana jest technologia 3D.
- Współcześnie nauka wypracowała wiele możliwości uzyskiwania materiału 3D. Obrazowanie tego typu uzyskuje się obecnie dzięki technikom optycznym wykorzystującym przeliczenia obrazów dwuwymiarowym na trójwymiarową rzeczywistość jak również techniką pomiarów laserowych, radiowych oraz z zastosowaniem innych długości promieniowania elektromagnetycznego pozwalającą na uzyskanie przedstawienie rzeczywistości w postaci objętościowych wizualizacji komputerowych 3D. Wielorodność zastosowanych technik pomiarowych łączy się z

wielorodnością i zróżnicowaniem sprzętu specjalistycznego wykorzystywanego do dokonania wyliczeń.

- Technologia 3D powinna być stosowana do dokumentowania złożonych i skomplikowanych sytuacji obejmujących znaczne obszary terenu – katastrof lotniczych, katastrof w ruchu lądowym, katastrof kolejowych, miejsc wybuchów i pożarów.
- Technologie 3D umożliwiają trójwymiarowe, graficzne przedstawienie miejsca zdarzenia. Pozwalają na dokładną analizę określonych, kluczowych fragmentów tych miejsc.
- Współcześnie nauka wypracowała wiele możliwości uzyskiwania materiału 3D. Obrazowanie tego typu uzyskuje się obecnie dzięki technikom optycznym wykorzystującym przeliczenia obrazów dwuwymiarowym na trójwymiarową rzeczywistość jak również techniką pomiarów laserowych, radiowych oraz z zastosowaniem innych długości promieniowania elektromagnetycznego pozwalającą na uzyskanie przedstawienie rzeczywistości w postaci objętościowych wizualizacji komputerowych 3D. Wielorodność zastosowanych technik pomiarowych łączy się z wielorodnością i zróżnicowaniem sprzętu specjalistycznego wykorzystywanego do dokonania wyliczeń.
- Wykorzystanie technologii 3D do modelowania i dokumentowania miejsca zdarzenia umożliwia precyzyjne zobrazowanie także w miejscach niedostępnych i niebezpiecznych dla członków ekipy oględzinowej.
- Poza wykorzystaniem technologii 3D do zobrazowania miejsca zdarzenia, technologia ta może być wykorzystywana w wielu rodzajach ekspertyz. Szczególnie w badaniach dokumentów, daktyloskopii (np. przy zbieraniu materiału porównawczego ze zwłok, a także w badaniach odontoskopijnych oraz do wizualizacji i rekonstrukcji obrażeń w medycynie sądowej.
- Przedstawione metody i techniki badawcze, wstępnie pokazują swoją przydatność do identyfikacji. Trzeba jednak pamiętać, iż możliwości techniki nie mogą przysłaniać kwestii merytorycznych. Musimy uwzględniać opisane szczegółowo w literaturze cechy indywidualne, gdyż tylko one pozwalają na identyfikację indywidualną i umożliwiają wyliczenie statystyczne powtórzenia się danego układu cech u innej osoby. Wszelkiego rodzaju nowości techniczne, w tym modelowanie 3D jedynie pomagają w procesie identyfikacji, ułatwiają zabezpieczenie śladów na trudnych, psujących się

podłożach. Pozwalają także na znacznie dokładniejsze dokonanie pomiarów i wzajemną wizualizację śladu dowodowego i materiału porównawczego. W wielu przypadkach zalecana jest jednak daleko idąca ostrożność (np. przy badaniach śladów zębów).

- Wydaje się konieczne prowadzenie dalszych, szczegółowych badań, mających na celu wykorzystanie technologii 3D w różnego rodzaju ekspertyzach.
- Technologia 3D daje także możliwość zabezpieczania śladów na podłożach trudnych, gdzie klasyczne metody zawodzą (np. zabezpieczanie śladów stóp w śniegu). Podejmowane próby zabezpieczania takich śladów a następnie wydrukowania ich na drukarce 3D, dają kryminalistyce nowa jakość.
- Jeżeli kryminalistyka podchodzi do wszelkich nowinek technicznych dość entuzjastycznie i chętnie widziała by ich zastosowanie w szeroko rozumianej walce z przestępczością, to proces karny jest już bardzo ostrożny, sceptycznie nastawiony do jeszcze nie w pełni sprawdzonych technologii.
- Powstaje problem, jak faktycznie traktować modelowanie i dokumentowanie metodami 3D. Czy jest to przedmiot oddzielnej ekspertyzy kryminalistycznej i powinien być wykonywany przez biegłego, zgodnie z art. 193 KPK, czy też jest to metoda jedynie dokumentująca wygląd miejsca zdarzenia, bądź też metoda techniczna przy wykonywaniu innej ekspertyzy i powinna być traktowana jako działania specjalisty, zgodnie z art. 205 KPK. Metoda modelowania 3D stanowi stosunkowo nową, w naszej kryminalistyce metodę badawczą. Wymaga posiadania określonego sprzętu i właściwej jego obsługi. Stąd też można powiedzieć, iż wymaga owych „wiadomości specjalnych", wskazanych w art. 193 KPK. Ważną sprawą jest również problem możliwych niebezpieczeństw, jakie może nieść stosowanie tych technologii w postaci powstania określonych deformacji. Prowadzący modelowanie metodami 3D musi zdawać sobie sprawę z tych zagrożeń. Z jednej strony entuzjazm pasjonatów nowych technologii, z drugiej jednak strony chłodny osąd widzący zagrożenia, które w danej sprawie mogą powstać.
- Na podstawie własnych, bogatych, doświadczeń uważam, iż w pewnych sytuacjach organ procesowy powinien rozważyć powołanie biegłego z zakresu technologii 3D, do wykonania modelowania i dokumentowania danego zdarzenia i określenia jego charakteru a także przebiegu. Dotyczy to przede wszystkim takich zdarzeń jak katastrofy lotnicze, katastrofy kolejowe, w ruchu drogowym, wybuchy, pożary. Czyli

zdarzenia obejmujące znaczne obszary terenu i powodujące bez stosowania takich technologii ogromne problemy. Trzeba także zauważyć, iż w takich przypadkach stosowanie technologii 3D, specjalistycznego sprzętu i oprogramowania, „obrobienie" zgromadzonego materiału, wymaga praktycznie wiedzy eksperckiej – czyli wiedzy specjalnej, przekraczającej wiedzę specjalisty. W sytuacjach mniej skomplikowanych, dokumentowanie miejsca zdarzenia technologiami 3D można pozostawić specjaliście (praktycznie technikowi kryminalistyki). Może się tak zdarzyć, iż wyniki takiego dokumentowania będą stanowić materiał do ekspertyzy. Jeżeli biegły z innych dziedzin będzie stosować technologie 3D, to może sam posiadać wiedzę i umiejętności w zakresie stosowania tej technologii, ale także pozwolić, by w wykonaniu ekspertyzy uczestniczył specjalista. W takim przypadku „ostatnie słowo", należy jednak do biegłego. Musimy pamiętać o tym, by nowinki techniczne nie przesłoniły nam wartości merytorycznej badań. Modelowanie technologiami 3D może być bardzo pomocne, ale nie może zastępować porównywania i wyszczególniania cech indywidualnych badanych śladów.

- Przeprowadzone badania pilotażowe wykazały, iż problematyka modelowania i wykorzystania w dokumentowaniu technologii 3D jest znana pracownikom wymiaru sprawiedliwości i pracownikom organów ścigania. Konkretna jednak wiedza, jak działać, jak wykonywać technicznie poszczególne czynności – dostępna jest tylko wąskiemu gronu ekspertów i specjalistów.
- Konieczne jest dalsze prowadzenie badań w zakresie wykorzystania technologii 3D w modelowaniu i dokumentowaniu czynności procesowych i kryminalistycznych. Badania te powinny zmierzać do precyzyjnego wypracowania procedur oraz łączenia ustaleń merytorycznych (w poszczególnych działach ekspertyz) ze stałym rozwojem technologii.

BIBLIOGRAFIA

- Ajdukiewicz K.: *Logika pragmatyczna,* Wyd. PWN, Warszawa 1975.
- Antoszkiewicz J.: *Metody heurystyczne. Twórcze rozwiązywanie,* Wyd. PWN, Warszawa 1990.
- Apanowicz J. : *Metodologiczne uwarunkowania pracy naukowej,* Wyd. PWN, Warszawa 2005.
- Apanowicz J.: *Metodologia nauk,* Wyd. TNOiK, Toruń 2003.
- Baier W., Donnelly M. J., Payne M., Williams M. A., *A Holistic Multi-Scale Approach to Using 3D Scanning Technology in Accident Reconstruction*, Jurnal of Forensic Science, wrzesień 2020 r., vol.65. No.5.
- Baier W., Warnett J. M., Payne M., Williams M. A., *Introducing 3D Printed Models as Demonstrative Evidence at Criminal Trials, Journal of Forensic Sciences*, lipiec 2018 r., Vol. 63. No.4.
- Baran T., *Nowe źródła światła – lasery. Możliwości zastosowania i wykorzystania w kryminalistyce,* Problemy Kryminalistyki 87/70.
- Bełkowski J., *Fotogrametria w kryminalistyce,* Problemy Kryminalistyki 44-45/63.
- Bełkowski J., *Kilka wskazówek o dokonywaniu zdjęć fotograficznych miejsca przestępstwa w warunkach złego oświetlenia naturalnego,* Biuletyn poświęcony zagadnieniom taktyki i techniki śledczej, nr. 1/55.
- Bełkowski J., *Uniwersalny aparat fotograficzny,* Problemy Kryminalistyki 31/61.
- Bentham J., *Traktat o dowodach sądowych*, Wyd. Zrzeszenia Sędziów i Prokuratorów RP, Gniezno 1939.
- Białostocki R., *O możliwościach stosowania metod geofizycznych w praktyce śledczej,* Problemy Kryminalistyki 108/74.
- Bogusz I, *Dokumentacja fotograficzna z oględzin miejsca zdarzenia z uwzględnieniem makrofotografii i fotografii w świetle UV,* Wyd. Centrum Szkolenia Policji, Legionowo 2013.
- Boncler T., *Granice dokładności obrazów fotograficznych,* Problemy Kryminalistyki 8/57.

- Bonte W., *Forensic Medicine – History,* [w:] Encyclopedia of Forensic Science, Tom 3, Wyd. Academic Press, London 2000.
- Buck U., Naether S., Rass B., Jackowski Ch., Thali M. J., *Accident or homicide – Virtual crime scene reconstruction using 3D methods,* Forensic Science International, 2013 r., Vol. 225.
- Carew R. M., Morgan R. M., Rando C., *A Preliminary Investigation into the Accuracy of 3D Modeling and 3D Printing in Forensic Anthropology Evidence Reconstruction,* Jurnal of Forensic Sciences. marzec 2019 r., Vol. 64 No.2.
- Cattaneo C., Cantatore A., Ciaffi R., Gibelli D., Cigada A., De Angelis D., Sala R., *Personal Identification by the Comparison of Facial Profiles: Testing the Reliability of a High-Resolution 3D-2D Comparison Model,* Journal of Forensic Sciences, styczeń 2012 r., Vol. 57 No. 1.
- Cecchetto G., Viel G., De Lotto F., Manara R., Montisci M., Zancaner S., Ferrara D., *Machinery-Related Deaths: Relevance of Workplace Investigation and Antemortem radiological Data in Reconstructing the Fatality*, Journal of Forensic Sciences, Maj 2010 r., Vol. 55 No.3.
- Cieślak M., *Zagadnienia dowodowe w procesie karnym*, t. I, Wydawnictwo Prawnicze, Warszawa 1955.
- Costantino D., Giuseppa Angelini M., *Three-dimensional Integrated Survey for Building Investigations,* Journal of Forensic Sciences, wrzesień 2015 r., Vol. 60 No. 6.
- Cyprian T., *Fotografia. Technika i technologia,* Wyd. Naukowo – Techniczne, Warszawa 1968,
- Czeczot Z., Czubalski M., *Zarys kryminalistyki,* Wyd. Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa 1972.
- Czeczot Z., Tomaszewski T., *Podstawy kryminalistyki ogólnej,* Wyd. Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa 1989.
- DiMaio V. J., DiMaio D., *Medycyna sądowa,* Wyd. Medyczne Urban & Partner, Wrocław 2003.
- Doda Z., Gaberle A., *Dowody w procesie karnym. Orzecznictwo Sądu Najwyższego*. Komentarz, t – I, Dom Wydawniczy ABC, Warszawa 1995.

- Doniec A., Klepczyński B., Niewiadomski L., Świętek M. Methods of recovering three-domensional impression evidence in snow from the perspective of applaying new technologies, Problems of Forensic Sciences, 2017 r., vol. 111, s.169 – 180.
- Drews A., *Helikopter w służbie policji,* Problemy Kryminalistyki 35/62.
- Ebert L. Chr., Thali M. J., Ross S., *Getting in Touch – 3D printing in Forensic Imaginig, Forensic Science International*, wrzesień 2011 r., Volume 211, Issues 1-3.
- Fernandez-Hernandez J., Gonzalez-Aguilera D., Rodriguez-Gonzalvez P., Mancera-Taboada J., *Image-Based modelling from Unmanned Aerial Vehicle (UAV) photogrammetry: an effective, low-cost tool for archaeological applications, Archaeomerty 2015 r., nr. 57.*
- Flasiński S., Stępień T., *Z problematyki oględzin miejsca przestępstwa,* Problemy Kryminalistyki 169/85.
- Freeman M., *Lustrzanki cyfrowe. Poradnik eksperta,* Wyd. National Geographic, Warszawa 2008.
- Gaberle A., *Dowody w sądowym procesie karnym*, Oficyna a Wolters Kluwer business, Kraków 2007.
- Gajus Swetoniusz Trankwillus, *Żywoty Cezarów,* Wyd. Zakład Narodowy Ossolińskich, Wrocław – Warszawa – Kraków – Gdańsk – Łódź 1987.
- Gibelli D., De Angelis D., Poppa P., Sforza Ch., Cattaneo C., *A View to the Future: A Novel Approach for 3D-3Dsuperimposition and Quantification of Differences for Identification from Next-Generation Video Surveillance Systems, Journal of Forensic Sciences, marzec 2017 r., Vol. 62 No. 2.*
- Girdwoyń P., *Skanowanie 3D na miejscu zdarzenia – przyszłością kryminalistyki,* [w:] B. Hołyst red. Technika kryminalistyczna w pierwszej połowie XXI wieku. Wybrane problemy, PWN, Warszawa 2014.
- Goc M., Moszczyński J. red., *Ślady kryminalistyczne. Ujawnianie, zabezpieczanie, wykorzystanie*, Wyd. Difin, Warszawa 2007.
- Goc M., *Organizacja kryminalistycznych badań miejsca zdarzenia,* Problemy Kryminalistyki 144/80.

- Goc M., Tomaszewski T., *Wykorzystanie metod komputerowych w badaniach pismoznawczych,* [w:] red. B. Hołyst, Technika kryminalistyczna w pierwszej połowie XXI wieku. Wybrane problemy, Wyd. PWN, Warszawa 2014.
- Goc M., *Współczesny model ekspertyzy pismoznawczej – wykorzystanie nowych metod i technik badawczych,* Wyd. Volumina pl., Warszawa – Szczecin 2016.
- Gonzalez-Aguilera D., Gomez-Lahoz J., *Forensic Terrestrial Photogrammetry from a Single Image,* Journal of Forensic Sciences, listopad 2009 r., Vol. 54 No. 6.
- Grassberger M., Gehl A., Puschel K., Turk E. E., *3D reconstruction of emergancy cranial computed thomography scans as a tool in clinical forensic radiology after survived blunt head trauma – Raport of two cases, Forensic Science International, kwiecień 2011 r., Volume 207, Issues 1-3.*
- Gross H., *Podręcznik dla sędziego śledczego jako system kryminalistyki,* opr. i przekł. J. Kasprzak, Wyd. Difin, Warszawa 2021.
- Gruza E., Goc M., Moszczyński J., *Kryminalistyka, czyli o współczesnych metodach dowodzenie przestępstw,* Wyd. Wolters Kluwer, Warszawa 2020.
- Gruza E., *Oględziny śledcze miejsca zdarzenia w praktyce procesowej,* Problemy Współczesnej Kryminalistyki, tom I, Warszawa 1996.
- Gruza E., *Przyczynek do zagadnienia dopuszczalności i wykorzystania „dowodów naukowych" w procesie karnym,* Przegląd Sądowy, 1995, Nr 7/8.
- Gryglewski J., *Wskazówki metodyczne do oględzin na miejscu wypadku drogowego,* Wyd. Biuro Techniki Kryminalistycznej KGP, Warszawa 1991.
- Grzegorczyk T., *Dowody w procesie karnym*, Wydawnictwo Prawnicze, Warszawa 1998.
- Grzegorczyk T., Tylman J., *Polskie postępowanie karne,* Wyd. LexisNexis, Warszawa 2014.
- Gurgul J., *Oględziny – niektóre aspekty teoretyczne i praktyczne,* Problemy Kryminalistyki 207/95.
- Gurgul J., *Śledcze oględziny (Wybrane problemy),* Problemy Kryminalistyki 189-190/90.
- Gurtowska J., *Banknot promocyjny PWPW – szachy*, Człowiek i dokument, Wyd. PWPW, styczeń – marzec Warszawa 2017.

- Gutekunst W., *Kryminalistyka. Zarys systematycznego wykładu,* Wyd. Prawnicze, Warszawa 1974,
- Hachulski P., *Oględziny w przypadkach katastrof kolejowych,* Studia Kryminologiczne, Kryminalistyczne i Penitencjarne, Tom 1, PWN, Warszawa 1974.
- Hanausek T., *Ekspertyza kryminalistyczna,* Zeszyty Naukowe ASW, 1973, Nr 1, s. 94.
- Hanausek T., *Kryminalistyka. Zarys wykładu,* Kantor Wydawniczy Zakamycze, Kraków 1996.
- Hanausek T., *Rozwojowe perspektywy czynności kryminalistycznych związanych z badaniem miejsca zdarzenia,* Nowe Prawo 7-8, 1971.
- Hołyst B., *Kryminalistyka,* Wyd. Wolters Kluwer, Warszawa 2018.
- Horoszowski P., *Kryminalistyka,* Wyd. PWN, Warszawa 1958.
- Horoszowski P., *Model miejsca oględzin w praktyce śledczej,* Problemy Kryminalistyki 4/56.
- Horoszowski P*., Śledcze oględziny miejsca,* Wyd. Prawnicze, Warszawa 1959.
- Hryciuk M., *Papier – możliwości badań kryminalistycznych,* [w:], Kryminalistyczne badania podłoża i środków kryjących – Zaszyty Metodyczne, Wyd. CLK KGP, Warszawa 2000.
- Johnson W.S., Rice M., Williams C., *Historia fotografii od 1839 roku do dziś,* Wyd. Taschen/TMC Art., Koln 2010.
- Juszka K, *Jakość czynności kryminalistycznych,* Wyd. Verba, Lublin 2007.
- Kaczmarek M*., Kryminalistyczne badanie miejsca zdarzenia w teorii i praktyce*, Wydawnictwo Szkoły Policji w Pile, Piła 2011.
- Kalinowski S., *Opinia biegłego w postępowaniu karnym*, PWN, Warszawa 1972.
- Kała M., Wilk D., Wójcikiewicz J. red., *Ekspertyza sądowa. Zagadnienia wybrane,* Wyd. Wolters Kluwer, Warszawa 2017.
- Kamiński J., Kozieł T., Żuchewicz K., *Pierwsze w Polsce wykorzystanie lasera w kryminalistyce,* Problemy Kryminalistyki 175/87.
- Kamiński J., *Możliwości wykorzystania holografii optycznej w badaniach kryminalistycznych,* Problemy Kryminalistyki 180/88.

- Kasprzak J. : *Wybrane problemy metodologiczne badań w zakresie procesu karnego i kryminalistyki,* [w:] Wybrane problemy procesu karnego i kryminalistyki, red. J. Kasprzak, B. Młodziejowski, Wyd. Volumina pl, Olsztyn 2010
- Kasprzak J. *Kryminalistyczne badania odontoskopijne,* [w:] red. B. Hołyst, Technika kryminalistyczna w pierwszej połowie XXI wieku. Wybrane problemy, PWN, Warszawa 2014.
- Kasprzak J. *Odontoskopia kryminalistyczna,* Wyd. Volumina pl., Olsztyn – Szczecin 2011.
- Kasprzak J., *Dowód naukowy i jego kryteria w procesie karnym,* [w:] red. W. Cieślak, S. Steinborn, Profesor Marian Cieślak – osoba, dzieło, kontynuacje, Lex a Wolters Kluwer business, Warszawa 2013.
- Kasprzak J., Klajner E., Witowski J., *Podstawy fotografii kryminalistycznej,* Wyd. OS ŻW, Mińsk Mazowiecki 1993.
- Kasprzak J., *Kryminalistyka w wojsku,* Przegląd Wojsk Lądowych, nr 8(434), 1995.
- Kasprzak J., *Kryminalistyka. Podręcznik dla Żandarmerii Wojskowej, cz. II, Metodyka badania miejsca zdarzenia,* Wyd. KG ŻW, Warszawa 1995.
- Kasprzak J., *Metodyka badania miejsca zdarzenia,* Wyd. OS ŻW, Mińsk Mazowiecki 1992.
- Kasprzak J., Młodziejowski B., Brzęk W., Moszczyński J., *Kryminalistyka,* Wyd. Difin, Warszawa 2006.
- Kasprzak J., Młodziejowski B., Kasprzak W., *Kryminalistyka. Zarys systemu,* Wyd. Difin, Warszawa 2015.
- Kasprzak J., *Nietypowy przypadek identyfikacji zwłok na podstawie małżowiny usznej,* [w:] red. J. Kasprzak, J. Bryk, Prawo. Kryminalistyka. Policja – Księga pamiątkowa ofiarowana Prof. B. Młodziejowskiemu, Wyd. WSPol. Szczytno 2008.
- Kasprzak J., *Oględziny osoby, miejsca i rzeczy,* [w:] red. J. Skorupka, System Prawa Karnego Procesowego – Tom VIII, cz. 4, Dowody, Wyd. Wolters Kluwer, Warszawa 2019.
- Kasprzak J., *Otoskopia kryminalistyczna. System identyfikacji. Zagadnienia dowodowe,* Wyd. UWM, Olsztyn 2003.

- Kasprzak J., Skorupka J., *Dowód naukowy,* [w:] red. J. Skorupka, System Prawa Karnego Procesowego – Tom VIII, cz. 1, Dowody, Wyd. Wolters Kluwer, Warszawa 2019.
- Kędzierska G., Kędzierski W., red., *Kryminalistyka. Wybrane zagadnienia techniki,* Wyd. WSPol., Szczytno 2011,
- Kittel C., *Wstęp do fizyki ciała stałego*, PWN, Warszawa 1976.
- Klepczyński B., *Fotografia kryminalistyczna,* [w:] red. J. Mazepa, Vademecum technika kryminalistyki, Wyd. Wolters Kluwer, Warszawa 2009.
- Komar D. A., Davy-Jow S., Decker S. J., *The Use of a 3-D Laser Scaner to Document Ephemeral Evidence at Crime Scenes and Postmortem Examinations*, Journal of Forensic Sciences, styczeń 2012 r., Vol. 57 No. 1.
- Kotarbiński T., *Traktat o dobrej robocie,* Zakład Narodowy im. Ossolińskich, Wrocław, Warszawa, Kraków, Gdańsk 1975.
- Kotarbiński T.: *Elementy teorii poznania, logiki formalnej i metodologii nauk,* Wyd. PWN, Warszawa 1986.
- Kozdrowski S., *Oględziny miejsca zdarzenia, cz. 2* , Wyd. Centrum Szkolenia Policji, Legionowo 1991.
- Kozieł T, Kowalczyk W., *Zastosowanie fotogrametrii w badaniach kryminalistycznych,* Problemy Kryminalistyki 117/75.
- Kozieł T. *Możliwości i perspektywy zastosowania holografii w badaniach kryminalistycznych,* Problemy Kryminalistyki 106/73.
- Kozieł T., *Fotografia badawcza w kryminalistyce,* Problemy Kryminalistyki 133-134/78.
- Kozieł T., *Fotografia i inne techniczne metody utrwalania obrazu w dokumentowaniu czynności procesowych,* Wyd. ZK KGMO, Warszawa 1978,
- Kozieł T., *Fotografia kryminalistyczna w czterdziestoleciu,* Problemy Kryminalistyki 166/84.
- Kozieł T., Kamiński J., Żuchewicz K., *Technika laserowa w praktyce Zakładu Kryminalistyki KG MO,* Problemy Kryminalistyki 177/87.
- Kozieł T., Szulc Cz., Załęski A., *Betaradiografia w kryminalistycznych badaniach dowodów rzeczowych,* Problemy Kryminalistyki 162/83.

- Kozieł T., Tacikowski J., *Fotografowanie luminescencji w zakresie widma czerwonego i podczerwonego,* Problemy Kryminalistyki 97-98/72.
- Kozieł T., *Zarys historii fotografii kryminalistycznej,* Problemy Kryminalistyki 157/82.
- Koźmiński L., Brzozowska M., Kościuk J., Kubisz W., *Wykorzystanie możliwości skanowania 3D w oględzinach i dokumentowaniu miejsca zdarzenia,* Problemy Kryminalistyki nr. 267/2010.
- Krasny K., *Zapis magnetofonowy w postępowaniu karnym,* Problemy Praworządności, nr 4, 1979.
- Kulicki M., Kwiatkowska-Wójcikiewicz V., Stępka L., *Kryminalistyka. Wybrane zagadnienia teorii i praktyki śledczo – sądowej,* Wyd. Naukowe UMK, Toruń 2009.
- Kulicki M., *Źródła i środki dowodowe*, Studia Kryminologiczne, Kryminalistyczne i Penitencjarne, T – 3, PWN, Warszawa 1975.
- Kwiatkowska – Wójcikiewicz V., *Oględziny miejsca. Teoria i praktyka,* Wyd. TNOiK, Toruń 2011.
- Larsen H. J., Bennett M. R., *Recovery of 3D footwear impressions using a range of different techniques*, Journal of Forensic Sciences, 2021 r., Vol. 66.
- Larsen H. J., Bennett M.R., *Empirical Evaluation of the Reliability of Photogrammetry Software in the Recovery of Three-Dimensional Footwear Impressions*, Journal of Forensic Sciences, Vol. 65, no. 5.
- Larsen H., Budka M., Bennet M.R., *Technological innovation in the recovery and analysis of 3D forensic footwear evidence: Structure from motion (SfM) photogrammetry*, Science & Justice, lipiec 2021 r., volume 61, Issue 4.
- Lasser A., Warnick A., Berman G. M., *Three-Dimensional Comparative Analysis of Bitemarks, Journal of Forensic Sciences, maj 2009 r., Vol.54, No.3.*
- Leciak A., *Utrwalanie przebiegu i wyników oględzin miejsca zdarzenia,* Prokuratura i prawo, nr 9, 1998.
- Linder W., *Digital Photogrammetry,* wyd. Springer, Berlin 2003 r.
- Lipczyńska M., *Granice stosowania zdobyczy postępu technicznego w procesie karnym,* Studia Kryminologiczne, Kryminalistyczne i Penitencjarne, Tom 2, PWN, Warszawa 1975.

- Łachacz M., *Zabezpieczanie śladów traseologicznych występujących na (w) „trudnych" podłożach,* Problemy Współczesnej Kryminalistyki, Tom III, Warszawa 2000.
- Łuzgin I., *Perspektywy wykorzystania stereoskopii w kryminalistyce,* Problemy Kryminalistyki 16/58.
- Maiman T.H. , *Stimulated Optical Radiation in Ruby*, Nature, Vol.187, 493, 1960.
- Maksymowicz K., *Zastosowanie technologii obrazowania 3D w opiniowaniu medyczno-sądowym*, Wyd. Uniwersytet Medyczny im. Piastów Śląskich we Wrocławiu, Wrocław 2016.
- Marcinkowski T., *Medycyna sądowa dla prawników,* Wydawnictwo Prawnicze, Warszawa 1993.
- Marszał K., *Utrwalanie przebiegu czynności procesowych za pomocą urządzeń audiowizualnych,* [w:] red. T. Widła, Wokół problematyki dokumentu. Księga pamiątkowa dedykowana Prof. A. Felusiowi, Wyd. Uniwersytet Śląski, Katowice 2005.
- Mazur B., *Zabezpieczenia dokumentów przed fałszerstwem stosowane w podłożu papierowym i próby ich imitacji,* [w:] Możliwości badawcze dokumentów wytwarzanych technicznie – Zeszyty Metodyczne, Wyd. CLK KGP, Warszawa 2002.
- Molina A., Martin ed las Heras S., *Accuracy of 3D Scanners in Tooth Mark Analysis,* Journal of Forensic Sciences, styczeń 2015 r., Vol. 60 Issue s1.
- Moretti C., *Helikopter policyjny w służbie społeczeństwa,* Problemy Kryminalistyki 55/65.
- Moszczyński J., *Subiektywizm w badaniach kryminalistycznych,* Wyd. UWM, Olsztyn 2011.
- Mucha J., *Możliwości odczytu odległości na podstawie zdjęć niemetrycznych,* Problemy Kryminalistyki 120/76.
- Murray B., Anderson D. T., Wescott D.J., Moorhead R., Anderson R. F., *Survey and Insights into Unmanned Aerial-Vehicle-Based Detection and Documentation of Clandestine Graves and Human Remains*, Human Biology, Wayne State University Press, Detroit 2018 r..
- Niedźwiedź B., Trojniak J., *Wykonywanie replik śladów w śniegu,* Problemy Kryminalistyki 100/72.

- Otłowski K., *Audiowizualne utrwalanie czynności procesowych w świetle badań,* Problemy Kryminalistyki 187-188/90.
- Ożga S., Rudnicki Z., Wardziukiewicz T., *Przeprowadzenie oględzin pod wodą na potrzeby organów ścigania,* Problemy Kryminalistyki 111/74.
- Pałasiński Z., *Uproszczona metoda określania rzeczywistych wymiarów i kątów przestrzennego usytuowania przedmiotów utrwalonych na zdjęciu fotograficznym,* Problemy Kryminalistyki 65/67.
- Pawelec K., Diupero T., *Rekonstrukcja wypadku i zdarzenia drogowego,* Dom Wydawniczy ABC, Warszawa 2006.
- Pawelec K.J., *Metodyka pracy adwokata w sprawach wypadków drogowych,* Wyd. LexisNexis, Warszawa 2007.
- Pawlik J., *Lotnictwo w służbie policji,* Przegląd Policyjny 1(33), 1994.
- Pawłowski W., *Oględziny i badania miejsc wybuchów,* Problemy Współczesnej kryminalistyki, Tom XXIV, Warszawa 2020.
- Pękosławski Z., *Fotografia w praktyce amatorskiej,* Wyd. Artystyczne i Filmowe, Warszawa 1977.
- Physical Evidence Handbook 8th Edition, Wisconsin Departament of Justice State Crime Laboratories, J.B. Van Hollen, 2009.
- Piasecki M.B., *Fotogrametria lotnicza i naziemna,* Wyd. PPWK, Warszawa 1958.
- Pieter J.: *Zarys metodologii pracy naukowej,* Wyd. PWN, *Warszawa* 1975.
- Pilch T. : *Zasady badań pedagogicznych,* Wyd. Pedagogiczne, Warszawa 1995.
- Polony J., *Wypadki drogowe. Problematyka kryminalistyczna,* Wydawnictwo Prawnicze, Warszawa 1978.
- Rodowicz L., *Problematyka śladów obuwia w ... „pigułce",* Problemy Współczesnej Kryminalistyki, Tom XII, Warszawa 2008.
- Rodowicz L., *Wczoraj, dziś i jutro traseologii,* Problemy Współczesnej Kryminalistyki, Tom III, Warszawa 2000.
- Rusek M., *Dron na oględzinach,* Problemy Kryminalistyki 293/2016.
- Sandidge D., *Fotografia cyfrowa w podczerwieni – warsztaty fotograficzne*, Wyd. HELION, Gliwice 2010.

- Schuller-Götzburgabd P., Suchanek J., *Forensic odontologists successfully identify tsunami victims in Phuket, Thailand* , Forensic Science International, Volume 171, Issues 2–3, 13 September 2007.
- Sekrety Cyfrowej Ciemni Scotta Kelby'ego. Edycja i obróbka zdjęć w programie Adobe Photoshop Lightroom, Helikon 2008.
- Skiba B.I., *Kryminalistyczna problematyka oględzin miejsc zdarzeń,* Problemy Kryminalistyki 165/84.
- Skrętowicz E., *Zapis magnetofonowy jako środek dokumentacji procesowej,* Problemy Praworządności, nr 9, 1972.
- Sobolewski A., Nowicki W., *Fotografia cyfrowa w kryminalistyce – aspekty techniczno – prawne,* Problemy Kryminalistyki 256/2007.
- Teicher G. red. , *Fototechnika,* Wyd. Naukowo – Techniczne, Warszawa 1982.
- Thorwald J., *Stulecie detektywów,* Wyd. Literackie, Kraków 1971.
- Tomaszewski T., *Dowód z opinii biegłego w procesie karnym*, Wyd. IES, Kraków 1998
- Tomaszewski T., *Proces amerykański. Problematyka śledcza,* Wyd. COMER, Toruń 1996.
- Wachholz L., Ciechanowski S., *Technika sekcyi zwłok – protokół sekcyi i orzeczenie*, Wyd. Gebethnera i Wolffa , (reprint), Warszawa 2019.
- Wachholz L., *Medycyna sądowa. Na podstawie ustaw obowiązujących na ziemiach polskich,* Wyd. Gebethner i Wolf, Kraków 1920.
- Waltoś S., Hofmański P., *Proces karny. Zarys systemu.* Wyd. Wolters Kluwer, Warszawa 2020.
- Widacki J. red., *Kryminalistyka Część I,* Wyd. Uniwersytet Śląski, Katowice 1984.
- Wilczewski J., Pietrycka – Wilczewska E., *O szkicach raz jeszcze,* Problemy Kryminalistyki 161/83.
- Wilk D. red., *Kryminalistyka. Przewodnik,* Wyd. TNOiK, Toruń 2013.
- Wilk D., *Nowoczesne metody fizykochemii kryminalistycznej w procesie karnym,* Wyd. JAK, Kraków 2018.
- Witkowska K., *Oględziny. Aspekty procesowe i kryminalistyczne,* Wyd. Lex a Wolters Kluwer business, Warszawa 2013.

- Won-Joon Lee, Wilkinson C. M., Hyeon-Shik Hwang, *An Accuracy Assessment of Forensic Computerized Facial Reconstruction Employing Cone-Beam Computed Tomography from Live Subjects,* Journal of Forensic Sciences, marzec 2012 r., Vol. 57, Issue 2.
- Woźniak K. J., Moskała A., Kluza P., Romaszko K., Lopatin O., Rzepecka-Woźniak E., *Whole-body post-mortem computed tomography angiography of a newborn revealing transposition of great arteries,* International Journal of Legal Medicine, listopad 2015 r., vol.129.
- Woźniak K., Rzepecka-Woźnika E., Moskała A., Pohl J., Latacz K., Dybała B.. *Weapon identification using antemortem computed tomography with virtual 3D and rapid prototype modeling-a report in case of blunt force head injury, Forensic Science International, październik 2012 r., Volume 222, Issues 1-3.*
- Wójcik T., *ABC fotografii cyfrowej,* Wyd. Buchmann, Warszawa 2009.
- Wójcikiewicz J., *Dowód naukowy w procesie sądowym,* Wyd. IES, Kraków 2000.
- Wójcikiewicz J., *Temida nad mikroskopem,* Wyd. TNOiK, Toruń 2009.
- Zahorski R., *Metodyka pracy biegłego sądowego. Rekonstrukcja wypadku drogowego,* Wyd. Difin, Warszawa 2010.
- Zeller M., *Podręcznik fotogrametrii,* Wyd. PWT, Warszawa 1950.
- Zelwiański R., *Film w polskiej praktyce śledczo – sądowej,* Problemy Kryminalistyki 44-45/63.
- Zelwiański R., Solorz A., *Ogólne zasady sporządzania szkiców miejsca przestępstwa lub wypadku,* Problemy Kryminalistyki 4/56.
- Zelwiański R., *Śledcze badanie miejsca zdarzenia,* Problemy Kryminalistyki 41/63.
- Ziemnicki Ł., *Fotografia cyfrowa – formatowanie plików i sygnalityka,* Problemy Kryminalistyki 250/2005.
- Zubańska M., *Nowe technologie w kryminalistyce. Aspekty prawne i kryminalistyczne,* Wyd. ElSet., Olsztyn 2019.
- Żelazek Z., *Nowoczesne techniki dokumentowania miejsca zdarzenia,* Problemy Kryminalistyki 215/97.

WYKAZ STRON INTERNETOWYCH

- http://fotoblogia.pl/5524,dla-poczatkujacych-jak-czytac-dane-exif
- http://www.tpi.com.pl/pl/oprogramowanie/geomagic-control1
- http://fotoblogia.pl/5524,dla-poczatkujacych-jak-czytac-dane-exif
- http://www.tpi.com.pl/pl/oprogramowanie/geomagic-control1
- http://www.smarttech.pl/slowniczek-pojec-skanowania-3d/siatka-trojkatow-mesh/
- https://www.youtube.com/watch?v=8dbIWB9Rw9Q)
- https://sketchfab.com/3d-models/messerschmitt-49655a05cbe346808d810ad88f86066e)
- https://www.youtube.com/watch?v=x5e9VXrK9iw)

WYKAZ RYCIN

- Ryc. Nr 1 – Zakres światła przepuszczanego przez filtry typu „hot mirror”.
- Ryc. Nr 2 – Schematyczne przedstawienie długości fali i energii jaką niesie wraz ze sobą.
- Ryc. Nr 3 Obraz wykonany w technice fotografii w spektrum promieniowania UV z widocznymi pracami konserwatorskimi.
- Ryc. Nr 4 – Zmiany skórne uwidocznione za pomocą fotografii w spektrum światła nadfioletowego
- Ryc. Nr 5 – Fotografie obrazu uzyskana za pomocą rejestrowania obrazu w zakresie a) światła widzialnego b) promieniowania rentgenowskiego
- Ryc. Nr 6 – Utajniony aparat fotograficzny wykorzystywany przez Służbę Bezpieczeństwa.
- Ryc. Nr 7 – Okulary z zainstalowaną kamerą cyfrową.
- Ryc. Nr 8 – Przymiar wstęgowy stalowy z widoczną klasą dokładności II.
- Ryc. Nr 9 – Przymiar wstęgowy z tworzywa sztucznego z widocznym oznaczeniem klasy dokładności, temperatury odniesienia oraz wartości naprężenia określonej przez producenta na 20N.
- Ryc. Nr 10 – Koła pomiarowe.
- Ryc. Nr 11 – Widok licznika koła pomiarowego.
- Ryc. Nr 12 - Dalmierz laserowy.
- Ryc. Nr 13 – Zestaw eSURV firmy CYBID (total station wraz z wyposażeniem dodatkowym)
- Ryc. Nr 14 – Schemat dokonywania pomiaru na lustro.
- Ryc. Nr 15 – Pomiar punktu znajdującego się za przeszkodą
- Ryc. Nr 16 – Porównanie chmury zgrubnej, chmury gęstej i modelu teksturowanego.
- Ryc. Nr 17 - Ułożenie przymiaru na wykonanym modelu 3D.
- Ryc. Nr 18 – Prawidłowe przeliczenie współczynnika proporcji
- Ryc. Nr 19 – Błędne przeliczenie współczynnika proporcji
- Ryc. Nr 20 – Po lewej widoczny model teksturowany z widocznym na czole rozmydleniem, po prawej „ostra” tekstura z widocznymi otarciami naskórka oraz pękniętymi naczyniami krwionośnymi w obrębie bruzdy wisielczej.
- Ryc. Nr 21 – Zrzuty ekranowe aplikacji służącej do wyliczania odległości hiperfokalnej.
- Ryc. Nr 22 – Wzornik kolorów.
- Ryc. Nr 23 – Kąty ustawienia sensora w stosunku do modelowanego obiektu.
- Ryc. Nr 24 – Chmura punktów wygenerowana z fotografii wykonanych na miejscu zdarzenia z uwidocznionymi położeniem oraz kątem sensora w stosunku do obrazowanej przestrzeni.
- Ryc. Nr 25 – Schemat kątów działania skanera laserowego.
- Ryc. Nr 26 – Elementy składowe skanera laserowego.
- Ryc. Nr 27 – Widok chmury punktów 3D uzyskanej w skutek zastosowania na miejscu wypadku lotniczego skanera laserowego (na rycinie widoczne miejsca ustawienia skanera wokół statku powietrznego)
- Ryc. Nr 28 – Skanowanie wypadków i katastrof lotniczych. Niebieskie punkty wskazują ustawienie skanera.
- Ryc. Nr 29 – Model porównawczy statku powietrznego.

- Ryc. Nr 30 – Model porównawczy statku powietrznego przedstawiony w różnych rzutach.
- Ryc. Nr 31 – Mapa wysokości ukazująca miejsce pierwszego kontaktu statku powietrznego z ziemią ukazana w postaci mapy wysokości.
- Ryc. Nr 32 – Widok chmury punktów pokazujących pomiar kąta wbicia elementów podskrzydłowych w ziemię.
- Ryc. Nr 33 – Rzut z góry chmury punktów utworzonej w miejscu katastrofy statku powietrznego ukazująca kolejność śladów żłobienia powstałych w skutek kontaktu z podłożem
- Ryc. Nr 34 – Szkic wygenerowany na podstawie skanowania laserowego miejsca katastrofy statku powietrznego z nałożoną warstwą reprezentującą model wzorcowy (przeźroczystość w kolorze niebieskim) oraz czerwona linią ukazującą linie zniszczenia kabiny.
- Ryc. Nr 35 – Model cyfrowy rekonstrukcji samolotu MH17 który uległ katastrofie 17 lipca 2014 r. na terytorium Republiki Ukrainy.(rycina wykonana na podstawie klatek wyciętych z filmu „Reconstruction of MH17 wreckage" adres: https://www.youtube.com/watch?v=8dbIWB9Rw9Q)
- Ryc. Nr 36 - Rzut pionowy chmury punktów wytworzonej na miejscu katastrofy lotniczej z uwidocznionym łamaniem drzew oraz przeprowadzoną na jej podstawie rekonstrukcji ścieżki lotu.
- Ryc. Nr 37 – Ślady cięcia drzew pozostawione na elemencie statku powietrznego.
- Ryc. Nr 38 – Ślady łamania drzew oznaczone w zielonym okręgu. Ślad krańcowego kontaktu oznaczony w czerwonym okręgu.
- Ryc. Nr 39 – Usytuowanie pozycji skanera (niebieskie punkty) na miejscu katastrofy z widocznymi elementami istotnymi do wykonanie rekonstrukcji jej przebiegu.
- Ryc. Nr 40 – Model 3D wraku samolotu Messershmitt spoczywającego na dnie morskim wykonany technika fotogrametryczną SfM.
- Ryc. Nr 41 – Możliwość analizy metaloznawczej wykonanej z wykorzystaniem mikroskopu cyfrowego 3D.
- Ryc. Nr 42 – Niskie ustawienie skanera pozwoliło zobrazować elementy samochodu znajdujące się pod naczepą ciągnika siodłowego, uszkodzenie prawego koła osi przedniej samochodu oraz uszkodzone elementy mocowania naczepy.
- Ryc. Nr 43 – Chmura punktów przedstawiająca samochód biorący udział w wypadku drogowym. Skanowanie wykonano na parkingu depozytowym.
- Ryc. Nr 44 – Rzut ortagonalny pasa jezdni z widocznym pomiarem nieliniowym śladem zarzucania oraz pomiarem pola powierzchni fragmentu asfaltu charakteryzującego się inną przyczepnością oraz obszarem jezdni na którym znajduje się rozlany olej.
- Ryc. Nr 45 – Pomiar szerokości śladów zarzucania oraz wymiarów elementów oznakowania poziomego pasa jezdni wykonany na chmurze punktur uzyskanej z wykorzystaniem skanera laserowego. (skan wykonany w odcieniach szarości).
- Ryc. Nr 46 – Chmura punktów uzyskana techniką fotogrametryczną SFM pokazująca możliwości rekonstrukcji przemieszczania się pojazdów w czasie zdarzenia oraz analizy śladów bieżnika.
- Ryc. Nr 47 – Technika druku wypukłego.
- Ryc. Nr 48– Strona „White Queen" Banknotu promocyjnego PWPW z zaznaczonym umiejscowieniem numerowania.

- Ryc. Nr 49 – Numeracja banknoty promocyjnego PWPW Szachy wykonana technika typodruku zeskanowana za pomocą skanera światła strukturalnego (siatka trójkątów pokryta teksturą).]
- Ryc. Nr 50 - Numeracja banknoty promocyjnego PWPW Szachy wykonana technika typodruku zeskanowana za pomocą skanera światła strukturalnego (mapa wysokości).
- Ryc. Nr 51 – Technika druku wklęsłego.
- Ryc. Nr 52 – Strona „White Queen" banknotu promocyjnego PWPW „Szachy" z wyróżnionymi miejscami zastosowania techniki druku wklęsłego poddanymi badaniom.
- Ryc. Nr 53 – Wybrane fragmenty modelu 3D banknotu „Szachy" zawierające nadruki wykonane stalorytem.
- Ryc. Nr 54 Wskazane obszary badanego banknotu.
- Ryc. Nr 55 – Wycinek znaku wodnego banknotu promocyjnego szachy zawierający znak wodny (strona „white queen" oraz „black king").
- Ryc. Nr 56 – Znak wodny z zauważalną nienaruszoną strukturą papieru.
- Ryc. Nr 57 – Dowód osobisty z zaznaczonymi zeskanowanymi fragmentami oraz przedstawieniem ich w postaci mapy wysokości.
- Ryc. Nr 58 – Karta tożsamości żołnierza Sił Zbrojnych Rzeczpospolitej Polskiej z zaznaczonym zeskanowanym fragmentem oraz przedstawieniem go w postaci mapy wysokości.
- Ryc. Nr 59 – Widok kątowy promocyjnego banknotu poliwęglanowego PWPW „pszczoła miodna" z widocznymi wypukłościami druku.
- Ryc. Nr 60 – Oznaczenie zębów stałych człowieka wg FDI.
- Ryc. Nr 61 – Model 3D wykonany na podstawie obrazowania za pomocą tomografii komputerowej.
- Ryc. Nr 62 – Model 3D wykonany z wykorzystaniem obrazowania tomografem komputerowym z uwidocznionymi miejscami zastosowania w leczeniu stomatologicznym wypełnień amalgamatem stomatologicznym.
- Ryc. Nr 63 – Modele szczęki Magnusa Haroldsona komesa Mazowieckiego w pierwszej połowie XII wieku wymodelowana za pomocą techniki SFM.
- Ryc. Nr 64– Widok modelu utworzonego na podkładce pomiarowej bez zastosowania znaczników umieszczonych w masie lub oprysku farbą kontrastując.
- Ryc. Nr 65 – Przedstawiająca modele uzyskane z wykorzystaniem danych tomograficznych. Po lewej prawidłowe parametry modelowania. Po prawej model o zbyt wysokim dobraniu kontrastu oraz jasności.
- Ryc. Nr 66 – Kolejne warstwy obrazu uzyskanego za pomocą tomografu komputerowego z zaznaczonymi elementami żuchwy, szczęki i zębów w nich się znajdujących.
- Ryc. Nr 67 – Dopasowanie całościowe modelu cyfrowego szczęki do modelu cyfrowego śladu ugryzienia pozostawionego na skórze świńskiej.
- Ryc. Nr 68 – Dopasowanie cyfrowych modeli 3D przedstawiających odlew protetyczny szczęki oraz świńskiej skóry z odwzorowanym śladem ugryzienia.
- Ryc. Nr 69 – Dopasowanie modeli cyfrowych zębów trzonowych 27, 28 (oznaczenie wg. FDI) z wygenerowaną mapą odchyłek w oparciu o skórę świńską będącą nośnikiem śladu ugryzienia oraz histogramem przedstawiającym liczbę punktów zawartą w przedziałach dokładności dopasowania.

- Ryc. Nr 70 – Mapa odchyleń dopasowania zębów 27, 28 wygenerowana w oparciu o skórę świńską będącą nośnikiem śladu z zaznaczonymi punktami (ich położeniem w lokalnym układzie współrzędnych oraz wartością odchylenia dopasowania.
- Ryc. Nr 71 - Dopasowanie modeli cyfrowych odlewu protetycznego żuchwy do śladu ugryzienia pozostawionego w plastelinie.
- Ryc. Nr 72 – Analiza dopasowania śladu pozostawionego przez ząb 35 w plastelinie do powierzchni tego zęba uzyskanej poprzez wykorzystanie skanera światła strukturalnego na powierzchni odlewu protetycznego.
- Ryc. Nr 73 - Przedstawiająca zgrubne dopasowanie fragmentu szczęki do przegryzionych obiektów.
- Ryc. Nr 74– Pomiar odległości wykonany na modelu cyfrowym odlewu protetycznego oraz materiale dowodowym w postaci nadgryzionej kromki pieczywa.
- Ryc. Nr 75– Przedstawiająca modele cyfrowe poddanych analizie materiałów. W celu zwiększenia przejrzystości modelom zadano kolory odpowiednio pomarańczowy dla materiału dowodowego w postaci przegryzionego wafla, żółty dla modelu protetycznego szczęki pochodzącego od osoby, która przegryzła materiał dowodowy, oraz zielony dla modelu pochodzącego od osoby trzeciej nie biorącej udziału w badaniu. Na rycinie widoczne wyniki pomiaru kąta. W przypadku modeli znajdujących się po lewej i prawej stronie ryciny porównaniu został poddany kąt oznaczony literą B.
- Ryc. Nr 76 – Dopasowanie zgrubne modelu cyfrowego szczęki do modelu cyfrowego obłego przedmiotu w postaci truskawki.
- Ryc. Nr 77 - Pomiary i analiza wykonana na płaskim rzucie ortagonalnym.
- Ryc. Nr 78 – Mapa odchyleń pomiarowych uzyskanych pomiędzy dwoma chmurami punktów tego samego materiału porównawczego. (skala w mm).
- Ryc. Nr 79 – Wykres liczby punktów w zakresach błędów pomiaru (oś y przedstawia liczbę punktów, oś y przedstawia błąd pomiarowy wyrażony w mm).
- Ryc. Nr 80 - Mapa odchyleń pomiarowych ukazująca odchylenia nie przekraczające w skrajnych przypadkach maksymalnie 0,4 mm.
- Ryc. Nr 81 - Wykres błędów pomiarowych uzyskanych na segmencie podbicia buta.
- Ryc. Nr 82 - Mapa odchyłków oraz wykres błędów pokrycia śladu w stosunku do modelu referencyjnego obuwia.
- Ryc. Nr 83 – Sposób podziału buta oraz śladu na segmenty poddawane analizie.
- Ryc. Nr 84 - Mapa odchyłków pomiędzy podbiciem materiału porównawczego, a śladem.
- Ryc. Nr. 85 – Wykres błędów pokrycia pomiędzy podbiciem materiału porównawczego, a śladem.
- Ryc. Nr 86 – Przykładowa fotografia fotogrametryczna zamieszczona w książce „Medycyna Sądowa" autorstwa profesora Leona Wachholza z roku 1920.
- Ryc. Nr 87– Widok powierzchniowego modelu teksturowanego wykonanego techniką SFM rany w zgięciu stawu łokciowego.
- Ryc. Nr 88 – Szkice stosowane standardowo podczas obrazowania sekcji zwłok (po prawej szkic z autopsji J.F. Kenediego.
- Ryc. Nr 89 – Przykładowe szkice wykonane z wykorzystaniem techniki modelowania SFM z oznaczonymi obrażeniami oraz zmianami pośmiertnymi przedstawionymi w rzutach szczegółowych.
- Ryc. Nr 90 – Trzy kolejne obrazy tomografii komputerowej o dokładności 1mm przedstawiające obraz klatki piersiowej.

- Ryc. Nr 91 – Model płuc z widocznymi elementami wewnątrz narządowymi wykonany z użyciem obrazu z tomografu komputerowego.
- Ryc. Nr 92 – Widok modelu 3D mózgu uzyskanego wskutek obróbki obrazów uzyskanych za pomocą rezonansu magnetycznego.
- Ryc. Nr 93 – Model żuchwy wykonany z wykorzystaniem obrazowania TK z zaznaczonymi miejscami jej złamania.
- Ryc. Nr 94 – Ograny wewnętrzne wymodelowane za pomocą obrazowania tomograficznego po lewej serce, po prawej nerki.
- Ryc. Nr 95 – Model trójwymiarowy wykonany z wykorzystaniem tomografii komputerowej przedstawiający rekonstrukcję twarzy oraz pooperacyjne uszkodzenia czaszki.
- Ryc. Nr 96 – Przestrzenie powietrza w ciele człowieka (płuca oraz zawierające gazy elementy przewodu pokarmowego.
- Ryc. Nr 97 – Ciało obce w postaci metalicznych implantów w żuchwie.
- Ryc. Nr 98 – Model 3D guza umiejscowionego w lewym płacie płuca.

WYKAZ TABEL

- *Tab. Nr 1 – Wykaz numerów przyporządkowanych poszczególnym cechom anatomicznym osoby, której wykonywana jest fotografia sygnalityczna.*
- *Tab. Nr 2 – Tabela klas dokładności zawarta w Rozporządzeniu Ministra Rozwoju z dnia 2 czerwca 2016 r. w sprawie wymagań dla przyrządów pomiarowych.*
- *Tab. Nr 3 – Liczba pojazdów silnikowych w latach 2009-2018*
- *Tab. Nr 4 -Liczba wypadków drogowych w latach 2009-2018.*
- *Tab. Nr 5 – Tabelaryczne przedstawienie wyników dopasowania modeli cyfrowych zębów 27,28 oraz śladu przez nie pozostawionych na świńskiej skórze.*

STRESZCZENIE

The purpose of this doctoral dissertation is to present the forensic and legal aspects of 3D scanning using and modeling of crime scenes and the evidence contained therein for the needs of forensics and criminal trials. Due to the continuous technological progress, these possibilities have not been comprehensively described, and the model of their legal use has not been developed. The dissertation, in order to organize and develop the possibility of using 3D technology in a criminal trial, describes both classic technologies of documenting a crime scene, such as forensic photography, rules of dimensioning or rules for drawing up forensic sketches, as well as 3D technologies. In its content, it indicates the connections between these areas, and thus shows the legitimacy of using modern methods of modeling and scanning in the practice of law enforcement agencies. The possibilities and techniques of 3D scanning described in the dissertation were discussed on the basis of the author's many years of practice in the use of 3D technology in criminal and court proceedings. The issues covered in the dissertation are not limited to the activity itself and the rules of modeling the scene of the event. The further part of the dissertation describes the possibilities of its use (its advantages and limitations compared to classical methods) in the process of analyzing traces and their use in forensic reasoning and constructing expert opinions on their basis. The dissertation raises the issue of using 3D technology in the case of examining air disasters, traffic accidents, as well as in the case of examining individual traces in the field of forensic medicine, odontoscopy, traseology and many other fields of forensic science.

The possibilities of using 3D technology in forensic science are described on the basis of the author's experience (development of 3D modeling for the needs of several dozen criminal cases conducted by the Police and Military Police in the field of air disasters, traffic accidents, construction disasters, the use of explosives and homicides).

The dissertation ends with a legal analysis of the possibility of using 3D modeling in Polish criminal proceedings, determining the possibilities of their development and conclusions.