

3D Surface Scanning of Corpses – Assessment of the Usefulness of the Procedure in Collecting and Archiving Evidence

Skanowanie powierzchniowe 3D zwłok – ocena przydatności procedury w gromadzeniu i archiwizacji materiału dowodowego

Krzysztof Maksymowicz ^[1] • Wojciech Tunikowski ^[1,2]

1. 3D Analysis Laboratory Department of Forensic Medicine of Wrocław Medical University

Laboratorium Ekspertyz 3D, Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu, Wydział Lekarski, Katedra Medycyny Sądowej

2. Faculty of Architecture, Wrocław University of Science and Technology

Politechnika Wrocławska, Wydział Architektury, Katedra Architektury i Użyteczności Publicznej

Abstract

The aim of the study was to assess the usefulness of 3D surface scanning of corpses as a procedure for collecting and archiving evidence material in forensic medical practice. The research material consisted of surface scans of the bodies of deceased individuals undergoing autopsy at the request of the prosecutor's office. Scanning was performed non-invasively, without direct contact between the device and the body, using an Apple LiDAR sensor and the Recon3D application. The procedure included three stages: scanning the body in clothing, without clothing, and after washing; at each stage, both the anterior and posterior surfaces of the body were recorded. The examination produced digital 3D models of the corpses in the form of computer files, enabling interactive viewing, taking measurements, generating cross-sections, and comparing the models with other 3D objects on the same scale. The models were also presented without perspective distortion, which allowed the correct proportions and dimensions of the body to be preserved. Using the obtained models in combination with data from the scene, biological and technical traces, and other 3D materials made it possible to analyze the course of events in various types of cases, including shootings, stab wounds, pedestrian impacts, falls from height, and beatings. The study emphasizes that 3D surface scanning of corpses does not replace traditional photographic documentation but constitutes a significant extension of it. The conclusions indicate that the method is fast, non-invasive, and useful both for archiving and for later analysis of evidence material. The resulting models increase the visual value of the documentation, facilitate integration with other imaging studies, can be quickly shared with remote experts, and may serve as a basis for reconstructing the probable course of events in a 3D environment.

Keywords

3D scanning, body imaging, graphic documentation, postmortem examination documentation, anthropometry

Streszczenie

Celem pracy była ocena przydatności powierzchniowego skanowania 3D zwłok jako procedury gromadzenia i archiwizacji materiału dowodowego w praktyce medyczo-sądowej. Materiał badawczy stanowiły skany powierzchniowe sylwetek zwłok poddawanych badaniu sekcijnemu na zlecenie prokuratury. Skanowanie wykonywano bezinwazyjnie, bez bezpośredniego kontaktu urządzenia ze zwłokami, z użyciem sensora LiDAR Apple i aplikacji Recon3D. Procedura obejmowała trzy etapy: skan zwłok w odzieży, bez odzieży oraz po umyciu; na każdym etapie rejestrowano przednią i tylną powierzchnię ciała. W wyniku badania uzyskano cyfrowe modele 3D zwłok w postaci plików komputerowych, umożliwiającich interaktywne oglądanie, wykonywanie pomiarów, generowanie przekrojów oraz zestawianie z innymi obiektami 3D w tej samej skali. Modele prezentowano również bez zniekształceń perspektywicznych, co pozwalało zachować prawidłowe proporcje i wymiary ciała. Zastosowanie uzyskanych modeli do syntezy z danymi z miejsca zdarzenia, śladami biologicznymi i technicznymi oraz innymi materiałami 3D umożliwiło analizę przebiegu zdarzeń w różnych typach spraw, m.in. postrzałów, ran kłutych, potrąceń, upadków z wysokości i pobić. Praca zwraca uwagę, że powierzchniowe skanowanie 3D zwłok nie zastępuje klasycznej dokumentacji fotograficznej, lecz stanowi jej istotne rozszerzenie. Wnioski wskazują, że metoda jest szybka, bezinwazyjna i użyteczna zarówno do archiwizacji, jak i do późniejszej analizy materiału dowodowego. Uzyskane modele zwiększają wartość wizualizacyjną dokumentacji, ułatwiają integrację z innymi badaniami obrazowymi, mogą być szybko przekazywane ekspertom na odległość i stanowią podstawę rekonstrukcji prawdopodobnego przebiegu zdarzenia w środowisku 3D.

Słowa kluczowe

Skanowanie 3D; obrazowanie ciała, dokumentacja graficzna, dokumentacja badania pośmiertnego, antropometria

Introduction

For forensic medicine to respond effectively to contemporary challenges, continuous development and the implementation and integration of modern technologies are essential. One promising direction of progress is the use of three-dimensional imaging (3D imaging) as a method of image acquisition for obtaining data that form an information set used in conducting forensic medical and criminalistic analyses, and consequently, in issuing expert opinions in these fields [1, 2]. This technology has already demonstrated high effectiveness in the analysis of evidence material, as confirmed by reports, unfortunately still from only a limited number of research centers in this field. Spatial imaging is used in many areas, such as reconstruction of the course of events and the mechanism of injury formation, ballistic, mechanoscopic and trace analyses, assessment of the nature and topography of bloodstains, traffic incidents, disasters, and more. To conduct a comprehensive analysis using 3D technology, it is essential to obtain a digital image record of the elements most crucial to the given event [3]:

- **the scene of the event** – its topography, layout, distribution of traces, etc.,
- **the participants of the event** – their positions, injuries, and mutual spatial relations,
- **tools and other elements related to the event** – both on the micro- and macro-scale,
- **biological and physico-chemical phenomena** – various types of biological and technical processes.

Wprowadzenie

Aby medycyna sądowa mogła skutecznie odpowiadać na współczesne wyzwania, koniecznym jest jej stały rozwój oraz implementacja i integracja nowoczesnych technologii. Jednym z obiecujących kierunków rozwoju jest wykorzystanie trójwymiarowego obrazowania (obrazowania 3D), jako metody rejestracji obrazu dla pozyskiwania danych, stanowiących zbiór informacji do przeprowadzania analiz medyczo-sądowych i kryminalistycznych, a w konsekwencji opiniowania w tych dziedzinach [1, 2]. Technologia ta już w praktyce wykazała wysoką skuteczność w analizach materiału dowodowego, co potwierdzają doniesienia, niestety jeszcze z nielicznych ośrodków badawczych na tym polu. Obrazowanie przestrzenne znajduje zastosowanie w wielu obszarach, takich jak: rekonstrukcja przebiegu zdarzeń i mechanizmu powstania obrażeń, analizy balistyczne, mechanoskopijne, traseologiczne, charakteru i topografii śladów krwawych, zdarzeń komunikacyjnych, katastrof, itp. Dla przeprowadzenia kompleksowej analizy w technologii 3D, niezbędne jest uzyskanie cyfrowego zapisu obrazu najistotniejszych dla danego zdarzenia elementów [3]:

- **miejsce zdarzenia** – jego topografia, ukształtowanie, rozmieszczenie śladów itp.,
- **uczestnicy zdarzenia** – ich pozycje, obrażenia, wzajemne relacje przestrzenne,
- **narzędzia i inne elementy związane ze zdarzeniem** – zarówno w skali mikro jak i makro,
- **zjawiska biologiczne i fizyko chemiczne** – różnego rodzaju zjawiska natury biologicznej i technicznej.

After obtaining a digital image record of the key elements described above, they are combined into a single shared digital space, with proper scale and topography preserved. As a result, a so-called 3D scene is created, representing a spatial reconstruction of the situation examined during the proceedings. This report discusses one of the components of such a 3D scene – the “participants of the event,” in particular the victim who died as a result of the incident under analysis. Only the integration of all elements of the 3D scene makes it possible to reconstruct the possible course of the event with a level of precision and probability unattainable by other methods. This, in turn, makes the results of the analysis and the expert opinion more accessible and comprehensible to participants in the proceedings, including, for example, experts from other fields.

Po uzyskaniu cyfrowego zapisu obrazu istotnych elementów jak opisane powyżej, następuje ich zestawienie w jednej, wspólnej przestrzeni cyfrowej z zachowaniem właściwej skali oraz topografii. W rezultacie powstaje tzw. scena 3D, stanowiąca przestrzenne odwzorowanie sytuacji badanej w toku postępowania. Przedmiotowe doniesienie omawia jeden z powyższych elementów tzw. sceny 3D, – „uczestnicy zdarzenia” – w szczególności osobę pokrzywdzoną, która w wyniku analizowanego zdarzenia poniosła śmierć. Dopiero połączenie wszystkich elementów sceny 3D umożliwia odwzorowanie możliwego przebiegu zdarzenia w nieosiągalnym innymi metodami stopniu precyzji i prawdopodobieństwa jego zaistnienia, co czyni wyniki analizy i opinii jeszcze bardziej dostępnymi i zrozumiałymi dla uczestników postępowania, w tym na przykład biegłych z innych dziedzin.

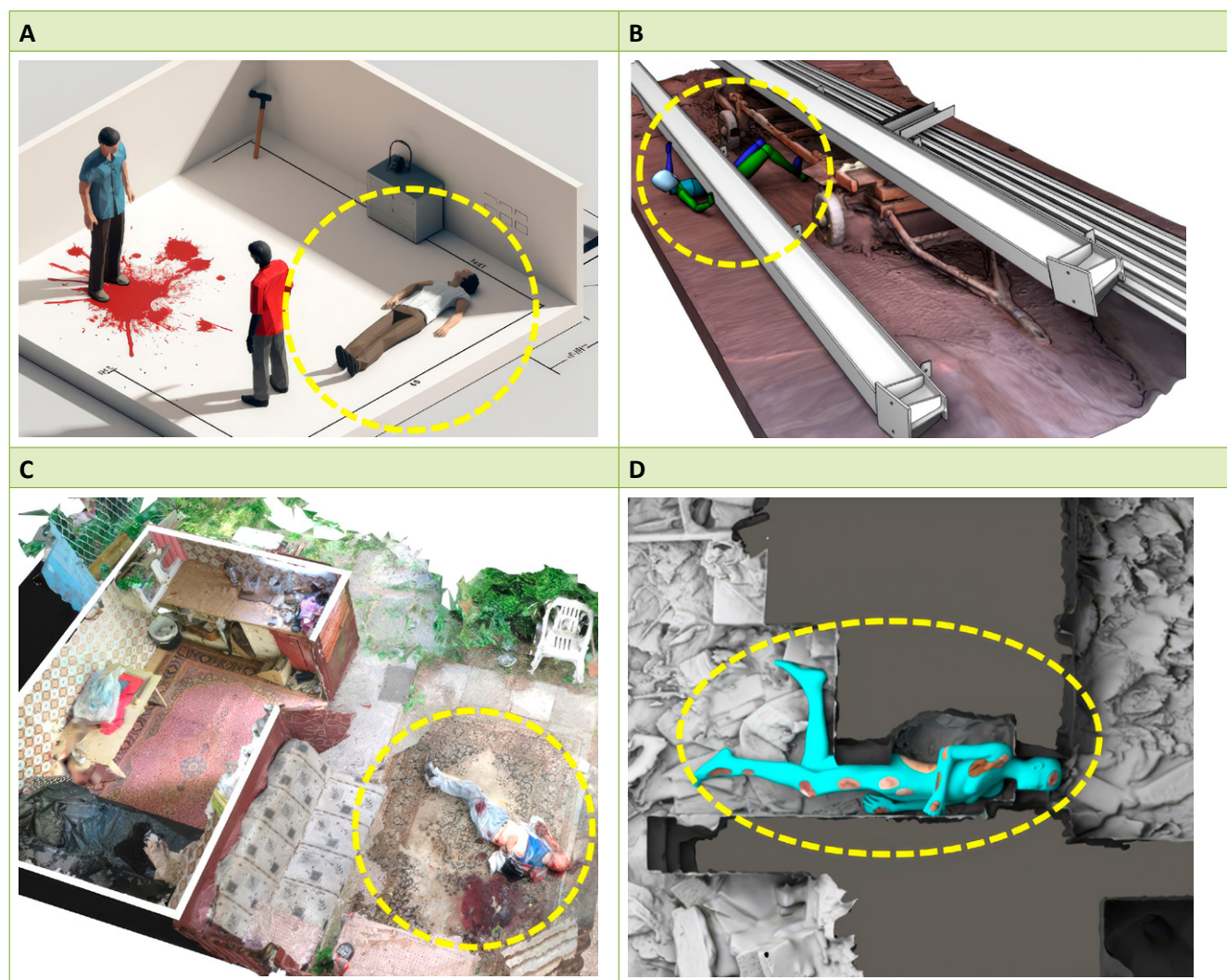


Fig. 1. Example of a 3D scene highlighting the 3D model of a corpse
Ryc. 1. Przykład scen 3D z wyróżnieniem modelu 3D zwłok

Aim of the study

The aim of the study is to assess the usefulness of 3D surface scanning of corpses as a procedure for collecting and archiving evidence material. Positive results of this assessment are intended to serve as the basis for implementing the method as a routine procedure, whereas negative results are meant to prompt further search for alternative solutions and methods.

Material and methods

The research material consisted of surface scans of the bodies of deceased individuals who underwent autopsy at the Department of Forensic Medicine of the Medical University of Wrocław, commissioned by the prosecutor's office. The scanning was one of the procedures used to secure evidence in the case. The 3D scanning of the corpses was performed non-invasively, and the recording device did not come into direct contact with the body. The procedure included three stages of scanning:

- scan of the body in clothing,
- scan of the body without clothing,
- scan of the body without clothing after washing.

To ensure complete documentation of the body's surface, two scans were performed at each stage: a scan of the anterior surface of the body and a scan of the posterior surface after the body was turned over. The rotation of the body followed the course of the routine autopsy procedure, and this fact was used to obtain full surface documentation.

Bodies are not routinely scanned after being opened, unless there is a specific need, for example, to analyze the course of stab or gunshot wound channels, or to document the morphology of injuries to internal organs within the body cavities, bones, or other relevant structures.

Cel pracy

Celem pracy jest ocena przydatności skanowania powierzchniowego 3D zwłok, jako procedury w gromadzeniu i archiwizacji materiału dowodowego. Pozytywne wyniki tej oceny mają stanowić podstawę wdrożenia metody jako rutynowej, negatywne natomiast, mają stanowić przyczynek do dalszych poszukiwań rozwiązań i metod alternatywnych.

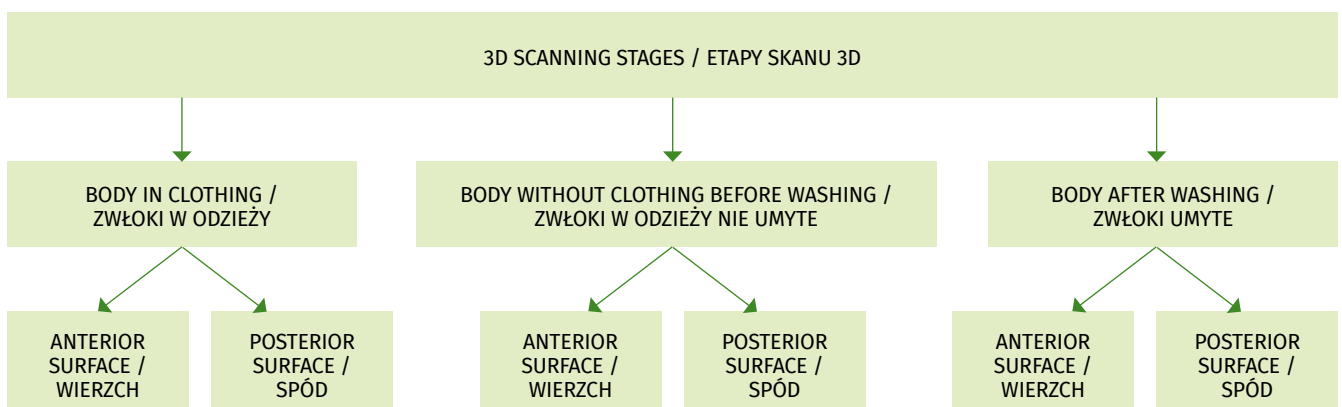
Materiał i metody

Materiał badawczy stanowiły skany powierzchniowe sylwetek zwłok, poddanych badaniu sekcijnemu w Katedrze Medycyny Sądowej Uniwersytetu Medycznego we Wrocławiu na zlecenie prokuratury. Powyższe skanowanie było jednym z elementów zabezpieczania materiału dowodowego w sprawie. Skanowanie 3D zwłok wykonano bezinwazyjnie, rejestrator nie miał bezpośredniego kontaktu ze zwłokami. Procedura objęła trzy etapy skanowania:

- skan zwłok w odzieży,
- skan zwłok bez odzieży,
- skan zwłok bez odzieży po ich umyciu.

Aby zapewnić pełną dokumentację obrazu powierzchni ciała, na każdym etapie skanowania wykonywano dwa skany: przedniej powierzchni ciała i tylnej po odwróceniu zwłok. Obrót zwłok był podyktowany przebiegiem rutynowego badania sekcijnego, ten fakt wykorzystano do wykonania pełnej dokumentacji powierzchni.

Zwłoki po otwarciu nie są skanowane rutynowo, chyba że zachodzi szczególna potrzeba, na przykład w celu analizy przebiegu kanałów ran kłutych lub postrzałowych, czy udokumentowania morfologii obrażeń narządów wewnętrznych jam ciała, kości lub innych artefaktów.



Tab. I. Stages of 3D surface scanning of a corpse

Tab. I. Etapy skanowania powierzchniowego 3D zwłok

For full-body documentation, an Apple LiDAR sensor integrated into PRO-series devices (iPhone and iPad) was used together with the Recon3D application. This technology is already widely applied in forensic medicine and criminalistics [4, 5], and its usefulness has been confirmed in practical work [6, 7]. Laboratory staff hold operator certification for the Recon3D application. Using the Recon3D + Apple LiDAR system, three-dimensional scans were obtained in a kinematic manner, meaning that no tripod mounting was required.

The application includes a built-in algorithm for reconstructing true scale, ensuring that the final product – a color point cloud – reflects the actual dimensions of the object without the need for further calibration.

Results

The results of the study are surface images of the bodies. The scanning process produced image data in the form of computer files containing three-dimensional 3D models of the corpses. As a result, it became possible to interactively:

- zoom in and out of the 3D models,
- rotate, move, and isolate selected parts of the 3D models,
- generate cross-sections and perform specified measurements,
- compare 3D body models with other 3D files at the same scale.

The obtained 3D models were displayed without perspective distortion, i.e., as orthographic projections. This allows for the reading of true, accurate body dimensions and proportions.

These data can also be presented using:

- isometric 2D images,
- 3D printers [8] (as physical models),
- virtual reality (VR) [9],
- augmented reality (AR).

In each of the examined cases, the obtained 3D models of the bodies were compared with the materials collected during the investigation and converted into 3D form by the experts. This applied in particular to the visual documentation of the crime scene and its participants, as well as to biological and technical traces (e.g., bloodstain patterns).

The synthesis of these data made it possible to present a hypothetical, probable course of events, as well as to indicate versions of the incident whose occurrence would be significantly unlikely. A set of example analyses based on the 3D scan of the body in the autopsy room and its synthesis with the case materials is presented in the following compilation:

Do rejestracji całościowej sylwetki użyto sensora LiDAR firmy Apple, wbudowanego w urządzenia serii PRO (iPhone oraz iPad), wraz z aplikacją Recon3D. Technologia ta znajduje już szerokie zastosowanie w medycynie sądowej i kryminalistyce [4, 5], jej przydatność została praktycznie potwierdzona [6, 7]. Pracownicy Laboratorium posiadają certyfikację operatorów aplikacji Recon3D. Zestawem Recon3D + Apple LiDAR wykonano trójwymiarowe skany w sposób kinematyczny, czyli bez konieczności montażu urządzenia na statywie.

Aplikacja zawiera wbudowany algorytm rekonstrukcji skali rzeczywistej, dzięki czemu końcowy produkt – kolorowa chmura punktów – odwzorowuje rzeczywiste wymiary obiektu bez konieczności dalszej kalibracji.

Wyniki

Wyniki badań to obrazy powierzchniowe zwłok. Wykonując skanowanie otrzymano zapis obrazu w postaci plików komputerowych zawierających trójwymiarowe modele 3D zwłok. W wyniku powyższego możliwym stało się w sposób interaktywny:

- przybliżanie i oddalanie modeli 3D,
- obracanie, przesuwanie oraz izolowanie wybranych partii modeli 3D,
- generowanie przekrojów i wykonanie zadanych pomiarów,
- zestawianie modeli 3D zwłok z innymi plikami 3D w tej samej skali.

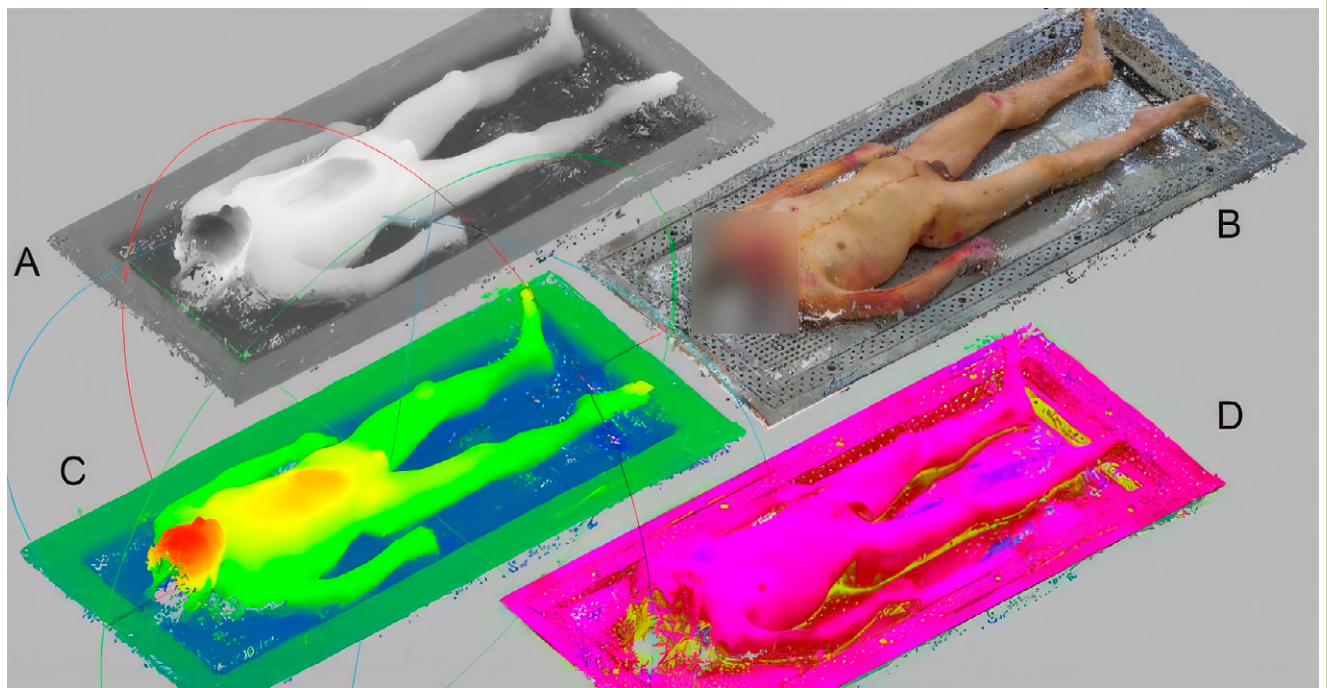
Uzyskane modele 3D wyświetlono bez zniekształceń perspektywicznych, tj. w postaci rzutów płaskich. Umożliwia to odczyt, rzeczywistych, poprawnych wymiarów i proporcji ciała.

Dane te można również przedstawić z wykorzystaniem:

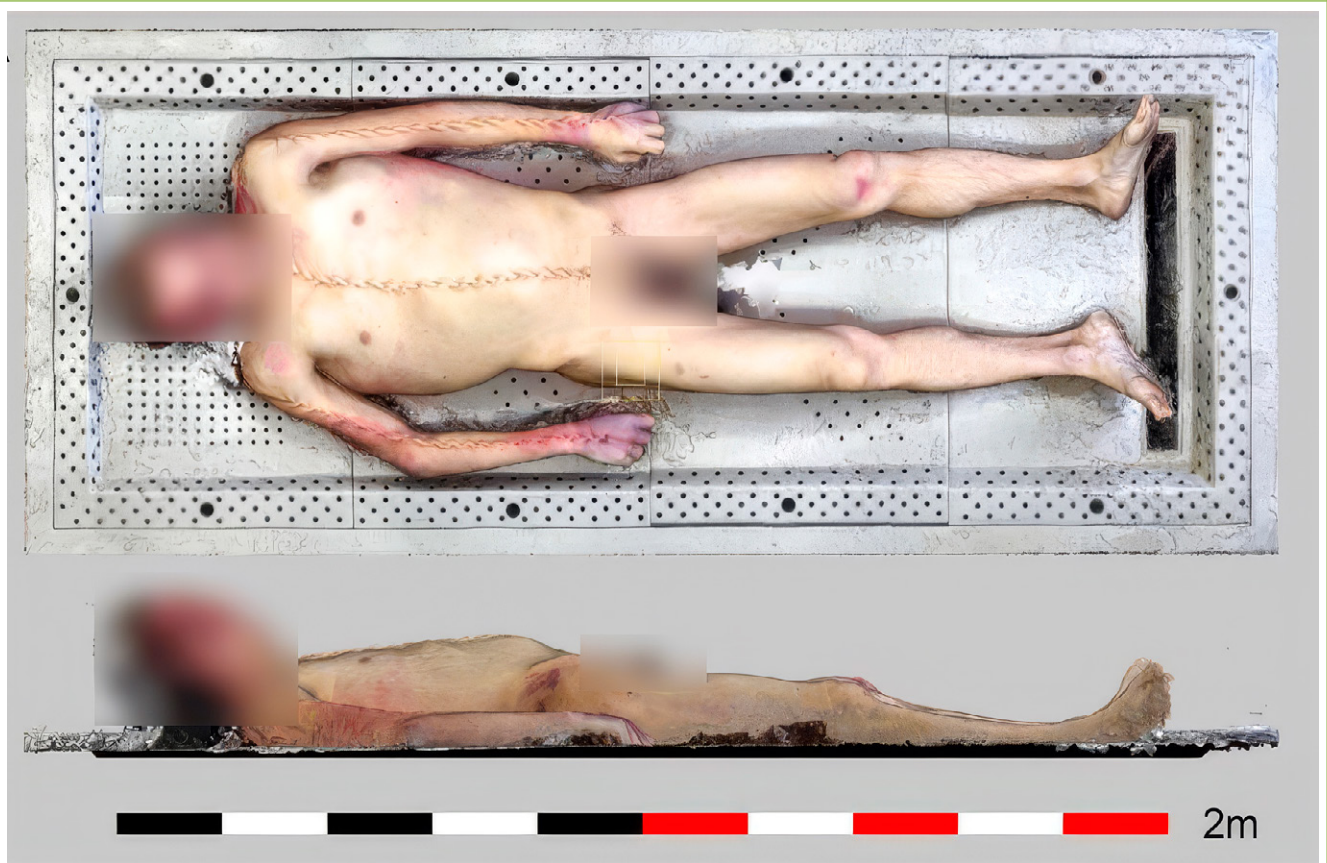
- izometrycznych obrazów 2D,
- drukarek 3D [8] (w postaci fizycznych modeli),
- rzeczywistości wirtualnej (VR) [9],
- rzeczywistości rozszerzonej (AR).

W każdym z badanych przypadków, uzyskane modele 3D zwłok, zestawiono z materiałami zgromadzonymi w toku postępowania i przekonwertowanymi do postaci 3D przez biegłych. W szczególności dotyczyło to obrazu miejsca zdarzenia i jego uczestników oraz śladów biologicznych i technicznych (np. śladów krwawych). Synteza danych jak wyżej pozwoliła na przedstawienie obrazu hipotetycznego, prawdopodobnego przebiegu zdarzenia jak również wskazanie wersji zdarzenia której zaistnienie byłoby znacząco mało prawdopodobne. Zestawienie przykładowych analiz w oparciu o skan 3D zwłok w sali sekcyjnej i jego syntezę z danymi zebranymi w sprawie, przedstawia poniższe zestawienie:

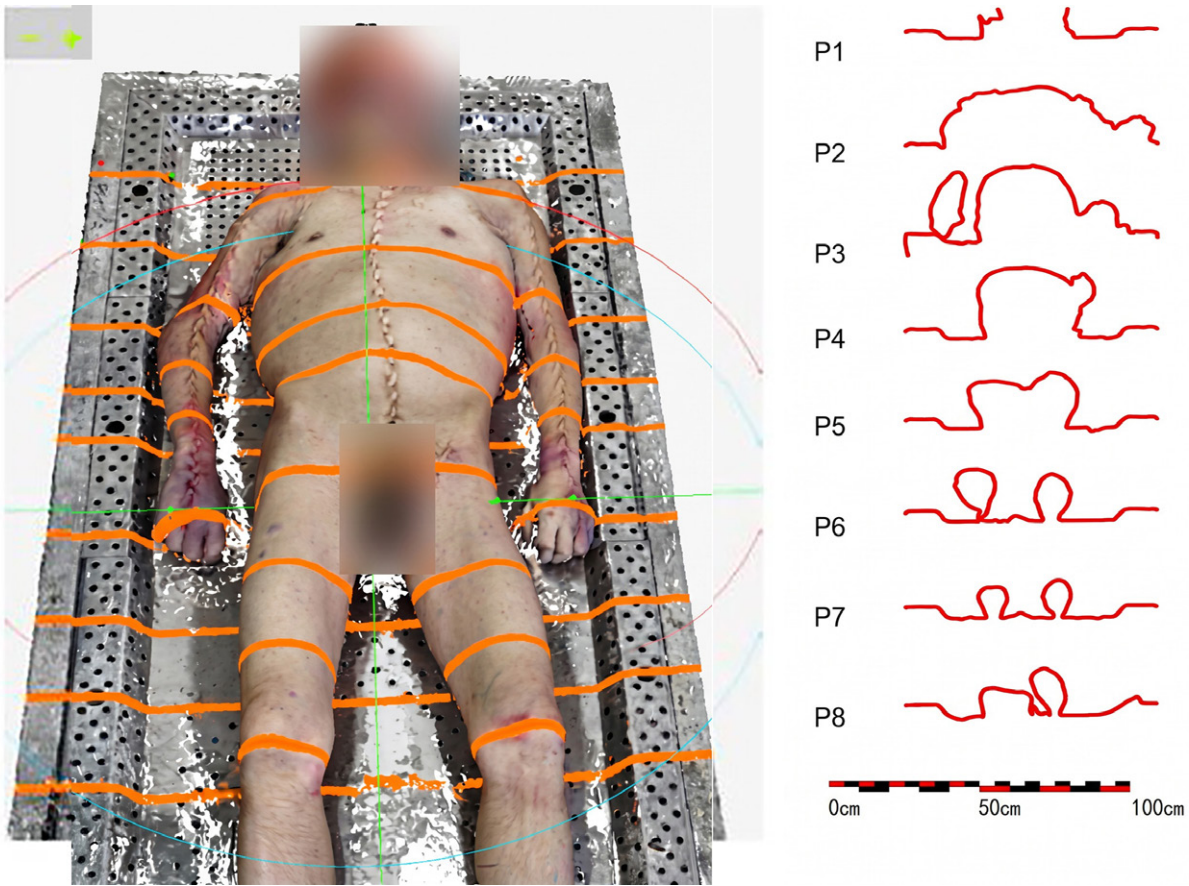
A



B



C



D

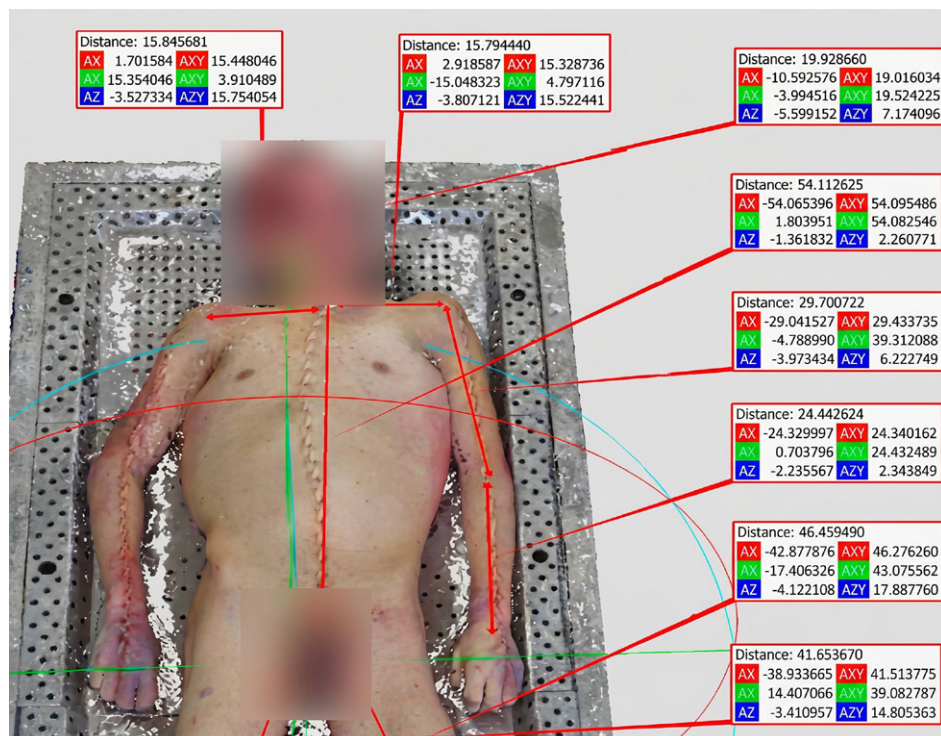


Fig. 2. Results of 3D surface scanning of the corpse

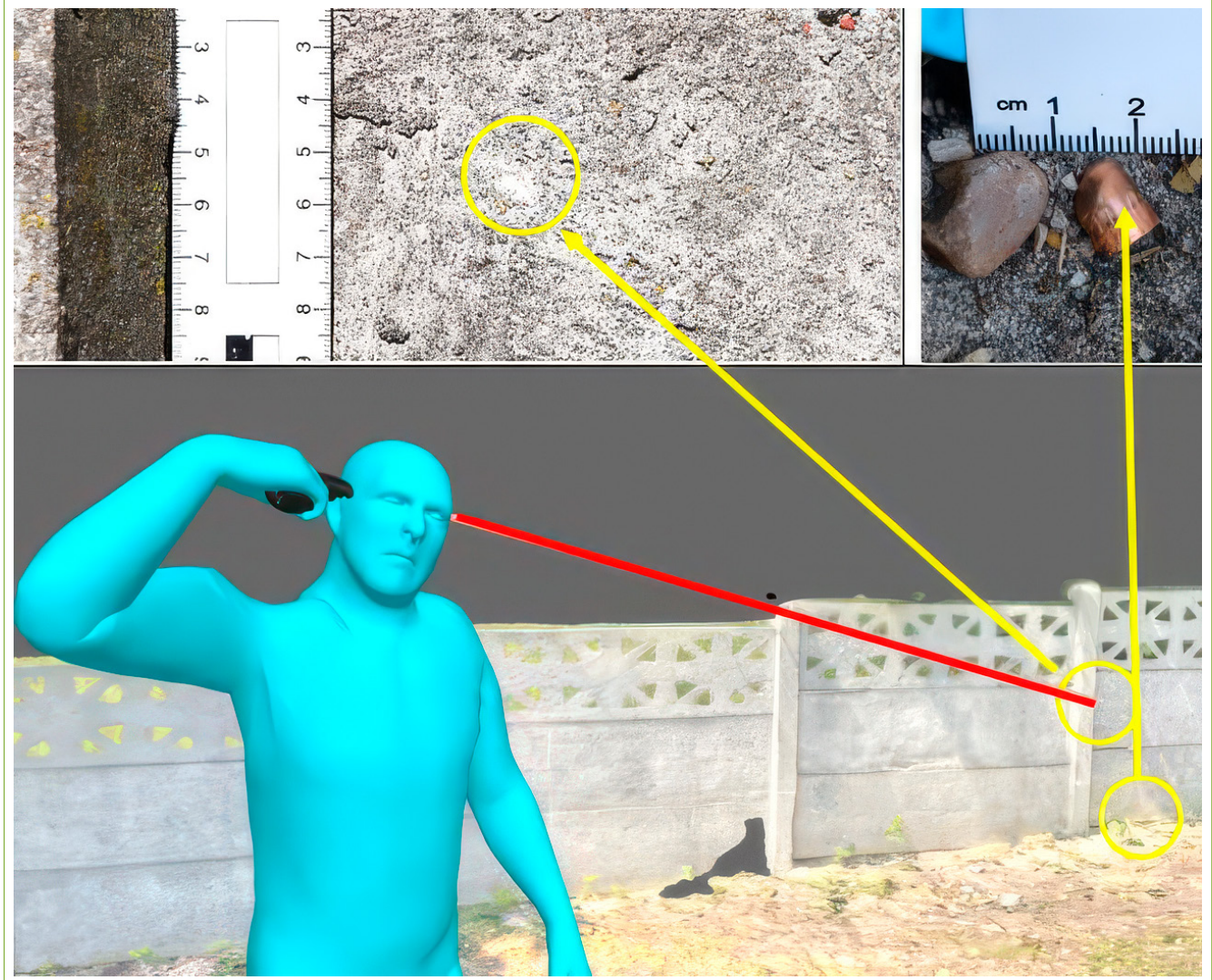
A: Isometric views of the 3D scan using different color filters. B: Isometric views (without perspective distortion). C: Extraction of vertical cross-sections. D: Arbitrarily selected measurements

Ryc. 2. wyniki skanowania powierzchniowego 3D zwłok
A: widoki izometryczne skanu 3D w różnych filtracjach barwnych. B: widoki izometryczne (pozbawione zniekształceń perspektywicznych). C: ekstrakcja przekroi pionowych. D: dowolne wymiary

Tab. II. Example of the practical use of 3D surface scanning of a corpse

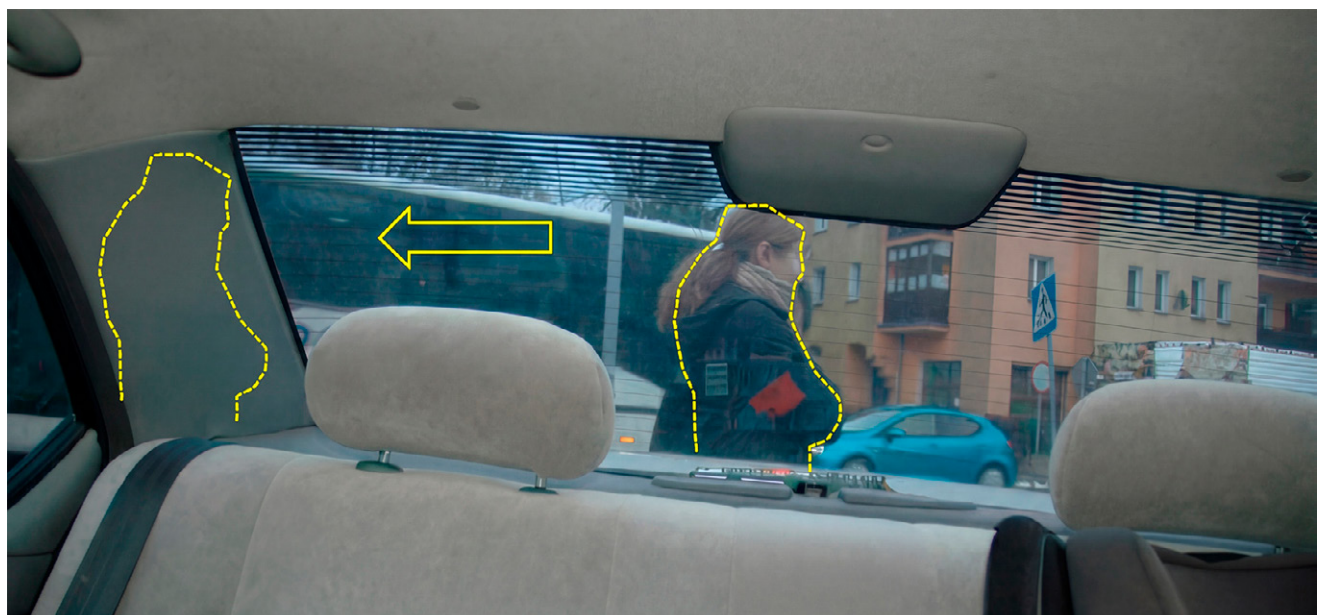
Tab. II. Przykład praktycznego wykorzystania skanu 3D powierzchniowego zwłok

Case type	Evidentiary thesis	Case description	Research objective	Result
Rodzaj przypadku	Teza dowodowa	Opis przypadku	Cel badawczy	Wynik
Gunshot wound	Suicide or homicide	A body found in an open area with a single gunshot wound to the head. Multiple blood traces, an impact mark from the projectile on a concrete element of the fence, and the projectile itself located below on the ground.	Determining the trajectory of the gunshot in the context of the injuries and the surrounding artefacts.	Determining the trajectory of the gunshot in the context of the injuries, bloodstain patterns, and the topography of the area indicated a possible suicide.
Postrzał	Samobójstwo czy zabójstwo	Zwłoki w otwartej przestrzeni z pojedynczą raną postrzałową głowy. Mnogie ślady krwawe, ślad po pocisku na betonowym elemencie ogrodzenia, sam pocisk poniżej na podłożu	Ustalenie trajektorii postrzału w kontekście obrażeń i artefaktów otoczenia.	Ustalenie trajektorii postrzału w kontekście obrażeń, śladów krwawych i topografii terenu, wskazało na możliwe samobójstwo



Tab. III. Example of the practical use of 3D surface scanning of a corpse
Tab. III. Przykład praktycznego wykorzystania skanu 3D powierzchniowego zwłok

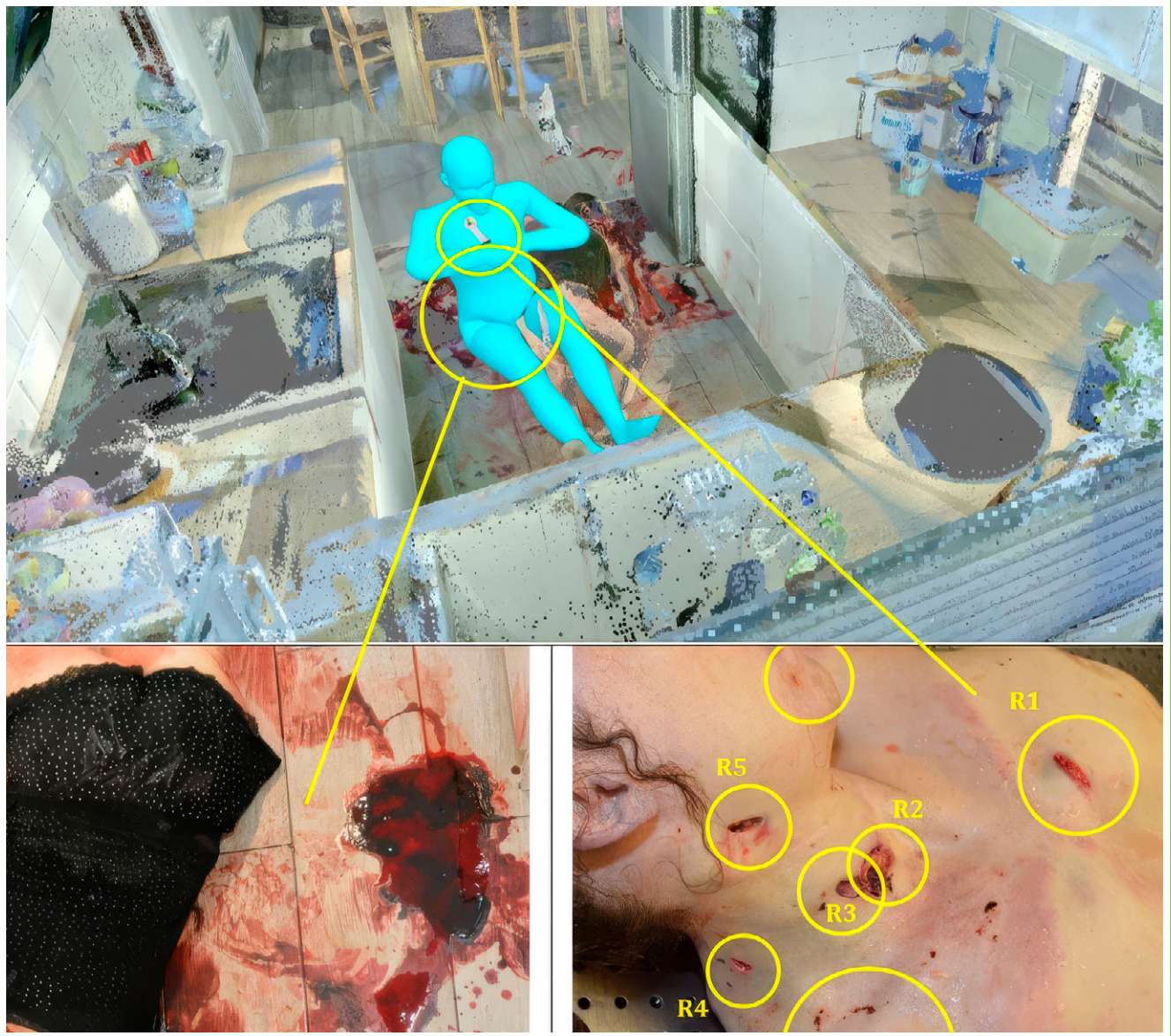
Case type	Evidentiary thesis	Case description	Research objective	Result
Rodzaj przypadku	Teza dowodowa	Opis przypadku	Cel badawczy	Wynik
Vehicle-pedestrian collision	The range of visibility of the victim's body as perceived by the driver.	Reversing out of a parking space, pedestrian impact. The driver's visibility was limited by the topography of the area, the vehicle's construction, and the weather conditions.	Determining the mirror's field of view and establishing the position of the victim's body as visible within that field.	A possible lack of visibility of the victim's silhouette in the vehicle's rear-view mirror from the driver's perspective.
Potrącenie	Zakres widoczności postaci ciała osoby pokrzywdzonej przez kierowcę	Cofanie z miejsca parkingowego, potrącenie pieszego. Ograniczona widoczność kierowcy poprzez topografię terenu, konstrukcję samochodu oraz warunki atmosferyczne	Wyznaczanie pola widzenia lusterka oraz ustalenie pozycji ciała pokrzywdzonej w lusterku wstecznym samochodu	Możliwy brak widoczności sylwetki ciała pokrzywdzonej przez kierowcę w lusterku wstecznym samochodu



Tab. IV. Example of the practical use of 3D surface scanning of a corpse

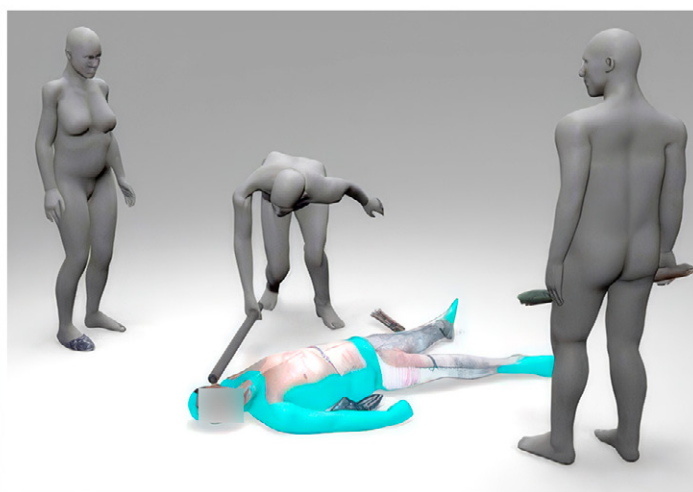
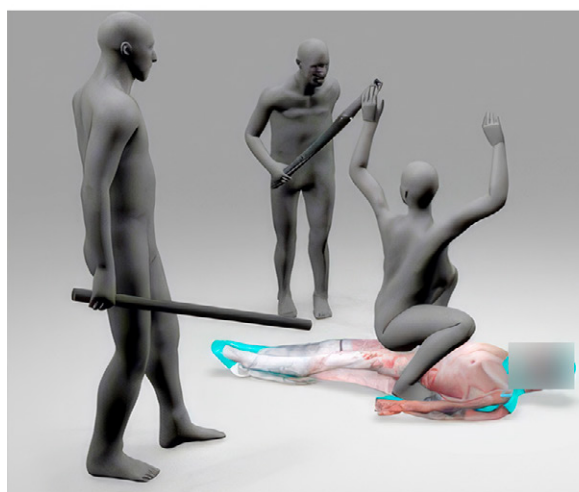
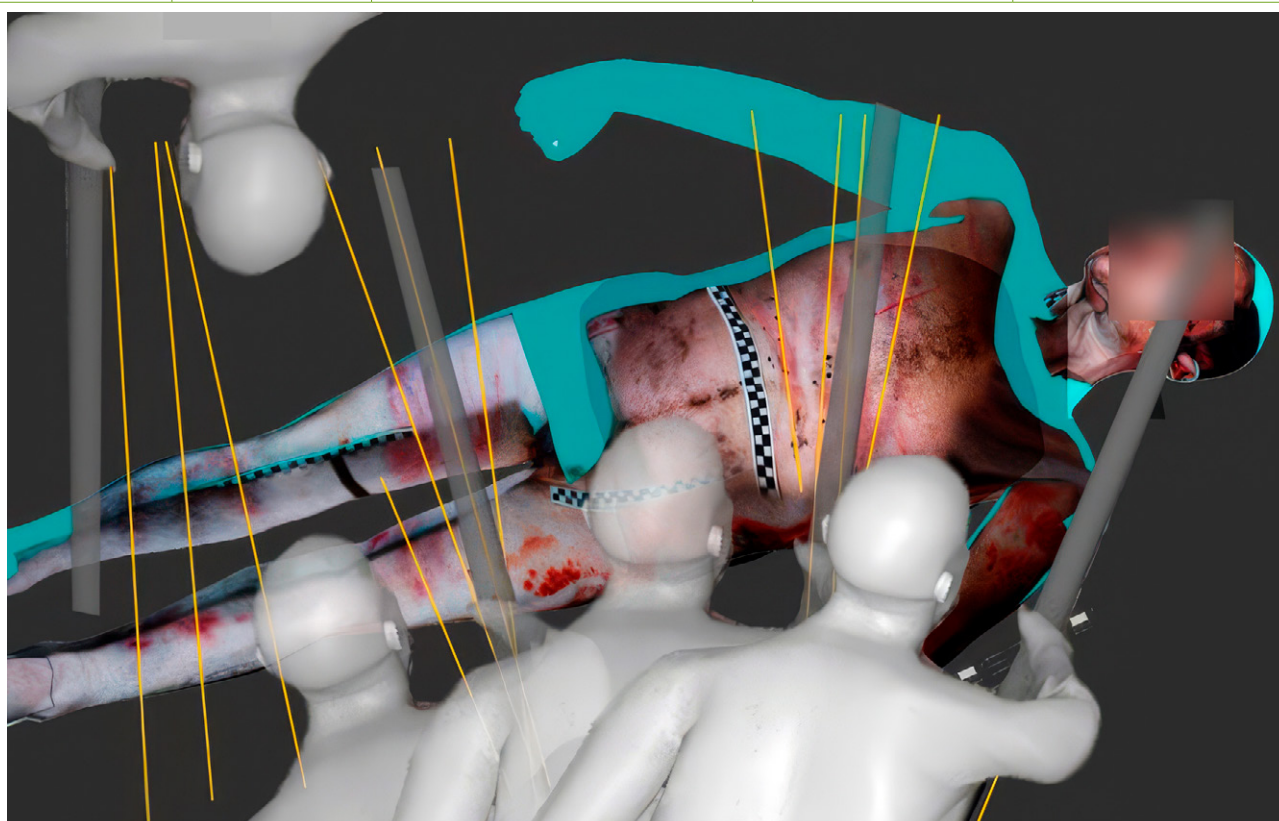
Tab. IV. Przykład praktycznego wykorzystania skanu 3D powierzchniowego zwłok

Case type	Evidentiary thesis	Case description	Research objective	Result
Rodzaj przypadku	Teza dowodowa	Opis przypadku	Cel badawczy	Wynik
Stab wound	Suicide or homicide	Multiple stab wounds to the chest and neck. Numerous bloodstain traces within a confined interior space. Two knives located in close proximity to the body.	The victim's ability to reach her own body with her hand.	The synthesis of the body silhouette, the morphology of the instrument, the topography of the injuries, and the pattern of bloodstains made it possible to confirm the plausibility of suicide.
Rana kłuta	Samobójstwo czy zabójstwo	Liczne rany kłute klatki piersiowej i szyi. Mnogość śladów krwawych w ograniczonej przestrzeni wewnętrznej. Dwa noże w bezpośredniej bliskości zwłok	Dostępność ręki pokrzywdzonej do własnego ciała	Synteza sylwetki ciała, morfologii narzędzia, topografii obrażeń oraz obraz śladów krwawych, pozwoliło potwierdzić możliwość samobójstwa



Tab. V. Example of the practical use of 3D surface scanning of a corpse
Tab. V. Przykład praktycznego wykorzystania skanu 3D powierzchniowego zwłok

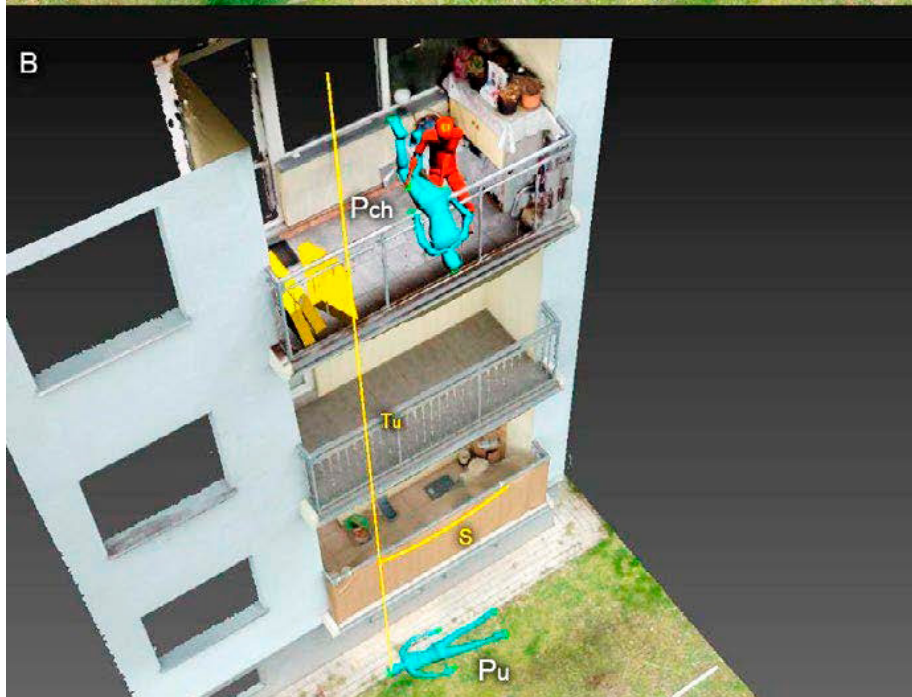
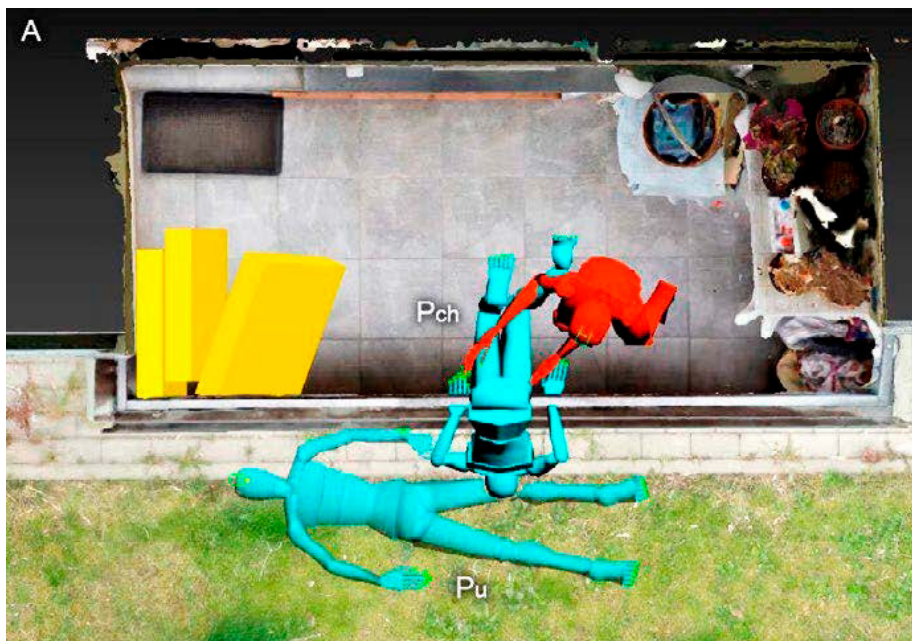
Case type	Evidentiary thesis	Case description	Research objective	Result
Rodzaj przypadku	Teza dowodowa	Opis przypadku	Cel badawczy	Wynik
Blunt-force injuries	Number of perpetrators	Multiple clustered injuries to various regions of the body caused by a single instrument – a wooden beam.	The position or positions of the perpetrator(s) at the moment the injuries were inflicted.	The multiplicity of positions from which the sequential injuries were inflicted indicates the involvement of more than one perpetrator.
Rany tłuczone	liczba sprawców	Mnogie grupujące się obrażenia wielu okolic ciała pochodzące od jednego narzędzia – krawędźki drewniany.	Pozycja/pozycje sprawcy /sprawców w chwili zadawania urazów	Mnogość pozycji zadawania seryjnych urazów wskazuje na większą liczbę sprawców



Tab. VI. Example of the practical use of 3D surface scanning of a corpse

Tab. VI. Przykład praktycznego wykorzystania skanu 3D powierzchniowego zwłok

Case type	Evidentiary thesis	Case description	Research objective	Result
Rodzaj przypadku	Teza dowodowa	Opis przypadku	Cel badawczy	Wynik
Fall from height	Involvement of third parties	Report of an accidental fall from a balcony.	Correlation between the participants' anthropometric characteristics and the height of the balustrade.	Exclusion of an accidental fall over the balustrade.
Upadek z wysokości	Udział osób trzecich	Zgłoszenie przypadkowego wypadnięcia z balkonu.	Korelacja cech antropometrycznych uczestników z wysokością balustrady	Wykluczenie przypadkowego wypadnięcia przez balustradę



Discussion and conclusions

A surface 3D scan of the body does not constitute a substitute for traditional photographic documentation, but rather an extension of this method of image recording. The use of such a procedure significantly expands the possibilities and quality of data archiving and subsequent analysis. Due to the short acquisition time and its non-invasive nature, scanning has virtually no impact on the course of the postmortem examination. The data are stored in digital format, which ensures resistance to physical damage and, with appropriate IT security measures, additional protection against modification through unauthorized access.

Moreover, 3D models can be integrated with the results of other imaging examinations, such as X-ray, CT, MRI, or postmortem angiography. Surface 3D scans of the body offer significant visualization potential and a high level of preserved information. They can be transmitted immediately after creation, for example, to experts located at considerable distances, without the risk of damaging evidentiary material during transport. In addition to the archiving function, a 3D model of the body plays a key analytical role, forming the basis for expert opinions, also within a three-dimensional environment. It may, among other things, be transformed into an animated model simulating human body movements. Such a reconstruction, embedded in a digital model of the incident scene, serves as an analytical tool in the process of forming expert conclusions, for example, to illustrate a possible course of events. A practical example of the use of surface 3D body scanning is presented in the results shown in Tables II through VI.

Conclusions

- Surface 3D body scans constitute, in practice, a basis for developing expert reports and analyses within a 3D environment for the purpose of reconstructing the probable course of the event.
- The information contained in the 3D surface scan of the body significantly expands the possibilities and quality of data archiving and their subsequent analysis.
- 3D files offer significant visualization potential and can be transmitted immediately over unlimited distances without the risk of damaging evidentiary material.

Omówienie i wnioski

Powierzchniowy skan 3D zwłok nie stanowi substytutu tradycyjnej dokumentacji fotograficznej, tylko rozwinięcie tej metody rejestracji obrazu. Zastosowanie takiej procedury znacząco rozszerza możliwości i jakość archiwizacji danych oraz następnej ich analizy. Ze względu na krótki czas rejestracji i bezinwazyjność, skanowanie praktycznie nie wpływa na przebieg badania sekcyjnego. Dane zapisywane są w formacie cyfrowym, co zapewnia ich odporność na uszkodzenia fizyczne, a nadto przy odpowiednim zabezpieczeniu informatycznym, dodatkową ochronę przed modyfikacją poprzez nieuprawniony dostęp.

Nadto modele 3D mogą być integrowane z wynikami innych badań obrazowych, takich jak: RTG, CT, MRI, czy pośmiertna angiografia. Skany powierzchniowe 3D zwłok, mają znaczący potencjał wizualizacyjny i zasoby zachowanej informacji. Mogą być niezwłocznie po utworzeniu przesyłane do np. ekspertów znajdujących się w znacznej odległości, bez ryzyka uszkodzenia materiału dowodowego w transporcie. Poza funkcją archiwizacji, model 3D zwłok pełni kluczową rolę analityczną, stanowiąc podstawę do sporządzania opinii biegłych, także w środowisku trójwymiarowym. Może on między innymi zostać przekształcony w model animowany, imitujący ruchy ludzkiego ciała. Tak przygotowana rekonstrukcja, osadzona w cyfrowym modelu miejsca zdarzenia, służy jako narzędzie analityczne w procesie tworzenia opinii, na przykład dla przedstawienia możliwego przebiegu zdarzenia. Przykładem praktycznego zastosowania skanowania powierzchniowego 3D zwłok jest zestawienie wyników w tabelach od Tabela II do Tabela VI.

Wnioski

- Skany powierzchniowe 3D zwłok, stanowią w praktyce podstawę do opracowywania ekspertyz i analiz w środowisku 3D w celu odtworzenia prawdopodobnego przebiegu zdarzenia.
- Informacja zawarta w skanie 3D powierzchni zwłok, znacząco rozszerza możliwości i jakość archiwizacji danych oraz następnej ich analizy.
- Pliki 3D mają znaczący potencjał wizualizacyjny, mogą być niezwłocznie przekazywane na nieograniczoną odległość bez ryzyka uszkodzenia materiału dowodowego.

References | Piśmiennictwo

1. Carew R. M, French J, Morgan R. M, 3D forensic science: A new field integrating 3D imaging and 3D printing in crime reconstruction, *Forensic Science International: Synergy* 2021, nr 3, art. 100205.
2. Buck U, Naether S, Räss B, Jackowski C, Thali M.J, Accident or homicide — Virtual crime scene reconstruction using 3D methods, *Forensic Science International* 2013; t. 225: 75–84.
3. Tunikowski W, Maksymowicz K, Teresiński G, Wirtualizacja 3D – skanowanie i fotogrametria, *Medycyna sądowa. Tom 2. Diagnostyka sądowa*, PZWL, Warszawa 2020, s. 697–708.
4. Chase C. E, Liscio E, Validation of Recon-3D, iPhone LiDAR for bullet trajectory documentation, *Forensic Science International* 2023; vol. 350; art. 111787.
5. Stevenson S, Liscio E, Assessing iPhone LiDAR & Recon-3D for determining area of origin in bloodstain pattern analysis, *Journal of Forensic Science* 2024, Technical Note, art. 10.1111/1556-4029.15476.
6. Miller S, Hashemian A, Gillihan R, Benes S, Accuracy and Repeatability of Mobile Phone LiDAR Capture, *SAE Technical Paper* 2023; art. 2023-01-0614.
7. Chase C. E, Liscio E, Validation of Recon-3D, iPhone LiDAR for bullet trajectory documentation, *Forensic Science International* 2023; vol. 350, art. 111787.
8. Carew R. M, French J, Morgan R. M, 3D forensic science: A new field integrating 3D imaging and 3D printing in crime reconstruction, *Forensic Science International: Synergy* 2021, nr 3, art. 100205.
9. Chango X, Flor-Unda O, Bustos-Estrella A, Gil-Jiménez P, Gómez-Moreno H, Extended Reality Technologies: Transforming the Future of Crime Scene Investigation, *Technologies* 2025, nr 13, art. 315.

Date:

date of submission | data nadesłania: **06.09.2025**

acceptance date | data akceptacji: **07.04.2026**

Corresponding author:

mgr inż. arch. Wojciech Tunikowski
Laboratorium Ekspertyz 3D, Katedra Medycyny Sądowej
Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu
ul. Jana Mikulicza-Radeckiego 4, 50-345 Wrocław
e-mail: w.tunikowski@gmail.com

ORCID:

Krzysztof Maksymowicz: 0000-0003-4876-1733

Wojciech Tunikowski: 0000-0001-8728-6571