



## **APPLICATION OF BLOODSTAIN PATTERN ANALYSIS IN THE RECONSTRUCTION OF EVENTS**

Grzegorz ZADORA

*Institute of Forensic Research, Kraków, Poland*

### **Abstract**

Bloodstains secured at the scene of an event (e.g. a murder) or disclosed on clothes – in conjunction with information gained from, amongst other things, DNA profiling – may contribute to linking a person with an event or may help in reconstruction of that event. Bloodstain pattern analysis is a scientific discipline that draws on knowledge from biology, physics and mathematics. It can be carried out at the scene of the incident, where appropriate measurements are performed of bloodstains revealed on walls, the floor and/or objects located there. These measurements can also be performed on photographs (preferably digital and colour ones) taken at the scene of the incident. Furthermore, bloodstain pattern analysis can also be carried out on clothes and shoes or other physical evidence submitted for examination to a forensic laboratory. In the practice of the Institute of Forensic Research, expert opinions are given in cases in which general examinations of the clothes of a perpetrator and/or victim are carried out with the aim of disclosing bloodstains – which are most frequently poorly visible or hidden. In the article, basic information concerning analysis of the mechanism of arising of bloodstains has been presented. Furthermore, the application of information gained – from examining bloodstains – in expert opinions has also been discussed.

### **Key words**

Bloodstain pattern analysis; Reconstruction of the event; Visualisation of latent bloodstains.

*Received 6 October 2014; accepted 3 November 2014*

### **1. Bloodstains at the scene of the incident**

Blood is one of the most common and frequently disclosed traces at scenes of murders or incidents linked with the use of violence. Since the discovery in 1901 by Landsteiner of the occurrence in red blood cells of two antigens – which condition the phenomenon of agglutination of blood cells when they come in contact with blood cells with a different antigenic structure – there have been continuous advances in methods of identification and analysis of blood residue. On the basis of his observations, Landsteiner distinguished three blood groups: A, B, and 0, for which he received the Nobel Prize in 1930. This system was used for a very long time in issuing expert opinions for the administration of justice and law enforcement

agencies. The next breakthrough in this area turned out to be research by Sir Alec Jeffreys in 1985 on the possibility of using DNA profiling for inferring about possible sources of blood.

Bloodstains secured at incident (e.g. murder) scenes or else revealed on clothes – in conjunction with information obtained, amongst other things, from DNA profiling – can contribute to linking a person with an incident and help in its reconstruction. For this purpose, you should use results from bloodstain pattern analysis (BPA), i.e. the size, shape and distribution of bloodstains at the scene of the incident and/or on clothing (Bevel, Gardner, 2008; James, Kish, Sutton, 2005). BPA is a scientific discipline that draws on knowledge from the fields of biology, physics and mathematics and can be carried out at the scene of the

incident, where appropriate measurements can be taken of bloodstains disclosed on walls, floor, and objects located there, and can also be carried out on the basis of measurements made on photographs (preferably digital and colour ones). Furthermore, bloodstain pattern analysis can be performed on clothing, footwear or other physical evidence submitted for examination to laboratories specializing in these types of analyses.

## 2. Types of bloodstains

The terminology that was used for a long time in Poland to describe bloodstains (Karger, Rand, Brinkmann, 1998) distinguished bloodstains resulting from extravasation of blood, bloodstains resulting from actions carried out with the help of various objects and traces that had arisen as a result of efforts to erase or remove bloodstains. This nomenclature encompassed both the mechanism of arising of bloodstains and the incidents which led to their formation. However, currently applied terminology (Choromański, 2014) suggested by SWIGSTAIN, the Scientific Working Group on Bloodstain Pattern Analysis, operating under the auspices of the U.S. Federal Bureau of Investigation (FBI), distinguishes three different groups of bloodstains ([www.swgstain.org/resources](http://www.swgstain.org/resources)):

1. passive;
2. spatter;
3. altered.

This terminology allows stains to be described in a simple and clear way, and these terms generally separate the mechanism of their formation from the event which led to them.

Bloodstains are described as passive if only gravity and air resistance act on them. These include:

- a) Drip stain – this is a bloodstain that forms when an individual drop of blood drops on a surface. If there have been multiple drips, then they create a so-called drip trail. In cases where the source of the blood (e.g. a bleeding person) is moving, a drip trail will form, on the basis of which one can often recreate the route travelled by the source of the blood.
- b) When a greater volume of blood than that which typically forms a single drop accumulates on a surface, then we are talking about a pool of blood, and when such a volume of blood falls on a surface, it is called a splash bloodstain pattern. When blood has contact with an absorbent surface, then saturation stains are formed. If a larger volume of blood accumulates on a surface (e.g. on a door), then it may, as a result of gravity, flow down it. This is called a flow pattern.

- c) Transfer (contact) stains are formed as a result of contact between two surfaces, at least one of which is covered by blood, e.g. a bloody shoe sole in contact with the floor will leave a transfer stain on the floor (in this case it will also constitute a footwear impression). The transfer stain category also includes swipe bloodstains. These are transfer stains on the basis of which the direction of spreading of blood can in many cases be ascertained. An example may be stains left on floor panels by blood-stained hair in cases where a wounded person was moving their head.

When other forces apart from gravity and air resistance act on the blood, then spatter stains are formed, which we can divide into:

- a) Impact spatter stains, which are formed when other objects act on the source of blood such as a bullet fired from a firearm, or a hard, blunt or blunt-edged tool;
- b) Secondary stains, which are formed when successive drops of blood drip onto a bloodstain (the so-called primary/parent stain). Then smaller stains, known as satellite stains are formed around the primary/parent bloodstain;
- c) Projected bloodstain patterns, which include:
  - ones which are formed as a result of expiration, i.e. in cases where the source of the blood is the nose, mouth or, for example, a wound in the lungs and is forced out by airflow. In cases where the blood exudes from the mouth, it is generally accompanied by saliva;
  - spatter formed as a result of blood exuding under pressure from arteries (arterial spatter);
  - cast-off spatter, arising when blood separates from the surface of an object or part of the body under the influence of centrifugal forces – e.g. when a wounded person waves a bleeding hand or when an attacker waves a bloody axe.

The third group is made up of altered bloodstains, i.e. ones which exhibit physical changes, including:

- a) clotted bloodstains, which have a gelatinous structure formed by components of blood during the process of clotting;
- b) diluted bloodstains, i.e. bloodstains formed as a result of dilution of blood by a liquid other than blood, for example when washing it off for the purpose of removing a trace;
- c) stains resulting from insect activity; e.g. flies fly down to a source of blood and then transfer the blood to other surfaces, which may lead to the formation of a trace in the form of small stains that are similar in appearance to that obtained as a result of blood spattering;

- d) voids – this is an absence of bloodstains in a place where they should be located, as evidenced by bloodstains occurring in the vicinity. A void will occur when, for example, a bloody corpse – around which there was blood coming out of inflicted wounds – is removed from the scene of an incident;
- e) wipe bloodstain pattern – this pattern is formed when there is contact and movement of a clean surface in relation to a surface on which blood is present. An example may be wiping of a partially clotted drop of blood. Then such a stain is characterised by a ring (or a fragment of a ring) created from clotted blood present on the periphery of a stain and a blood smear/trail indicating the direction of the wiping.

The process of formation of bloodstains depends on very many factors and that is why in practice we rarely encounter cases in which only one mechanism of formation can be established (Bevel, Gardner, 2008; James, Kish, Sutton, 2005; Karger, Rand, Brinkmann, 1998; Slemko, 2003; White, 1986). This can be illustrated by the example of a drip stain. The shape of a stain that is formed depends on the volume of the falling drop and also the height from which it has fallen, the angle of impact, and the properties of the surface on which it falls (including its absorbency and coarseness). Individual drops of blood of the same volume, falling from the same height and at a right angle ( $90^\circ$ ) onto a glass surface (smooth and non-absorbent surface), denim fabric (absorbent and relatively smooth surface) and an unplanned wooden board (relatively non-absorbent, rough surface) will result in the formation of bloodstains of various shapes. An oval stain will be formed on the glass. An oval, but decidedly smaller stain (smaller radius) will be formed on the denim fabric as a result of the effect of absorption, whereas a stain of intermediate size (radius) will be formed on the unplanned wooden board, but it will also have the characteristic shape of a secondary spatter.

Figure 1 shows what the resultant bloodstains look like when drops of blood fall at an angle of  $90^\circ$  from various heights onto various types of surface.

### 3. Bloodstains in opinion-issuing practice

It should be noted that especially in the case of contact of blood with clothing, the size of the observed bloodstains can be different than their original size due to the effect of blood being absorbed into the porous surface become bigger than they were originally. Furthermore, it cannot be ruled out that some

of the bloodstains, when they were still wet – because the blood had not penetrated too deeply into the fabric/knitted material – were smeared/smudged during contact with, for example, another object or body and thus their shape could have changed, for example from an oval shape into an irregular shape.

The analysis of bloodstains – under certain assumptions – in addition to establishing a mechanism/s of their formation, enables the following, amongst other things:

- establishing where the source of the blood was located at the scene of the incident – if it is possible to determine the angle of impact of drops of blood falling on a surface (e.g. a wall) and objects present at the scene of the incident;
- determining the direction from which drops of blood fell and on this basis, for example, establish the direction of movement of the source of the blood;
- supporting or not supporting the version of events presented by, for example, the accused, including establishing the possible location and movement of the victim, the attacker and bloody objects at the scene of the event.

The angle of impact of drops of blood falling on a surface ( $\alpha$ ) is determined using the following relationship: drops of blood of the same or different volume, falling on a surface at the same angle, will create bloodstains for which the ratio of the width ( $W$ ) to the length ( $L$ ) will have the same value (Figure 2). Using equation ( $L$ ), you can determine their angle of impact:

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{W}{L}\right). \quad (1)$$

In practice, if you are at the scene of the incident and wish to establish the location of the source of the blood, you should select about 10–15 bloodstains, preferably up to 10 mm in length, from various places in the overall observed blood pattern that has been formed, for example as a result of impact spatter. Next, measurements of values  $w$  and  $l$  are taken. Example results of such measurements and values of the angle of impact determined on their basis are shown in Table 1.

As can be seen, the values of the angle are not identical – in fact they lie within the range  $31^\circ$ – $35^\circ$ , which is understandable, since the source of blood is not a point, but a surface/area, e.g. a several centimetre bleeding head wound. On the basis of performed calculations, you extend a line from each stain of blood to the opposite side at the angle of impact designated for it. These lines (from the many stain of blood) concentrate in one place and this is precisely the probable location of the source of blood.

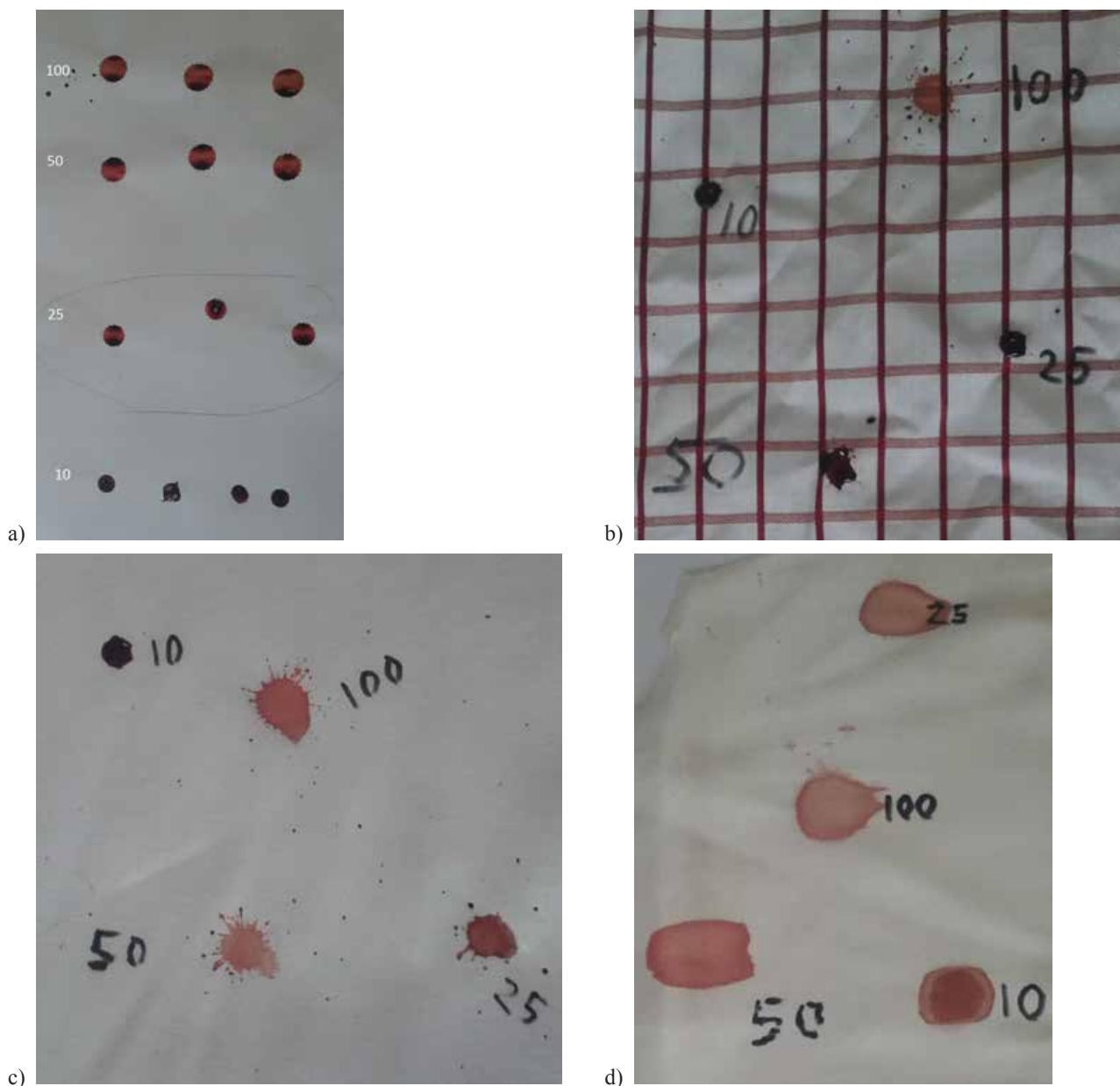


Fig 1. Bloodstains caused by blood drops falling at an angle of  $90^\circ$  from various heights onto various types of surface: a) paper, b) cotton, c) silk, and d) polyester. The handwritten figures (numbers) refer to the heights from which the drops of blood have fallen, expressed in cm.

Table 1

*Determination of the angle of impact of blood drops falling on a surface – example results*

| Number | Width<br>( <i>W</i> ) | Length<br>( <i>L</i> ) | <i>W/L</i> | Angle of<br>impact |
|--------|-----------------------|------------------------|------------|--------------------|
| 1      | 2.6                   | 4.6                    | 0.565      | $34^\circ$         |
| 2      | 1.8                   | 3.5                    | 0.514      | $31^\circ$         |
| 3      | 3.8                   | 7.2                    | 0.528      | $32^\circ$         |
| 4      | 2.5                   | 4.4                    | 0.568      | $35^\circ$         |
| 5      | 4.7                   | 9.1                    | 0.516      | $31^\circ$         |

| Number | Width<br>( <i>W</i> ) | Length<br>( <i>L</i> ) | <i>W/L</i> | Angle of<br>impact |
|--------|-----------------------|------------------------|------------|--------------------|
| 6      | 2.8                   | 5.1                    | 0.549      | $33^\circ$         |
| 7      | 3.1                   | 5.8                    | 0.534      | $32^\circ$         |
| 8      | 2.1                   | 4.1                    | 0.512      | $31^\circ$         |
| 9      | 4.5                   | 8.8                    | 0.511      | $31^\circ$         |
| 10     | 1.3                   | 2.4                    | 0.542      | $33^\circ$         |

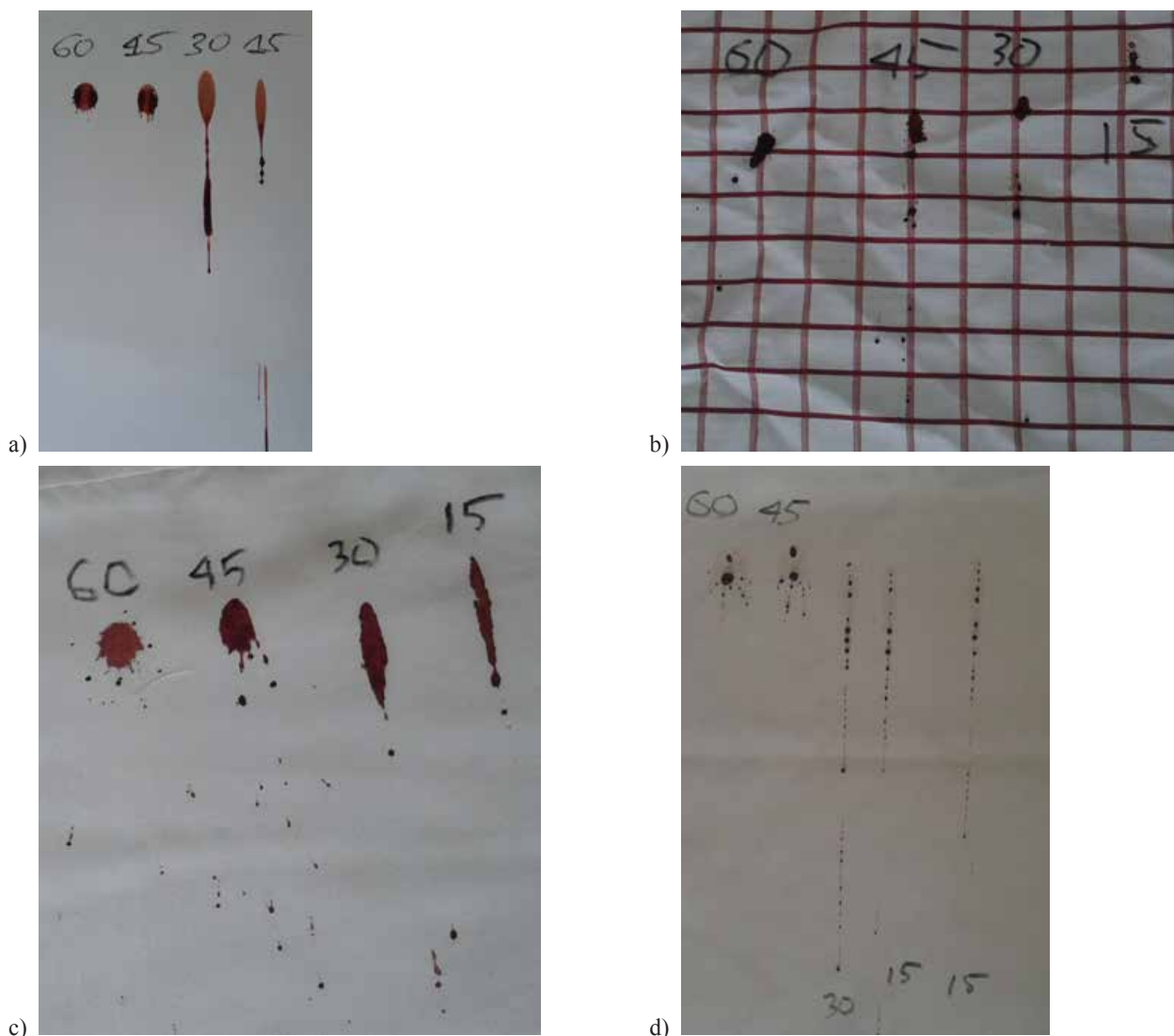


Fig. 2. Bloodstains caused by drops of blood falling from the same height at various angles on various types of surface: a) paper, b) cotton, c) silk, d) polyester. The handwritten figures (numbers) denote the angles in degrees at which the drops of blood fell.

Only occasionally on the basis of bloodstains observed at the scene of the incident can you determine the source of bleeding – for example, an artery. Such a conclusion should be confirmed by information that an artery was damaged, e.g. information contained in the external medical examination and autopsy records. Furthermore, only in exceptional cases can you determine the order in which blood stains arose.

Determination of the height from which blood drops have fallen can also only be achieved in sporadic cases for the simple reason that, in order to do so, as transpires from formula (2), information is necessary not only about the diameter of the bloodstain ( $D$ ), but also about the diameter of the falling drop of blood ( $d$ ), which in practice is very difficult to establish – even

if its volume is known. Furthermore, the following formula can be applied in the case of bloodstains that have formed when a blood drop has fallen at an angle of  $90^\circ$ :

$$h = \frac{v^2}{2g}, \quad (2)$$

where  $v = \frac{\eta}{\rho d^5} (2D)^4$ ,  $\rho$  is the density of blood

( $1060 \text{ kg m}^{-3}$ ), and  $\eta$  is its viscosity ( $4 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ ).

As mentioned, the results of analysis of the mechanism of formation of bloodstains may significantly contribute to recreation of the course of an event, including supporting or ruling out one of the versions of the event, e.g. whether it was a murder, suicide or

unfortunate accident. To this end, results of bloodstain pattern analyses should be supported by results of genetic tests, i.e. results of DNA profiling allowing determination of the probable source of the blood, and by data relating to the nature of the wounds ascertained on the body of the victim – information contained in the medical examination records of the person in question or in the case of a corpse, information contained in the external medical examination and autopsy records.

Just how important, in addition to results of analysis of bloodstains, information obtained from other tests is (for example DNA profiling) can be illustrated by the following case. Extensive, irregular and elliptical stains were disclosed on the shirt of a suspect. Their shape and the pattern that they created suggested a mechanism of spattering/splashing. If one were to restrict oneself to results of bloodstain pattern analysis alone, one could conclude that they arose in the course of administering blows to the victim, whose death in this case – as ascertained by the forensic medical doctor – occurred as a result of numerous wounds to the head with a hard, blunt or blunt-edged instrument. However, genetic analysis of the bloodstains sampled from the shirt showed that most probably the blood originated from the person (suspect) from whom this shirt was secured – in other words, it was not the victim's blood. This was confirmed in the case files, specifically in the medical examination records of the person (suspect), where it was stated that on the whole surface of his torso, numerous scratched open spots (zits) were visible. Thus the observed stains most probably arose as a result of blood exuding from the cuts visible on his body and being absorbed into the fabric of the shirt worn by him.

In the practice of the Institute of Forensic Research, opinions are issued in cases where it is necessary to establish the probable mechanism/s of formation of bloodstains disclosed at the scene of an event, on clothing and footwear of the suspect and/or the victim and on other physical evidence. This is done by analysing photographs taken at the scene of the event, which are available in case files and/or by inspecting the clothing of the perpetrator or victim in order to disclose bloodstains and describe them. These bloodstains are most frequently poorly visible or hidden. Therefore, for the purpose of disclosing them, a solution of luminol is used, which is sprayed onto the analysed surface. Luminescence in blue, visible in darkness, may indicate the presence of haemoglobin in a stain, even when it has been washed off to a significant degree. Stains disclosed in this way are photographed and, using Adobe PhotoShop CS 2 (Figure 3b), superimposed appropriately onto respective photographs of particu-

lar physical evidences obtained before performing the test (Figure 3a). In this way, the topography of places where haemoglobin is most probably present is shown. In these places, the Tetra-Barium Test (TB Test) is additionally carried out for the purpose of confirming the presence of haemoglobin in these traces, and next samples are taken (by swabbing or cutting out a fragment of fabric/knitted material) in order to carry out genetic tests, including determination of the DNA profile. When issuing expert opinions, results of genetic tests contained in expert reports drawn up at other laboratories are also made use of.

#### 4. The significance of versions of an incident

Good practice should be to issue opinions in the context of at least two opposing versions of an event (hypotheses; Aitken, Taroni, 2004). In order to illustrate this issue, the following situation should be considered. Blood stains are disclosed in the region of the shirt sleeve cuffs of a person suspected of murder. To answer a question about the likelihood of the version of the event given by the suspect – that he was administering first aid to the victim, who had been stabbed with a knife, which is why bloodstains are visible on the shirt sleeves – an expert, if issuing an opinion in the context of only one hypothesis (the version of the accused/defence), may write that “the version of the event that the bloodstains in the region of the shirt sleeve cuffs arose in the course of administering first aid to the victim is probable”. A conclusion formulated in this way may be considered as evidence by the fact finder (e.g. judge, prosecutor) that that is how it actually was. However, in practice it is difficult to estimate the probability of this event. Nevertheless, if, for example, after reading the case files it is established that the accused took part in a fight and according to the testimony of witnesses probably used a knife to stab, then the disclosed stains on the sleeves could have occurred in the described places due to the stabbing. In the opinion of the expert, this version of the event is also probable. In other words, if – instead of the defence counsel – the prosecutor had formulated and presented the question as to whether these stains could have arisen in a situation where the accused had been stabbing the victim with a knife, then, giving an expert opinion only in the context of one hypothesis, the forensic expert could have written that “the version of the event that bloodstains in the region of the shirt sleeve cuffs arose in the course of stabbing the victim with a knife is probable”. A conclusions formulated in such a way may be considered as evidence by the fact



Fig. 3. Photographs of a piece of evidence: a) Taken before applying the luminol test; b) Created by superimposing a second photograph – taken in darkness after applying the luminol test – onto photograph a) using Adobe PhotoShop CS 2. Areas that are stained blue are places where haemoglobin is most probably present.

finder (e.g. judge, prosecutor) that the event actually happened that way. However, assessing the evidence in the context of two hypotheses, and accepting that formation of the bloodstains on the sleeves in the case of both events is equally probable, it can be stated that “evidence in the form of disclosing bloodstains in the region of the shirt sleeve cuffs supports each of these hypotheses to the same degree”. This evidence is of little significance for the justice system, but it has been fairly assessed, i.e., it does not mislead the fact finder (e.g. judge, prosecutor), and is more reliable than in the case of defining its value in the context of only one of the hypotheses. Furthermore, even such evidence can be useful. Let us assume that the defence case is built on the basis of evidence in the form of bloodstains on the shirt sleeve cuffs (supporting the first aid

version). However, after receiving further information/evidence in the form of an expert opinion that the evidential value of this bloodstain is small, the defence becomes deprived of arguments. The situation would look similar if the indictment was based only on the presence of bloodstains on the shirt sleeves.

However, when we consider this same evidence (the observed bloodstain) in the context of the same hypotheses, but the case files do not mention a fight, then in the opinion of the expert, the version of the event that the bloodstains arose during administering of first aid to the victim will be a more probable event than that they arose in other circumstances, e.g. during a fight. Also in this case, calculating these probabilities is practically impossible. Thus the expert can state that “evidence in the form of disclosing a bloodstain in the

region of shirt sleeve cuffs decidedly more strongly supports the hypothesis that they arose in the course of imparting first aid to the victim than that they arose in the course of striking the victim with a knife”.

## 5. Summary

Bloodstain pattern analysis is a scientific method based on knowledge from the fields of biology, physics and mathematics. It provides data which – in conjunction with information obtained from analysis of case files and with results of DNA profiling – can contribute to linking a person with an event and help in its reconstruction.

It should be noted that knowledge from the fields of biology, physics and mathematics – in areas relevant to given cases – should be required of experts opining in these types of cases. Such knowledge can be obtained, for example, on specialist courses in the field of disclosing and interpreting bloodstains, e.g., based on premises/principles worked out by the IABPA (International Association of Bloodstain Pattern Analysis; www.iabpa.org) and by experts performing their own experiments. For the number of factors that influence the shape of bloodstains is so great that sometimes it is necessary for experts to conduct their own experiments, which can contribute new knowledge enabling correct interpretation of these bloodstain shapes.

## References

1. Aitken, C. G. G., Taroni, F. (2004). *Statistics and the evaluation of evidence for forensic scientists*. Chichester: John Wiley & Sons.
2. Bevel, T., Gardner, R. M. (2008). *Bloodstain pattern analysis with an introduction to crime scene reconstruction*. Boca Raton: CRC Press.
3. Choromański, K. (2014). Wstęp do analizy śladów krwawych. Zagadnienia terminologiczne. *Problemy Współczesnej Kryminalistyki*, 27, 7–14.
4. James, S. H., Kish, P. E., Sutton, T. P. (2005). *Principles of bloodstain pattern analysis*. Boca Raton: Taylors and Francis.
5. Karger, B., Rand, S. P., Brinkmann, B. (1998). Experimental bloodstains on fabric from contact and from drops. *International Journal of Legal Medicine* 111, 17–21.
6. Radziecki, J. (1960). *Ślady krwi w praktyce śledczej*. Warszawa: Wydawnictwo Zakładu Kryminalistyki Komendy Głównej MO.
7. Slemko, J. (2003). Bloodstain on fabrics – the effects of droplet velocity and fabric composition. *IABPA News*, 19(4), 4–11.
8. White, B. (1986). Bloodstain patterns on fabrics: The effect of drop volume, dropping height and impact angle. *Canadian Society of Forensic Science Journal*, 19(1), 3–35.
9. Zadora, G., Martyna, A., Ramos, D., Aitken, C. (2014). *Statistical analysis in forensic science evidential values of multivariate physicochemical data*. Chichester: John Wiley & Sons.

---

### Corresponding author

Dr hab. Grzegorz Zadora  
Instytut Ekspertyz Sądowych  
ul. Westerplatte 9  
PL 31-033 Kraków  
e-mail: gzadora@ies.krakow.pl

---



## ANALIZA ŚLADÓW KRWAWYCH NA POTRZEBY REKONSTRUKCJI ZDARZENIA

### 1. Ślady krwawe na miejscu zdarzenia

Krew jest jednym z najczęściej występujących i ujawnianych śladów na miejscu zabójstw lub zdarzeń związanych z użyciem przemocy. Począwszy od odkrycia w 1901 roku przez Landsteina występowania w krwinkach czerwonych dwóch antygenów, które warunkują zjawisko zlepiania się krwinek w zetknięciu z krwinkami o odmiennej strukturze antygenowej, obserwuje się ciągły rozwój metod identyfikacji i analizy śladów krwawych. Na podstawie tych obserwacji wyróżnił on trzy grupy krwi: A, B, 0, za co otrzymał w 1930 roku Nagrodę Nobla. System ten był bardzo długo stosowany w opiniowaniu dla celów wymiaru sprawiedliwości oraz organów ścigania. Następnym przełomem w tej dziedzinie okazały się badania sir Aleca Jeffreysa z 1985 roku nad możliwością wykorzystania profilowania DNA dla potrzeb wnioskowania o możliwym źródle krwi.

Ślady krwawe zabezpieczone na miejscu zdarzeń (np. zabójstw) lub też ujawnione na odzieży w połączeniu z informacją uzyskaną m.in. z profilowania DNA, mogą przyczynić się do powiązania osoby ze zdarzeniem oraz pomóc w jego rekonstrukcji. W tym celu należy wykorzystać wyniki z analizy śladów krwawych (ang. bloodstain pattern analysis; BPA), tj. rozmiar, kształt i rozmieszczenie plam krwawych na miejscu zdarzenia i/lub na odzieży (Bevel, Gardner, 2008; James, Kish, Sutton, 2005). Analiza śladów krwawych jest dyscypliną naukową wykorzystującą wiedzę z zakresu biologii, fizyki oraz matematyki i może być przeprowadzona zarówno na miejscu zdarzenia, gdzie można wykonać stosowne pomiary plam krwawych ujawnionych na ścianach, podłodze, przedmiotach tam znajdujących się, jak też pomiarów tych można dokonać na zdjęciach (najlepiej cyfrowych i kolorowych). Ponadto analizę śladów krwawych można wykonać na odzieży, obuwiu lub innych dowodach rzeczowych dostarczonych do badań do laboratorium specjalizującego się w tego typu analizach.

### 2. Rodzaje śladów krwawych

Terminologia używana przez długi czas w Polsce do opisu śladów krwawych (Karger, Rand, Brinkmann, 1998) wyróżniała ślady krwi będące następstwem wynacznienia krwi, ślady powstałe w wyniku działania za pomocą różnych przedmiotów oraz ślady powstałe wskutek zacierania lub usuwania śladów krwawych. Ten system łączył w sobie zarówno mechanizm powstania plam krwawych, jak i zdarzenia, które do ich powstania

doprowadziły. Obecnie stosowana terminologia (Choromański, 2014) sugerowana przez Grupę Roboczą ds. Analizy Śladów Krwawych (SWIGSTAIN, ang. Scientific Working Group on Bloodstain Pattern Analysis) działającą pod auspicjami amerykańskiego Federalnego Biura Śledczego (FBI) wyróżnia trzy grupy plam krwawych ([www.swgstain.org/resources](http://www.swgstain.org/resources)), tj.:

1. pasywne (ang. passive);
2. rozpryski/rozprysnięcia (ang. spatter);
3. zmienione (ang. altered).

Terminologia ta w sposób prosty i przejrzysty pozwala opisać plamy, a terminy te na ogół oddzielają mechanizm ich powstania od zdarzenia, które do nich doprowadziło.

O plamach pasywnych mówimy, gdy na krople krwi działa tylko siła grawitacji i opór powietrza. Zalicza się do nich:

- a) Skapnięcie/krew kapiąca (ang. drip) – jest to plama krwi powstała, gdy pojedyncza kropla krwi upada na powierzchnię. W przypadku, jeśli doszło do szeregu skapnięć (ang. multiple drips), to utworzą one tzw. ścieżkę skapnięć/ścieżkę krwi kapiącej. W przypadku, gdy źródło krwi (np. krwawiąca osoba) porusza się, to powstanie ścieżka (ang. drip trail), na podstawie której można często odtworzyć trasę przemieszczania się źródła krwi.
- b) Gdy większa objętość krwi niż ta, która na ogół tworzy pojedynczą kroplę, nagromadzi się na jakiejś powierzchni, to wówczas mówimy o kałuży krwi (ang. pool), a gdy ta objętość krwi spadnie na powierzchnię, to taki ślad nazywa się chluśnięciem (ang. splash). Gdy dodatkowo krew ma kontakt z chłonną powierzchnią, to wówczas powstają przesiąknięcia/nasiąknięcia (ang. saturated). Jeśli na powierzchni (np. drzwi) zbierze się większa objętość krwi, to może ona wskutek siły grawitacji spływać po niej. Uzyskujemy wówczas ściek/spływ (ang. flow).
- c) Ślady przeniesione (kontaktowe) powstają w wyniku zetknięcia dwóch powierzchni, przy czym przynajmniej jedna z nich pokryta jest krwią, np. zakrwawiona podeszwa buta w kontakcie z podłogą zostawi ślad kontaktowy (w tym przypadku będzie to ślad traseologiczny). Do kategorii śladów kontaktowych należą również otarcia/roztarcia (ang. swipe), czyli ślady kontaktowe, z których wyglądu można również w wielu przypadkach stwierdzić kierunek rozcięcia krwi. Przykładem mogą być ślady pozostawione na panelach podłogowych przez zakrwawione włosy w przypadku, gdy ranna osoba ruszała głową.

Gdy na krew, oprócz siły grawitacji i oporu powietrza, działają również inne siły, to wówczas powstają rozpryski/rozprysnięcia (ang. spatter), które dzielimy na:

- a) uderzeniowe (ang. impact mechanism), które powstają, gdy na źródło krwi działają inne obiekty, np. pocisk wystrzelony z broni palnej; narzędzie twarde, tępę lub tępokrawędziste;
- b) wtórne (ang. secondary transfer), które powstają, gdy do plamy krwi (tzw. plama pierwotna) skapywać będą kolejne krople krwi. Tworzą się wówczas dokoła plamy pierwotnej krwi mniejsze plamy, zwane plamami satelitarnymi (ang. satellite stains);
- c) wyrzutowe (ang. projected), wśród których wyróżnia się:
  - powstające w wyniku ekspiracji (ang. expiratory pattern), tzn. w przypadku, gdy źródłem krwi jest nos, usta lub np. rana z płuc. W przypadku, gdy krew wydziela się z ust, to towarzyszy jej na ogół ślina;
  - rozpryski powstałe w wyniku wydobywania się pod ciśnieniem krwi z tętnic (ang. arterial spatter);
  - zachlapania/zrzuty (ang. cast-off spatter) powstające wówczas, gdy krew odrywa się od powierzchni przedmiotu lub części ciała pod wpływem działania na nią sił odśrodkowych, np. gdy ranny macha krwawiącą ręką lub gdy napastnik macha zakrwawioną siekierą.

Trzecią grupę stanowią ślady krwawe zmienione (ang. altered), czyli takie, które wykazują zmiany fizyczne, w tym:

- a) skrzepy (ang. clotted), które tworzy galaretowata struktura wytworzona przez składniki krwi podczas procesu jej krzepnięcia;
- b) plamy rozcieńczone (ang. diluted), tj. ślady krwi powstałe w wyniku rozcieńczenia krwi inną niż krew cieczą, np. podczas jej zmywania w celu zatarcia śladów;
- c) plamy utworzone przez owady (ang. insect stains), np. muchy, zlatując się do źródła krwi, przenoszą krew na inne powierzchnie, co może doprowadzić do powstania śladu w postaci drobnych plam wyglądem przypominających ten uzyskany w wyniku rozprysnięcia krwi;
- d) pustki (ang. voids) – to brak śladów krwi w miejscu, gdzie powinny się one znajdować, o czym świadczą plamy krwi występujące w jej pobliżu. Pustka powstanie np. wówczas, gdy z miejsca zdarzenia usunie się zakrwawione zwłoki, wokół których znajdowała się krew wydobywająca się z ran zadanych ofierze;
- e) rozmazania (ang. wipe) – ślad ten tworzy się w przypadku, gdy dojdzie do kontaktu i ruchu powierzchni czystej po powierzchni, na której obecna jest krew. Przykładem może być rozmazanie częściowo skrzepniętej kropli krwi. Wówczas taki ślad charakteryzuje się pierścieniem (lub jego fragmentem) utworzonym

ze skrzepniętej krwi obecnej na obrzeżach plamy i smugą krwi wskazującej na kierunek rozmazywania.

Proces powstawania śladów krwawych zależy od bardzo wielu czynników i dlatego też rzadko spotykamy się w praktyce z przypadkami, w których można ustalić tylko jeden mechanizm ich powstania (Bevel, Gardner, 2008; James, Kish, Sutton, 2005; Karger, Rand, Brinkmann, 1998; Slemko, 2003; White, 1986). Zilustrować można to na przykładzie skapnięcia. Kształt kropli, jaki powstanie, zależy od tego, jaka była objętość padającej kropli, a także od wysokości, z jakiej spadała, kąta padania, własności powierzchni, na którą pada (w tym m.in. jej chłonności i chropowatości). Pojedyncze krople krwi o tej samej objętości, padające z tej samej wysokości i pod kątem prostym (90°) na powierzchnię szklaną (gładka i niechłonna powierzchnia), tkaninę dzinsową (chłonna i względnie gładka powierzchnia) oraz drewnianą deskę nieheblowaną (względnie niechłonna, chropowata powierzchnia) spowodują powstanie plam krwi o różnym kształcie. Na szkle powstanie owalna plama. Równie owalna, ale zdecydowanie mniejsza plama (mniejszy promień) powstanie na tkaninie dzinsowej wskutek efektu wchłaniania, a na nieheblowanej desce powstanie plama o pośrednim rozmiarze (promieniu), ale kształcie charakterystycznym również dla rozprysku wtórnego.

Na rysunku 1 pokazano, jak wyglądają plamy krwi, gdy jej krople padają pod kątem 90° z różnej wysokości na różnego rodzaju powierzchnie.

### 3. Ślady krwawe w praktyce opiniodawczej

Należy stwierdzić, że szczególnie w przypadku kontaktu krwi z odzieżą wielkość zaobserwowanych plam krwawych może być inna niż ich wielkość pierwotna ze względu na efekt wsiąkania krwi w porowate podłoże, ponieważ na ogół plamy stają się większe niż były pierwotnie. Ponadto nie można wykluczyć, że część powstałych śladów krwi, gdy były one jeszcze mokre, bo krew nie wniknęła zbyt głęboko w tkaninę/dzianinę, została np. podczas kontaktu z innym przedmiotem czy też ciałem rozmazana/roztarta i tym samym jej kształt mógł ulec zmianie, np. z owalnego w nieregularny.

Analiza śladów krwawych przy spełnieniu określonych założeń, oprócz ustalenia mechanizmu/mechanizmów ich powstania, pozwala m.in. na:

- a) ustalenie miejsca, w którym znajdowało się źródło krwi na miejscu zdarzenia, gdy możliwe jest ustalenie kąta padania kropli krwi na podłoże (np. ściany) i przedmioty obecne na miejscu zdarzenia;
- b) określenie kierunku, z jakiego padały krople krwi i na tej podstawie np. kierunku przemieszczania się źródła krwi;

c) pozwala wesprzeć, bądź nie, wersje zdarzenia przedstawianą np. przez oskarżonego, w tym ustalić możliwe położenie i przemieszczanie się na miejscu zdarzenia ofiary, napastnika oraz zakrwawionych przedmiotów.

W celu ustalenia kąta padania kropli krwi na podłoże ( $\alpha$ ), wykorzystuje się następującą zależność: krople krwi o tej samej bądź różnej objętości, padając na powierzchnię pod tym samym kątem, utworzą plamy krwi, dla których stosunek szerokości ( $W$ ) do wysokości ( $L$ ) będzie miał tę samą wartość (rysunek 2). Korzystając z równania (1)}, można wyznaczyć kąt ich padania:

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{W}{L}\right). \quad (1)$$

W praktyce, np. będąc na miejscu zdarzenia i chcąc ustalić miejsce źródła krwi, należy wybrać 10–15 plam krwi, najlepiej o rozmiarze do 10 mm, reprezentujących różne miejsca zaobserwowanego śladu krwi, np. tego, który powstał wskutek rozprysnięcia uderzeniowego. Następnie wykonuje się pomiary wartości  $W$  i  $L$ . W tabeli 1 znajdują się przykładowe wyniki takich pomiarów oraz wyznaczone na ich podstawie wartości kąta padania.

Jak łatwo zauważyć, wartości kąta nie są identyczne, mieszczą się bowiem w przedziale 31–35, co jest zrozumiałe, ponieważ źródło krwi to nie punkt, ale jakaś powierzchnia/obszar, np. kilkucentymetrowa krwawiąca rana głowy. Na podstawie wykonanych obliczeń prowadzi się od każdej kropli krwi linię do przeciwnego podłoża pod wyznaczonym dla niej kątem padania. Linie te zągęszcza się w jednym miejscu i jest to właśnie prawdopodobna lokalizacja źródła krwi.

Tylko sporadycznie na podstawie zaobserwowanych na miejscu zdarzenia śladów krwawych można określić źródło krwawienia, np., że była to tętnica. Taki wniosek powinien być potwierdzony informacją, że któraś z tętnic została uszkodzona, np. informacją zawartą w protokole oględzin zewnętrznych i otwarcia zwłok. Również tylko w szczególnych przypadkach można określić kolejność powstawania plam krwawych.

Określenie wysokości padania kropli krwi jest również ograniczone do sporadycznych przypadków z tej prostej przyczyny, że aby tego dokonać, jak wynika ze wzoru (2), konieczna jest informacja nie tylko o średnicy plamy krwi ( $D$ ), ale również o średnicy padającej kropli krwi ( $d$ ), która w praktyce jest bardzo trudna do ustalenia nawet w przypadku, gdyby była znana jej objętość. Ponadto wzór ten można zastosować w przypadku plam krwi powstałych, gdy kropla krwi padała pod kątem  $90^\circ$ :

$$h = \frac{v^2}{2g}, \quad \{2\}$$

gdzie  $v = \frac{\eta}{\rho d^5} (2D)^4$ ,  $\rho$  to gęstość krwi ( $1060 \text{ kg m}^{-3}$ ), a  $\eta$  to jej lepkość ( $4 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ ).

Jak wspomniano, wyniki analizy mechanizmu powstania śladów krwawych mogą znacznie przyczynić się do odtworzenia przebiegu zdarzenia, w tym wesprzeć lub wykluczyć którąś z wersji zdarzenia, np. czy doszło do zabójstwa, samobójstwa lub nieszczęśliwego wypadku. W tym celu wyniki analiz śladów krwawych powinny być wsparte wynikami badań genetycznych, tj. wynikami profilowania DNA pozwalającymi ustalić prawdopodobne źródło krwi, danymi odnośnie do charakteru ran stwierdzonych na ciele poszkodowanego, tj. informacją zawartą w protokole oględzin osoby lub w przypadku zwłok informacją zawartą w protokole oględzin zewnętrznych i otwarcia zwłok.

O tym jak ważna, oprócz wyników analizy śladów krwawych, jest informacja uzyskana z innych badań, np. profilowania DNA, może zilustrować następujący przypadek. Ujawniono na koszuli podejrzanego rozległe, nieregularne oraz eliptyczne zaplamienia. Ich kształt i ślad jaki utworzyły, sugerował mechanizm rozprysnięcia/zachłapania. Gdyby poprzestać tylko na wynikach analizy śladów krwawych, to można by wnioskować, że powstały one podczas zadawania uderzeń ofierze, której w tym przypadku zgon, jak stwierdził medyk sądowy, nastąpił wskutek licznych ran zadanych w głowę narzędziem twardym, tęnym lub tępokrawędzistym. Wykonane badania genetyczne śladów pobranych z koszuli wykazały, że najprawdopodobniej jest to krew osoby, od której zabezpieczono tę koszulę, czyli nie od ofiary. Znalazło to potwierdzenie w aktach sprawy, a konkretnie w protokole oględzin tej osoby, gdzie stwierdzono, że na całej powierzchni jej tułowia widoczne są liczne, rozdrapane krosty. Tym samym zaobserwowane plamy powstały najprawdopodobniej wskutek wydobywania się krwi z ran widocznych na jego ciele i przesiąknięcia/nasiąknięcia tkaniny koszuli noszonej przez niego.

W praktyce Instytutu Ekspertyz Sądowych opiniuje się w sprawach, których celem jest ustalenie prawdopodobnego mechanizmu/mechanizmów powstania śladów krwawych ujawnionych zarówno na miejscu zdarzenia, na odzieży i obuwiu podejrzanego i/lub ofiary oraz innych dowodach rzeczowych. Dokonuje się tego, analizując zdjęcia wykonane na miejscu zdarzenia, które zamieszczone są w aktach sprawy i/lub dokonuje się również oględzin odzieży sprawcy bądź ofiary w celu ujawnienia śladów krwawych oraz ich opisanie. Są one najczęściej słabo widoczne lub ukryte. Dlatego w celu ich ujawnienia wykorzystuje się roztwór luminolu, który rozpyła się na analizowaną powierzchnię. Luminescencja w kolorze niebieskim widoczna w zaciemnieniu może świadczyć o obecności hemoglobiny w zaplaminieniu nawet wówczas, gdy zostało ono zmyte w znacznym stopniu. Ujawnione w ten sposób ślady fotografuje się i przy użyciu programu Adobe PhotoShop CS 2 (rysunek 3b) nakłada odpowiednio na zdjęcia poszczególnych dowodów rzeczowych otrzymanych przed wykonaniem

testu (rysunek 3a). W ten sposób przedstawia się topografię miejsc, w których występuje najprawdopodobniej hemoglobina. W miejscach tych przeprowadza się dodatkowo Tetra-Barium Test (TB Test) w celu potwierdzenia obecności hemoglobiny w tych śladach, a następnie pobiera próbki (przez pobranie wymazu lub wycięcie fragmentu tkaniny/dzianiny) w celu wykonania badań genetycznych, w tym ustalenia profilu DNA. W opinio- waniu korzysta się również z wyników badań genetycz- nych zawartych w ekspertyzach opracowanych w innych laboratoriach.

#### 4. Znaczenie wersji zdarzenia

Dobłą praktyką powinno być opiniowanie w kontek- ście przynajmniej dwóch przeciwstawnych wersji zdarze- nia (hipotez; Aitken, Taroni, 2004). W celu zilustrowania tego zagadnienia rozważyć należy taką sytuację. Na odzieży podejrzanego o zabójstwo ujawnione zostają plamy krwi w okolicy mankietów rękawów koszuli. Na pyta- nie odnośnie do prawdopodobieństwa wersji zdarzenia przytoczonej przez oskarżonego, że udzielał on pomocy przed medycznej ofercie ugodzonej nożem i dlatego na rękawach koszuli widoczne są te plamy krwi, biegły opi- niując w kontekście tylko jednej hipotezy (wersja oskar- żonego/obrony), może napisać, iż „prawdopodobna jest wersja zdarzenia, że plamy krwi w okolicy mankietów rękawów koszuli powstały w trakcie udzielania ofercie pomocy przedmedycznej”. Tak sformułowane wnioski mogą stać się przesłanką dla zleceniodawcy, że tak fak- tycznie było. W praktyce trudno jest jednak oszacować prawdopodobieństwo tego zdarzenia. Niemniej jednak, gdy np. po przeczytaniu akt sprawy ustalone zostanie, że oskarżony brał udział w bójce i według zeznań świad- ków prawdopodobnie zadał uderzenia nożem, to w takim przypadku ujawnione plamy na rękawach również mogą wystąpić w opisanych miejscach. W opinii biegłego ta wersja zdarzenia jest również prawdopodobna. Innymi słowy, gdyby zamiast obrońcy, prokurator wystąpił z po- stanowieniem i pytaniem, czy plamy te mogły powstać w przypadku, gdy oskarżony zadawał nożem uderzenia ofercie, to wówczas, opiniując tylko w kontekście jednej hipotezy, biegły sądowy mógłby napisać, iż „prawdopo- dobna jest wersja zdarzenia, że plamy krwi w okolicy mankietów rękawów koszuli powstały w trakcie zada- wania ciosów nożem ofercie”. Tak sformułowane wnio- ski mogą być przesłanką dla zleceniodawcy, że tak fak- tycznie było. Natomiast, oceniając dowód w kontekście dwóch hipotez, i przyjmując, że powstanie plam krwa- wych na rękawach w przypadku obu zdarzeń jest równie prawdopodobne, można stwierdzić, że „dowód w postaci ujawnienia plamy krwi w okolicy mankietów rękawów koszuli wspiera każdą z tych hipotez w takim samym stopniu”. Jest to z pewnością mało znaczący dowód dla

wymiaru sprawiedliwości, ale jest rzetelnie oceniony, tj. nie wprowadza w błąd zleceniodawcy i jest bardziej wiarygodny niż w przypadku określenia jego wartości w kontekście tylko jednej z hipotez. Niemniej jednak na- wet taki dowód może być użyteczny. Załóżmy, że linia obrony jest budowana w oparciu o ten dowód. Natomiast po otrzymaniu informacji/dowodu w formie opinii bie- głego, że wartość dowodowa tego śladu krwawego jest niewielka, linia obrony pozbawiona zostaje argumentów. Podobnie będzie wyglądała sytuacja, gdy akt oskarżenia byłby oparty tylko na tym dowodzie, tj. obecności plam krwi na rękawach koszuli.

Natomiast gdy ten sam dowód (zaobserwowany ślad krwawy) rozpatrzmy w kontekście tych samych hipote- tez, ale w aktach sprawy nie będzie wzmianki o bójce, to wówczas w opinii biegłego wersja zdarzenia, że plamy krwi powstały podczas udzielania pomocy przed- medycznej ofercie będzie bardziej prawdopodobnym zdarzeniem, niż że powstały w innych okolicznościach, np. podczas bójki. Również w tym przypadku obliczenie tych prawdopodobieństw jest praktycznie niemożliwe. Tym samym biegły może stwierdzić, iż „dowód w posta- ci ujawnienia plamy krwi w okolicy mankietów rękawów koszuli zdecydowanie bardziej wspiera hipotezę, że po- stały one w trakcie udzielania ofercie pomocy przed- medycznej, niż że powstały one w trakcie zadawania ciosów nożem ofercie”.

#### 5. Podsumowanie

Analiza śladów krwawych to metoda naukowa opar- ta na wiedzy z zakresu biologii, fizyki i matematyki. Dostarcza ona danych, które w połączeniu z informacją uzyskaną z analizy akt sprawy i z wynikami profilowania DNA mogą przyczynić się do powiązania osoby ze zda- rzeniem oraz pomóc w jego rekonstrukcji.

Należy zaznaczyć, że od biegłych opiniujących w te- go typu sprawach powinno wymagać się wiedzy z zakre- su biologii, fizyki i matematyki w zakresie niezbędnym do opiniowania w tego typu sprawach, a którą można uzyskać np. podczas kursów specjalistycznych doty- czących ujawniania i interpretacji śladów krwawych, np. opartych na założeniach/podstawach opracowanych przez międzynarodowe stowarzyszenie zrzeszające eks- pertów z zakresu analizy mechanizmu powstania śladów krwawych (IABPA; ang. International Association of Bloodstain Pattern Analysis; [www.iabpa.org](http://www.iabpa.org)) oraz pod- czas wykonywania własnych eksperymentów. Mnogość czynników wpływających na kształt śladów krwawych jest bowiem na tyle duża, że wykonywanie własnych ba- dań przez biegłego przyczynia się do zdobycia wiedzy umożliwiającej ich poprawną interpretację.