

mgr Iwona Bogusz

Zakład Szkoleń Specjalnych, Centrum Szkolenia Policji w Legionowie

mgr Marek Bogusz

Katedra Socjologii, Instytut Dziennikarstwa i Socjologii, Wydział Nauk Społecznych i Humanistycznych, Społeczna Akademia Nauk w Łodzi

dr hab. Joanna Żelazna-Wieczorek, prof. UŁ

Pracownia Algologii i Mykologii, Wydział Biologii i Ochrony Środowiska, Uniwersytet Łódzki

Zastosowanie okrzemek w kryminalistyce

Streszczenie

Okrzemki ze względu na powszechność występowania w środowiskach wodnych mogą być wykorzystywane w kryminalistyce w wielu aspektach. Te jednokomórkowe organizmy są przydatne nie tylko do wsparcia diagnozy, że przyczyną śmierci było utonięcie, lecz także do potwierdzenia, czy zbiornik wodny, w którym ujawniono zwłoki, jest tym samym, w którym doszło do utonięcia. Analiza składu ilościowego i jakościowego okrzemek na odzieży oraz na obuwiu może posłużyć do potwierdzenia lub obalenia wersji kryminalistycznych oraz ustalenia, czy konkretna osoba mogła mieć kontakt z określonym środowiskiem wodnym. Cechą predysponującą okrzemki do wykorzystania w kryminalistyce jest trwałość i odporna na większość związków chemicznych oraz na wysoką temperaturę ściana komórkowa nazywana pancerzykiem. Pancerzyk ten można izolować z wielu podłoży, poddając je ekstrakcji różnymi metodami, a ze względu na jego specyficzne cechy morfologiczne – wielkość, kształt, ornamentację – ustalić, z jakimi gatunkami okrzemek mamy do czynienia.

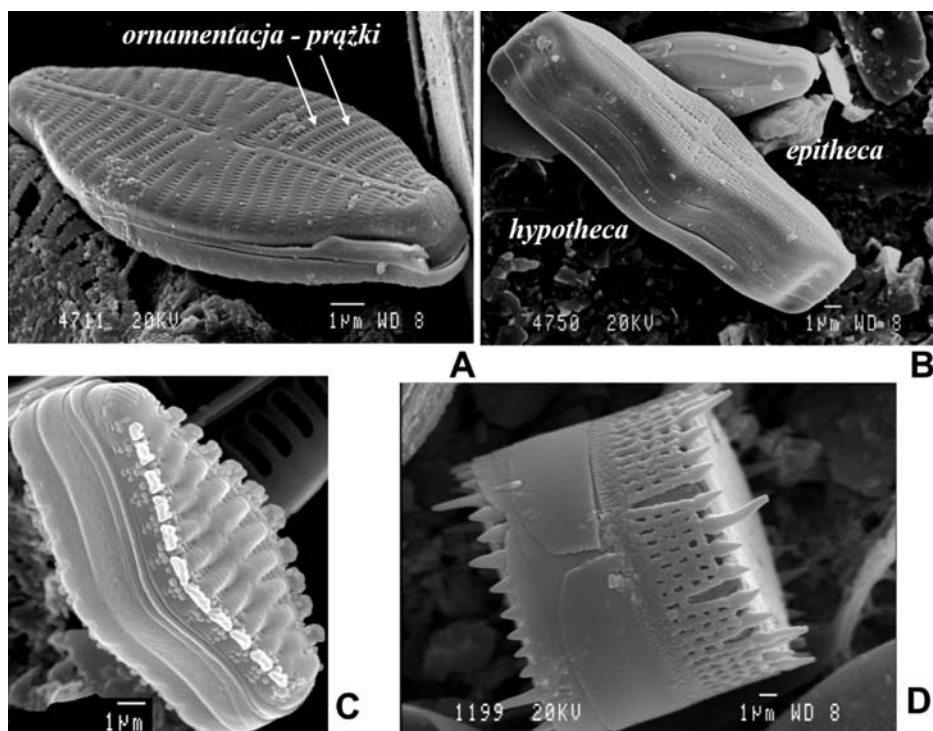
Słowa kluczowe: okrzemki, utonięcie, test okrzemkowy, ekstrakcja okrzemek, środowisko wodne, kryminalistyka, medycyna sądowa

Wprowadzenie

Okrzemki (*Bacillariophyta*) są jednokomórkowymi glonami, organizmami autotroficznymi, których komórka otoczona jest ścianą komórkową, nazywaną pancerzykiem. Składa się on z dwóch zachodzących na siebie okryw (*valve*): okrywy górnej wraz z pasem obwodowym zwanej wieczkiem (*epitheca*) oraz okrywy dolnej, która wraz z elementami pasa obwodowego zwana jest denkiem (*hypotheca*) (ryc. 1). Ściana komórkowa okrzemek jest silnie wysycona uwodnioną krzemionką, odporną na działanie większości związków chemicznych, w tym mocnych kwasów nieorganicznych, nadtlenu wodoru oraz wysokiej temperatury, dzięki czemu stanowi ona swoistego rodzaju kombinezon ochronny dla protoplastu. Jest to jedna z cech, która predysponuje okrzemki do wykorzystania w badaniach kryminalistycznych, stosowane w nich metody ekstrakcji pozwalają bowiem na pozostawienie okryw w stanie niezmiennym w trakcie preparowania materiału pozyskanego podczas oględzin. Budowa pancerzyka stanowi podstawę identyfikacji okrzemek do poziomu gatunku. Następną cechą predysponującą okrzemki do wykorzystania w badaniach kryminalistycznych jest

duża różnorodność gatunkowa, wyrażana morfologicznie w różnicy wielkości, kształtu i ornamentacji okryw. Na ornamentację składają się liczne otworki tworzące złożone wzory prążków (ryc. 1). Kształt oraz ornamentacja okryw pozwalają na przypisanie okrzemek do jednej z dwóch grup morfologicznych, która nie znajduje obecnie odzwierciedlenia w systematyce: okrzemek centrycznych oraz okrzemek pierzastych. Okrzemki centryczne mają okrywę okrągłą, eliptyczną lub wieloboczną, a ornamentacja ułożona jest promieniście lub bezładnie, natomiast okrzemki pierzaste mogą mieć okrywy w kształcie np. lancetowatym, esowatym, półksiężycowatym czy maczugowatym. Ornamentacja okrzemek pierzastych ma symetrię dwuboczną – przebiega pierzaście. Zarówno w przypadku okrzemek pierzastych, jak i centrycznych ornamentacja oraz kształt okrywy stanowią podstawę identyfikacji taksonów (Bąk i in., 2012; Pliński, Witkowski, 2009).

Okrzemki zasiedlają prawie wszystkie ekosystemy wodne: oceany i morza oraz wody śródlądowe, takie jak jeziora, rzeki i sztuczne zbiorniki. Można je także spotkać w innych wilgotnych środowiskach, między innymi w glebie, na wilgotnych skałach, na powierzchni roślin



Ryc. 1. Zróżnicowanie morfologiczne okrzemek (SEM) na przykładzie: A – *Geissleria* sp., B – *Stauroneis* sp., C – *Staurosirella* sp., D – *Aulacoseira* sp.

nacyniowych i mchów. Badania okrzemek występujących w środowisku wodnym oraz w glebie wykazały, że zespoły okrzemkowe mogą tworzyć zarówno gatunki kosmopolityczne, szeroko rozprzestrzenione, o szerokim spektrum tolerancji ekologicznej, jak i gatunki stenotopowe, które są ściśle związane z określonym rejonem i typem siedliska (Żelazna-Wieczorek, 2012). Mogą one żyć nie tylko w wodach czystych, lecz także zanieczyszczonych, np. *Nitzschia palea* uznawana jest za organizm wskaźnikowy silnie zanieczyszczonych, bogatych w azot wód płynących. Również glebę mogą zasiedlać z jednej strony gatunki wrażliwe na zanieczyszczenia, a z drugiej takie jak *Mayamaea atomus* var. *atomus*, który uznawany jest za gatunek najbardziej tolerancyjny na zanieczyszczenia (Bąk i in., 2012; Stanek-Tarkowska, Noga, 2012).

Celem pracy jest wskazanie możliwości wykorzystania okrzemek w kryminalistycznym badaniu zdarzenia w Polsce. Na podstawie wybranych światowych doświadczeń przedstawiono zastosowanie testu okrzemkowego w medycynie sądowej w diagnozowaniu utonięć, jak również w wyjaśnianiu okoliczności zdarzenia w przypadku pozostawienia śladów na odzieży i obuwiu.

Wykorzystanie okrzemek w kryminalistyce

Okrzemki są doskonałymi bioindykatorami. Ta cecha oraz fakt, że są grupą gatunków dominujących wśród tych, które wchodzi w skład fitobentosu, stanowi przyczynek do wykorzystania ich do oceny stanu

ekologicznego wód. Ocena ta oparta jest na występowaniu gatunków charakteryzujących się dużą wrażliwością na zmiany warunków środowiskowych. Różnorodność siedlisk, a w szczególności zawartość związków chemicznych w wodzie, powoduje, że w każdym środowisku wodnym obecne będą gatunki charakterystyczne dla danych warunków, co może mieć znaczenie pod kątem wykorzystania ich w kryminalistyce. Analiza jakościowa i ilościowa okrzemek znajdujących się w płynie topliwym w płucach i w żołądku oraz np. w szpiku kostnym, nerce, wątrobie i porównanie z okrzemkami występującymi w środowisku, z którego wydobyto zwłoki, pozwala na ustalenie, czy środowisko to jest tożsame z miejscem utonięcia. Możliwość wysnucia takiego wniosku wynika z faktu, że w wodach stojących, płynących, w wodach słonych i słodkich występują odmienne ich gatunki. Zróżnicowanie gatunkowe okrzemek można też zaobserwować w różnych odcinkach tej samej rzeki oraz na różnych podłożach i w mikrosiedliskach, co także jest nie bez znaczenia przy ustalaniu miejsca, w którym doszło do utonięcia bądź utopienia zwłok.

Mechanizm utonięcia a transfer okrzemek do organów wewnętrznych

Utonięcie to proces, w wyniku którego wymiana gazowa w płucach staje się niemożliwa z powodu zamknięcia dróg oddechowych wodą lub inną cieczą. Konsekwencją tego jest niedotlenienie prowadzące do nieodwracalnego uszkodzenia układu nerwowego,

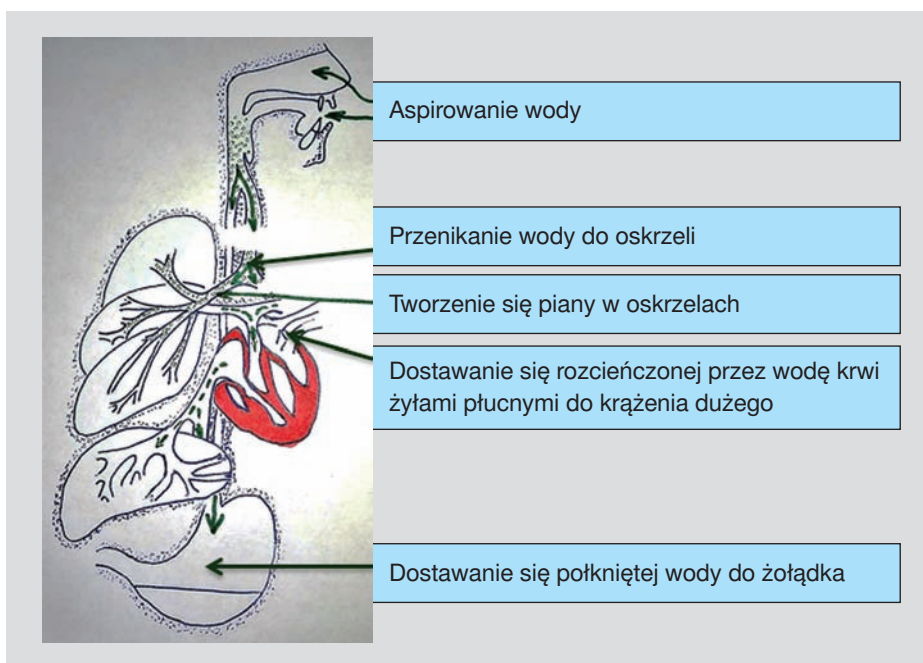
a następnie zgonu. Proces tonięcia składa się z kilku etapów – okresów (Ponsold, 1957):

1. okres szybkich oddechów (trwający od kilku do kilkunastu sekund);
2. okres oporu (trwający od pół minuty do kilku minut) polegający na świadomym wstrzymaniu oddechu. W okresie tym tonący zanurza się pod wodę;
3. okres wydatnych ruchów oddechowych wskutek narastającej duszności (trwający od jednej do dwóch i pół minuty), w wyniku których woda dostaje się do dróg oddechowych i ulega spienieniu w związku z nasiloną czynnością oddechową;
4. okres zamartwicy (trwający od jednej do półtorej minuty), w którym następują zatrzymanie czynności oddechowych, utrata czucia i przytomności na skutek masywnego niedotlenienia i śmierci mózgu;
5. okres oddechów końcowych (trwający około jednej minuty), w którym działanie centralnego układu nerwowego ogranicza się do funkcji wegetatywnych (odruchowych). W tym okresie występują drgawki toniczne i prężenie ciała.

W wyniku utonięcia do płuc może dostać się woda, a także treść żołądkowa. Dzieje się to po okresie oporu – wstrzymania oddechów, kiedy to następuje połknięcie wody i wymioty, czego konsekwencją jest respiracja treści żołądkowej do płuc. Na skutek dostania się wody do gardła i krtani pojawiają się odruchowy skurcz krtani, który trwa aż do rozluźnienia mięśni. Dopiero po tym woda z otoczenia może wlać się do płuc. To ważny etap z punktu widzenia kryminalistycznych badań okrzemek, właśnie w tym momencie bowiem, gdy krew

jeszcze krąży w naczyniach krwionośnych, okrzemki z wody znajdującej się w płucach dostają się do krwiobiegu, a następnie do narządów wewnętrznych. Według Marcinkowskiego (2000) w 10% przypadków utonięć rozluźnienie mięśni krtani może nastąpić już po śmierci (po zatrzymaniu pracy serca), co oznacza, że woda do płuc dostaje się, gdy ustało krążenie, a to z kolei uniemożliwia transfer okrzemek do narządów wewnętrznych. W takich przypadkach poza płucami można się ich spodziewać w treści żołądka. Schemat rozprzestrzeniania się płynu topliwego w organizmie przedstawia rycina 2.

Diagnozowanie, czy doszło do utonięcia, może być utrudnione szczególnie wówczas, gdy zwłoki wyłowione z wody przebywały w niej dość długo. W obrazie sekcyjnym bowiem nie zawsze będą widoczne takie cechy, jak grzybek piany wokół nozdrzy lub ust czy obecność spienionego płynu w górnych i dolnych drogach oddechowych. Często przy ocenie, czy doszło do utonięcia, pomocny okazuje się obraz sekcyjny płuc, które mogą znacznie powiększać swe rozmiary, do tego stopnia, że ich brzegi przednie zachodzą na siebie, a na powierzchni zewnętrznej płatów odciskają się żebra. Stan ten jest spowodowany rozedmą wodną płuc (*emphysema aquosum*). Ponadto płuca w obrazie sekcyjnym są puszyste, miękkie, a ich powierzchnia w przekroju jest błada i sucha (Jakliński, Marek, 1999). O ile rozedma wodna płuc jest cechą charakterystyczną dla utonięcia, o tyle należy się liczyć z tym, że nie zawsze można ją wyraźnie zaobserwować. Przyczynami mogą być: proces rozkładu, któremu poddane było ciało, lub zrosty w płucach. Rozedma będzie także słabo wykształcona, gdy tonący zanurzył się



Ryc. 2. Schemat rozprzestrzeniania się płynu topliwego w organizmie tonącego.

w wodzie po głębokim wdechu (Grzywo-Dąbrowski, 1957). W takich sytuacjach odróżnienie, czy mamy do czynienia z utonięciem, czy też zwłoki trafiły do wody już po śmierci (np. na skutek zagardlenia), niejednokrotnie może być utrudnione lub wręcz niemożliwe, jeżeli opieramy się jedynie na obrazie sekcyjnym. Zasadniczą przeszkodą jest także fakt, że wszelkiego rodzaju obrażenia przyżyciowe, które mogłyby wspomóc diagnozowanie, takie jak np. podbiegnięcia krwawe, zanikają na skutek działania wody oraz rozkładu gnilnego. Marcinkowski w *Medycynie sądowej dla prawników* (2000) docenia wartość analizy okrzemek w płynie topliwym z płuc, jednocześnie zwracając uwagę na fakt, że woda dostaje się do płuc również w przypadku zwłok, które zostały zanurzone w wodzie, i powoduje obrzęk wodny (*odema aquosum*). Autor wskazuje na potrzebę nie tylko analizy okrzemek w samych płucach, lecz także ustalenia ich obecności w innych narządach, co potwierdzają inni (np. Horton i in., 2006; Hurlimann i in., 2000; Krstic i in., 2002; Lunetta i in., 2013; Piete, De Letter, 2006; Peabody, 1977; Pollanen, 1998; Pollanen i in., 1997; Verma, 2013). Pomimo rzadkiego stosowania testu okrzemkowego do diagnozowania utonięć w Polsce potrzeba rozwoju diatomologii kryminalistycznej wydaje się zasadna, tym bardziej że polskie piśmiennictwo w tym zakresie jest niezwykle ubogie. Problem ten dostrzegają Bąk i in. (2018), którzy w publikacji powstałej na podstawie badań przypadku utonięcia kobiety opisali specyficzny obraz okrzemek w płucach, zachowany dzięki zastosowaniu odpowiedniej procedury podczas przygotowywania prób do analizy okrzemkowej.

Transfer okrzemek do narządów wewnętrznych

Badania na zwierzętach wykazały, że na podstawie obecności okrzemek można ustalić, czy przyczyną zgonu było utonięcie, czy też ciało trafiło do wody po śmierci. Chińscy naukowcy przeprowadzili badania na szczurach, których część została uśmiercona przez utopienie w rzece, a część zanurzono w tej samej rzece po wcześniejszym ich uduszeniu (Xu i in., 2011). Ciała zwierząt, których przyczyną śmierci było utonięcie, pozostały zanurzone w wodzie przez okres: 0,5 godz., 1 godz., 6 godz., 12 godz., 24 godz. i 48 godz. Natomiast ciała tych, których przyczyną

śmierci było uduszenie, zanurzono w wodzie na 1 godz. Wszystkie szczury poddano autopsji, podczas której pobrano organy wewnętrzne: płuca, wątroby, nerki oraz szpik kości długich (żebro). Pobrane organy poddano trawieniu kwasem azotowym, kwasem siarkowym oraz perhydrolem, a następnie je odwirowywano i płukano. Uzyskane w ten sposób próbki obserwowano w mikroskopie świetlnym, dzięki czemu zidentyfikowano okrzemki z rodzajów: *Melosira*, *Cyclotella*, *Actinocyclus*, *Navicula*, *Nitzschia* oraz *Achnanthisidium*. Analiza wyników wykazała, że okrzemki znalazły się we wszystkich badanych organach u szczurów, które uśmiercono przez utopienie. Transfer okrzemek do narządów wewnętrznych odbył się za pośrednictwem krwioobiegu, do którego dostały się one wraz z wodą przez płuca. W przypadku osobników, u których do śmierci doszło, zanim ich ciało znalazło się w wodzie, okrzemki ujawniono jedynie w płucach, natomiast w pozostałych narządach ich nie znaleziono.

Wniosek z tych badań jest jednoznaczny – obecność okrzemek w odległych narządach wewnętrznych wskazuje na to, że mogły się one dostać do nich wraz z wodą z płuc podczas procesu tonięcia.

W wielu krajach test okrzemkowy wykorzystywany jest do diagnozowania, czy zwłoki wyłowione z wody dostały się do niej po śmierci, czy też przyczyną zgonu było utonięcie (Karhunen i in., 2008; Kaushik i in., 2017). Za przykład może posłużyć przypadek opisany w *Forensic Science International* (Delabarde i in., 2013), dotyczący zwłok znalezionych przez pracownika miejskiego w październiku 2010 r. rzece Ill w Strasburgu. Zwłoki, a właściwie szczątki ludzkie, były niekompletne, w daleko posuniętym rozkładzie. Stanowił je częściowo zeszkieletowywany pas miednicy osoby dorosłej z zachowanymi tkankami objętymi przeobrażeniami woskowotłuszczowymi i połączonymi z kośćmi. Przeszukanie okolicy miejsca ujawnienia zwłok pozwoliło na odkrycie jeszcze dwóch ludzkich kości: lewej kości biodrowej i prawej kości udowej. Wszystkie zostały przetransportowane do zakładu medycyny sądowej i poddane oględzinom. Tłuszczowosk (*adipocera*) był obecny tylko na części pasa miednicy połączonego z dobrze zachowanymi tkankami skórnymi wraz z pozostałością włosów. W porównaniu z pasem miednicy lewa kość biodrowa i prawa kość udowa były całkowicie zeszkieletowane.

Tabela 1. Poziom wykrycia okrzemek w różnych grupach badanych szczurów, podzielonych ze względu na przyczynę śmierci – utonięcie lub uduszenie – oraz na czas przebywania ciała w wodzie.

Grupa	0,5 godz.	1 godz.	6 godz.	12 godz.	24 godz.	48 godz.	Pozorne utonięcie
Płuca	8 (100%)	8 (100%)	8 (100%)	8 (100%)	8 (100%)	8 (100%)	1 (12,5%)
Wątroba	5 (62,5%)	6 (75%)	6 (75%)	7 (87,5%)	6 (75%)	8 (100%)	0 (0%)
Nerka	7 (87,5%)	5(62,5%)	5 (62,5%)	4 (50%)	6 (75%)	6 (75%)	0 (0%)
Szpik kostny	3 (37,5%)	5(62,5%)	2 (25%)	3 (37,5%)	4 (50%)	6 (77%)	0 (0%)

Tabela 2. Wynik przeprowadzonych badań szczątków wyłowionych z rzeki III.

	Badania toksykologiczne	Badania DNA	Badania antropologiczne	Badania obecności okrzemek	Badania entomologiczne
Badany materiał	– Tłuszczowosk – Kości (szpik kostny, istota gąbczasta, warstwa korowa kości)	Próbki z trzonu prawej kości udowej	Badano zarówno kość udową, biodrową, jak i szczątkowy pas miednicy	Szpik kości	Tłuszczowosk
Wyniki	Obecność diazepam i nitrodiazepam we wszystkich badanych próbkach (najwyższa zawartość w tłuszczowosku)	Uzyskano żeński profil, co pozwoliło na zidentyfikowanie ofiary w bazie DNA	– Młoda, dorosła kobieta o wzroście (167,14 ± 3,94 cm) – Na kościach nie ujawniono obrażeń przedśmiertnych	Ujawniono dwa gatunki okrzemek (<i>Navicula lanceolata</i> i <i>Cymatopleura solea</i>) z wykluczeniem możliwości kontaminacji	Dwie poczwarki należące do <i>Muscina stabulans</i>

Zanim przystąpiono do oczyszczania kości, pobrano z nich do badań kryminalistycznych różne próbki: tłuszczowosk, włosy, szpik kostny oraz dwa kawałki z trzonu prawej kości udowej, w celu przeprowadzenia badań toksykologicznych, DNA i analizy okrzemkowej. W tłuszczowosku znaleziono dwie poczwarki insektów, które także poddano badaniom (tabela 2).

Na podstawie powyższych badań wyciągnięto wnioski, że ofiarą była młoda kobieta, która zażywała często diazepam i nitrodiazepam, a badania okrzemek wskazały, że śmierć nastąpiła na skutek utonięcia. Wnioski te zostały potwierdzone w późniejszym dochodzeniu policyjnym. Przytoczony przykład pokazuje, że test okrzemkowy może być wykorzystywany do diagnozowania utonięć nawet w przypadku zwłok niekompletnych, w daleko posuniętym rozkładzie.

Kolejnym aspektem, na który należałoby zwrócić uwagę, jest fakt, że dzięki analizie porównawczej okrzemki umożliwiają ustalenie, czy miejsce ujawnienia zwłok w wodzie było miejscem utonięcia. Natomiast jeżeli miejsce odnalezienia zwłok zostaje wykluczone jako miejsce zdarzenia, znajomość ekologii gatunków okrzemek, ich preferencji wobec warunków środowiska, pozwala na wytypowanie ekosystemu wodnego, w którym doszło do utonięcia. W tym przypadku wskazane jest pobranie próbek wody z miejsca ujawnienia zwłok, przy czym nie należy się ograniczać tylko do otwartej toni wody, ale próbki powinny być zebrane także znad powierzchni dna i z różnych rodzajów podłoża (piasek, kamienie, muł) oraz z roślin zanurzonych lub rosnących w strefie przybrzeżnej. Takie postępowanie ma uzasadnienie z uwagi na wymagania poszczególnych gatunków okrzemek wobec abiotycznych warunków środowiska. Typ podłoża, warunki związane z szybkością nurtu, warunki oświetlenia oraz termika kształtują odmienne zbiorowiska tych gatunków (Kawecka, Eloranta, 1994).

Transfer okrzemek na obuwie

Badania nad okrzemkami jako środowiskowymi formami śladów kryminalistycznych wskazują, że mogą one się przenosić nawet podczas krótkotrwałego kontaktu na obuwie, co może mieć duże znaczenie w tworzeniu wersji kryminalistycznych i wnioskowaniu na temat przebiegu zdarzenia. W Wielkiej Brytanii wzrost zainteresowania środowiskowymi formami śladów kryminalistycznych (pyłków i zarodników, pędów mszaków, glonów etc.) w celu potwierdzenia lub wykluczenia kontaktu między podejrzanymi i ofiarami przestępstwa a przedmiotami ściśle związanymi z miejscem zdarzenia przyczynił się do rozszerzenia badań nad okrzemkami. Londyńscy naukowcy z Department of Security and Crime Science oraz Department of Geography, widząc potrzebę badań empirycznych w tym zakresie, przeprowadzili eksperyment mający na celu wykazanie, czy możliwy jest transfer okrzemek oraz ich utrzymanie na różnych materiałach obuwniczych (Levin, Morgan, Jones, 2017). Do badań wykorzystano pięć różnych, nowych próbek materiałów: płótno, sztuczny zamsz i skórę – reprezentujących wierzchnią część obuwia – oraz gumę i poliuretan – odpowiedniki części spodniej. Próbki były przytwierdzone do nowej pary nienoszonych butów i następnie zanurzane w zbiorniku wodnym z charakterystycznym zbiorowiskiem okrzemek. Czas zanurzenia wynosił odpowiednio: 30 sekund, 3 minuty i 30 minut. Następnie próbki były suszone (każda oddzielnie w celu zapobieżenia kontaminacji). Buty z przytwierdzonymi próbkami, które uprzednio zanurzono na 3 minuty, były następnie noszone – używane podczas normalnej codziennej aktywności. Próbki materiałów były usuwane kolejno po upływie: 0,5 godz., 1, 2, 4, 8, 12, 24, 36 i po 168 godz., a następnie poddane różnym metodom ekstrakcji. Późniejsze analizy wykazały obecność okrywk okrzemek we wszystkich typach materiałów, jednak była

ona uzależniona od czasu zanurzenia. W odniesieniu do najkrótszego nawet czasu zanurzenia (30 sekund) uzyskano wynik pozytywny, potwierdzający ich obecność na próbce z płótna (tabela 3). Wyniki te wskazują, że nawet krótkotrwały kontakt obuwia ze zbiornikiem wodnym zostawia ślad w postaci obecności okrzemek, co może mieć istotne znaczenie przy analizie dowodów i śladów kryminalistycznych. Ze względu na fakt, że większość obuwia sportowego wykonana jest z mieszaniny różnych materiałów, w tym także z płótna, wyniki powyższych badań mogą być przydatne w potwierdzeniu, czy dana osoba miała kontakt z określonym zbiornikiem wodnym, czy nie.

Kolejnym etapem badań była analiza obecności okrzemek w zależności od czasu noszenia obuwia z próbkami, które były zanurzone w wodzie na 3 minuty. W wyniku ekstrakcji różnymi metodami uzyskano okrzemki na wszystkich wierzchnich typach materiałów (skóra, zamsz i płótno). W niektórych próbkach skóry, badanych po 8, 12 i 24 godzinach użytkowania obuwia, stwierdzono ich obecność, w innych zaś nie występowały (tabela 4).

Powyższe badania pozwoliły londyńskim badaczom na wyciągnięcie czterech wniosków:

- powierzchnię obuwia można analizować pod kątem obecności okrzemek w celu ustalenia wersji kryminalistycznych;
- próbki z obuwia można pobierać, nawet gdy kontakt ze zbiornikiem wodnym był krótkotrwały;
- w przypadku butów wykonanych z różnych materiałów wyniki badania w kierunku obecności okrzemek mogą być równie efektywne;
- analiza okrzemek z obuwia może być wykonalna nawet po 168 godzinach, które upłynęły między kontaktem ze zbiornikiem wodnym a odkryciem śladu (Levin i in., 2017).

Transfer okrzemek na odzież

Podczas kryminalistycznego badania miejsca zdarzenia zabezpieczane są liczne ślady, które pozwalają na wytypowanie sprawców lub ewentualnie wyeliminowanie osób z grona podejrzanych. Takie ślady pobiera się z odzieży ofiary oraz sprawcy. W tym przypadku najczęściej wykonywanymi badaniami, które mają na celu ustalanie wersji przebiegu zdarzenia czy potwierdzanie zeznań świadków, są analizy DNA, ewentualnie badania fizykochemiczne odzieży. Mogą one wiele

wyjaśnić podczas prowadzonych postępowań, ale niestety bywa, że okazują się niewystarczające. Czy istnieje jakiś sposób na potwierdzenie obecności sprawcy lub ofiary w określonym miejscu? Próbę udzielenia odpowiedzi na powyższe pytanie podjęli londyńscy naukowcy (Scott i in., 2014) podczas badań nad możliwością przeniesienia okrzemek z różnych środowisk wodnych na odzież oraz nad sposobami ich ekstrakcji. Analizie poddali nowe, nieużywane koszulki bawełniane, które miały kontakt z różnymi próbkami wody pobranymi z wytypowanych zbiorników wodnych (mały staw ogrodowy, mała rzeczka oraz jezioro oligotroficzne). Część koszulek była zanurzana w 300 ml wody w różnych przedziałach czasowych (3 min, 30 min, 3 godz. oraz 24 godz.). Wytypowano też dwa miejsca (dwa publiczne parki) do zbadania transferu okrzemek glebowych. W tym przypadku bawełniane koszulki były dociskane do ziemi (gleby) przez 60 sekund w dwóch różnych miejscach. Wyboru różnorodnych środowisk wodnych oraz gleby dokonano ze względu na możliwość tworzenia różnych wersji śledczych. Celem było uzyskanie odpowiedzi na pytanie, czy nawet po krótkotrwałym kontakcie z danym miejscem na podstawie występowania okrzemek można potwierdzić lub wykluczyć obecność osoby w tym miejscu. Koszulki po kontakcie z wodą i glebą były przedmiotem dalszych badań. Wybrane fragmenty (1 cm²) z każdej poddano trzem różnym metodom ekstrakcji: wypłukiwanie wodą dejonizowaną, wypłukiwanie etanolem oraz trawienie w 30% H₂O₂ w łaźni wodnej. Celem zastosowania tych odmiennych metod było ustalenie, która z nich okaże się najefektywniejsza w badaniach kryminalistycznych. Po wyizolowaniu i odwirowaniu okrzemek wykonane zostały preparaty mikroskopowe. Uzyskane i utrwalone w ten sposób mikroorganizmy zliczano i oznaczano przy użyciu mikroskopu świetlnego przy powiększeniu 1000x. Dodatkowo, po ekstrakcji, próbki materiałów były analizowane pod mikroskopem skaningowym w celu stwierdzenia, czy w tkaninach pozostały jakieś okrzemki.

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono obecność okrzemek we wszystkich próbkach materiału. Występowały one zarówno w próbkach, które zanurzono w wodzie na 3 minuty, jak i moczonych przez dłuższy czas, przy czym metoda wypłukiwania etanolem okazała się najmniej efektywna. Ocena przydatności wybranych metod ekstrakcji dowiodła,

Tabela 3. Obecność okrzemek na różnych próbkach w zależności od czasu ich zanurzenia.

Czas zanurzenia \ Rodzaj materiału	Rodzaj materiału				
	Płótno	Zamsz	Skóra	Guma	Poliuretan
30 s	+	–	–	–	–
3 min	+	+	+	+	+
30 min	+	+	+	+	+

Tabela 4. Obecność okrzemek w próbkach badanych w różnych przedziałach czasowych.

Rodzaj materiału Czas noszenia	Płótno	Zamsz	Skóra
0,0 godz.	+	+	+
0,5 godz.	+	+	+
1,0 godz.	+	+	+
2,0 godz.	+	+	+
4,0 godz.	+	+	+
8,0 godz.	+	+	+ (-)*
12,0 godz.	+	+	+(-)*
24,0 godz.	+	+	+(-)*
36,0 godz.	+	+	+
168 godz.	+	+	+

* Uzyskano preparaty mikroskopowe zarówno z okrzemkami, jak i bez nich.

że najskuteczniejsze (uzyskanie największej liczby okrzemek) jest trawienie w perhydrolu. We wszystkich próbkach, które miały kontakt z glebą, stwierdzono okrzemki, mimo że kontakt ten był stosunkowo krótki. Ostatni etap badań – obserwacja próbek materiałów po wyekstrahowaniu z nich okrzemek pod mikroskopem skaningowym – wykazał, że pozostały one także pomiędzy włóknami. Należy nadmienić, że ze wszystkich środowisk pobrano próbki kontrolne (materiał do określenia składu gatunkowego zespołów okrzemkowych), które porównano z próbkami badanymi. Wyniki wykazały zgodność gatunkową okrzemek wyłukanych z bawełnianych koszulek z tymi występującymi w próbach ze środowiska.

Wnioski z przytoczonego powyżej eksperymentu są następujące:

- wystarczy nawet krótkotrwały kontakt bawełnianej odzieży ze środowiskiem wodnym lub glebą, aby nastąpił transfer okrzemek ze środowiska na materiał;
- analizy okrzemkowe mogą być wykonywane nie tylko w sprawach związanych ze środowiskiem wodnym, lecz także ze środowiskiem lądowym;
- najbardziej efektywną metodą pozyskiwania okrzemek z bawełny może być trawienie perhydrolu;
- obecność okrzemek pomiędzy włóknami bawełny, nawet po poddaniu materiałów ekstrakcji, może być wykorzystywana przy badaniu odzieży osób podejrzanych, również w przypadku gdy odzież została oczyszczona (Scott i in., 2014).

Podsumowanie i wnioski końcowe

Powyżej przedstawiono różne możliwości wykorzystania okrzemek w kryminalistyce. Fakt, że okrzemki jako organizmy fotoautotroficzne występują powszechnie

w środowiskach wodnych i wilgotnych, takich jak gleba, oraz że możliwy jest ich transfer do narządów wewnętrznych w opisanym mechanizmie utonięcia, jak również na obuwiu lub odzieży, może być wykorzystany przy tworzeniu scenariuszy przebiegu zdarzeń oraz do typowania i eliminacji sprawców. Test okrzemkowy może być istotnym narzędziem w ustaleniu, czy w danej sytuacji doszło do utonięcia, czy też osoba została pozbawiona życia na lądzie, a jej ciało trafiło do wody później. W tym przypadku czasami jest on jedynym sposobem na postawienie diagnozy dotyczącej przyczyny śmierci, szczególnie gdy zwłoki są w stanie zaawansowanego rozkładu. Dla prowadzenia postępowań w sprawach zwłok wyłowionych z wody i prawidłowego wnioskowania istotna jest znajomość ekologicznych wymagań okrzemek, dzięki którym można ustalić, czy miejsce ujawnienia zwłok było zarazem miejscem utonięcia, a jeśli nie, to czy istnieje możliwość wskazania takiego miejsca. Wyniki testów okrzemkowych mogą być nie tylko wykorzystane przez organy ścigania do postępowania w przypadkach zwłok ujawnionych w środowisku wodnym, ale także okazać się pomocne w innych sprawach, szczególnie wtedy, gdy chcemy udowodnić, że dana osoba przebywała w konkretnym miejscu. Badania nad materiałami obuwniczymi oraz odzieżą bawełnianą dostarczają śledczym istotnych narzędzi, które mogą potwierdzić lub obalić wersję podejrzanego, zwłaszcza gdy wersja ta wiąże się z zaprzeczeniem faktu przebywania w określonym miejscu. Ponadto w pracy przedstawiono inny istotny aspekt dotyczący powiązania okrzemek z materiałem – bawełną, która stanowi zdecydowanie najszerszą grupę tkanin używanych do produkcji odzieży i obuwia. Wnikanie i osadzanie się okrzemek w materiale bawełnianym jest na tyle trwałe, że nawet intensywne metody ekstrakcji nie pozwalają usunąć ich wszystkich. Informacja ta może być dość istotna na wypadek,

gdyby ktoś próbował usunąć ślady, w tym okrzemki, z odzieży.

Źródła rycin i tabel:

Rycina 1: Joanna Żelazna-Wieczorek

Rycina 2: Marcinkowski, 2000 za: Simonin, 1955

Tabela 1: Xu i in., 2011

Tabela 2: Delabarde i inni 2013

Tabela 3 i 4: Levin i in., 2017

Bibliografia

- Bąk, M., Witkowski, A., Dobosz, S., Kociotek, J.P., Pietras, L. (2018). Diatoms and drowning: Can diatoms enter the lung after the initial drowning event? *Romanian Journal of Legal Medicine*, 26.
- Bąk, M., Witkowski, A., Żelazna-Wieczorek, J., Wojtał, A.Z., Szczepocka, E., Szulc, K., Szulc, B. (2012). *Klucz do oznaczania okrzemek w fitobentosie na potrzeby oceny stanu ekologicznego wód powierzchniowych w Polsce*. Warszawa: Biblioteka Monitoringu Środowiska.
- Delabarde, T., Keyser, C., Tracqui, A., Charabidze, D., Ludes, B. (2013). The potential of forensic analysis on human bones found in riverine environment. *Forensic Science International*, 228.
- Grzywo-Dąbrowski, W. (1957). *Medycyna sądowa dla prawników*. Warszawa: Wydawnictwo Prawnicze.
- Horton, B.P., Boreham, S., Hillier, C. (2006). The development and application of a diatom-based quantitative reconstruction technique in forensic science. *Journal of Forensic Sciences*, 51(3).
- Hurlimann, J., Feer, P., Elber, F., Niederberger, K., Dirnhofer, R., Wyler, D. (2000). Diatom detection in the diagnosis of death by drowning. *International Journal of Legal Medicine*, 114(1–2).
- Jakliński, A., Marek, Z. (1999). *Medycyna sądowa dla prawników*. Kraków: Zakamycze.
- Karhunen, P.J., Goebeler, S., Winberg, O., Tuominen, M. (2008). Time of death of victims found in cold water environment. *Forensic Science International*, 176.
- Kaushik, N., Pal, K.S., Sharma, A., Thakur, G. (2017). Role of diatoms in diagnosis of death due to drowning: Case studies. *International Journal of Medical Toxicology and Forensic Medicine*, 7(1).
- Kawecka, B., Eloranta, P. (1994). *Zarys ekologii glonów wód słodkich i środowisk lądowych*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Krstic, S., Duma, A., Janevska, B., Levkov, Z., Nikolova, K., Noveska, M. (2002). Diatoms in forensic expertise of drowning – a Macedonian experience. *Forensic Science International*, 127.
- Levin, E.A., Morgan, R.M., Jones, V.J. (2017). The transfer of diatoms from freshwater to footwear materials: An experimental study assessing transfer, persistence, and extraction methods for forensic reconstruction. *Science and Justice*, 57(5).
- Lunetta, P., Miettinen A., Spilling, K., Sajantila, A. (2013). False-positive diatom test: A real challenge? A post-mortem study using standardized protocols. *Legal Medicine*, 15(5).
- Marcinkowski, T. (2000). *Medycyna sądowa dla prawników*. Poznań: Ars Boni Et Aequi.
- Peabody, A.J. (1977). Diatoms in forensic science. *Journal of Forensic Sciences*, 17.
- Piete, M.H.A., De Letter, E.A. (2006). Drowning – still a difficult autopsy diagnosis. *Forensic Science International*, 163.
- Pliński, M., Witkowski, A. (2009). *Okrzemki – Bacillariophyta*. Seria: *Flora Zatoki Gdańskiej i wód przyległych (Bałtyk Południowy)*, cz. 4/1. Gdańsk: Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego.
- Pollanen, M.S. (1998). Diatoms and homicide. *Forensic Science International*, 91.
- Pollanen, M.S., Cheung, C., Chiasson, D.A. (1997). The diagnostic value of the diatom test for drowning. I. Utility: A retrospective analysis of 771 cases of drowning in Ontario, Canada. *Journal of Forensic Sciences*, 42.
- Ponsold, A. (1957). *Lehrbuch der gerichtlichen Medizin*. Stuttgart: G. Thieme.
- Rakowska, B. (2003). Okrzemki – organizmy, które odniosły sukces. *Kosmos. Problemy nauk biologicznych*, 52(2–3).
- Scott, K.R., Morg, R.M., Jones, V.J., Cameron, N.G. (2014). The transferability of diatoms to clothing and the methods appropriate for their collection and analysis in forensic geoscience. *Forensic Science International*, 241.
- Simonin, C. (1955). *Médecine légale judiciaire*. Paris: Maloine.
- Stanek-Tarkowska, J., Noga, T. (2012). Zbiorowiska okrzemek rozwijające się na glebach pyłowych pod uprawą kukurydzy w rejonie Podkarpacia. *Fragmenta Floristica et Geobotanica Polonica*, 19.
- Verma, K. (2013). Role of diatoms in the world of forensic science. *Journal of Forensic Research*, 4.
- Xu, G., Hu, B., Shen, R., Pan, X., Zhou, X. (2011). Applications for drowning identification by planktonic diatom test on rats in forensic medicine. *Procedia Engineering*, 18.
- Żelazna-Wieczorek, J. (2012). Okrzemki *Bacillariophyta* źródeł i odcinków źródłowych potoków w górnym odcinku rzeki San. *Roczniki Bieszczadzkie*, 20.