

# Włókna inteligentne w kryminalistyce

mł. insp. dr Katarzyna Razarenkow<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centralne Laboratorium Kryminalistyczne Policji, katarzyna.razarenkow@policja.gov.pl

## Streszczenie:

W publikacji pod tytułem *Włókna inteligentne w kryminalistyce* zawarte są informacje dotyczące nowoczesnych wyrobów włókienniczych, takich jak tkaniny inteligentne, oraz powiązania ich z odzieżą specjalnego przeznaczenia np. odzieżą militarną czy medyczną. Jak podaje literatura, w tego typu odzieży dość często stosowane są specjalistyczne modyfikacje nadające tkaninom szczególnych właściwości np. antyseptycznych tj. bakterio- i grzybobójczych. Niniejsza publikacja przedstawia główne zastosowania modyfikowanych włókien oraz ciekawe obszary tej dziedziny, które w przyszłości mogą stanowić prawdziwe wyzwanie w pracy biegłych zajmujących się analizą kryminalistyczną tekstyliów. Z racji tego, że populacja włókien „inteligentnych” o szczególnym przeznaczeniu jest dość rzadka, to zabezpieczony materiał dowodowy na miejscu zdarzenia przestępczego może okazać się bardzo mocnym dowodem materialnym w sprawie, co wydaje się być szczególnie istotne dla gromadzących i analizujących zebrany materiał badawczy.

**Słowa kluczowe:** tekstylia, włókno, modyfikacje włókien, bioaktywność, bakteriobójczość, tkaniny inteligentne, odzież medyczna, odzież militarna; kryminalistyka

## Wprowadzenie

Na podstawie dostępnych informacji literaturowych wiadomym jest, że przemysł włókienniczy nadal się prężnie rozwija. Na całym świecie prowadzone są liczne badania nad znalezieniem nowych, wydajnych i tanich sposobów produkcji „inteligentnych” wyrobów włókienniczych np. tkanin bioaktywnych lub nieszkodliwych dla środowiska. Niuanse produkcji i szczegóły modyfikacji wyrobów włókienniczych, np. materiałów bioaktywnych, dla zwykłego użytkownika/konsumenta są niedostępne i stanowią pilnie strzeżone tajemnice, niemniej jednak dane wskazują jednoznacznie, że w niedalekiej przyszłości przemysł odzieżowy będzie zmierzał w kierunku uzyskania coraz lepszych właściwości tkanin i dzianin, z uwzględnieniem cech dotąd nieznanych np. właściwości bioaktywnych lub grafiki trójwymiarowej, a co za tym idzie będzie prawdziwym wyzwaniem w badaniach kryminalistycznych mikrośladów w postaci fragmentarycznych, zmodyfikowanych włókien tekstylnych.

Celem artykułu jest poszerzenie wiedzy na podstawie najnowszych danych literaturowych dotyczących tzw. inteligentnych włókien, opierając się na zmieniających się trendach technologicznych, jak również powiązanie ich z konkretną odzieżą specjalnego przeznaczenia np. odzieżą militarną lub medyczną. Sukces

analizy mikrośladów o potencjalnej wartości dowodowej zależy w bardzo dużym stopniu od prawidłowego wykrycia i zabezpieczenia ich na miejscu zdarzenia w trakcie przeprowadzonych oględzin kryminalistycznych, a więc czynności procesowo-kryminalistycznych zdefiniowanych w Kodeksie Postępowania Karnego (k.p.k.) zgodnie z art. 207 § 1 i art. 209, ale również od wiedzy samych biegłych opiniujących badania z zakresu analizy mikrośladów. W związku z tym świadomość postępujących zmian i rozwoju technologicznego wyrobów tekstylnych jest konieczna w prowadzonych badaniach kryminalistycznych. Wiemy, że niejednokrotnie materiał dowodowy analizowany jest dopiero po upływie dłuższego czasu od zdarzenia przestępczego np. w przypadku pojawienia się nowych okoliczności w sprawie, po wielu latach, w ramach tzw. Archiwum X. Wyniki analizy włókien o znaczącej wartości dowodowej spełniają szczególnie ważną rolę zwłaszcza w przestępstwach przeciwko zdrowiu i życiu i są podstawą ustaleń, choćby w kwestii *modus operandi* w znaczeniu karno-materialnym, a więc sposobu działania i wykrycia sprawcy. Stanowią również dowód poszlakowy, pomocny w zrozumieniu zachowania sprawcy lub często odzwierciedlają jego cechy indywidualne i wielokrotnie przyczyniają się do wskazania jednoznacznej odpowiedzi, rozstrzygającej

wątpliwości na potrzeby organów ścigania czy też wymiaru sprawiedliwości.

### Nowoczesne wyroby tkackie – tkaniny inteligentne

Biorąc pod uwagę rutynowe badania mikrośladów wykonywane w policyjnych laboratoriach kryminalistycznych, stosownym jest poświęcić chwilę uwagi tematyce dotyczącej włókien i tekstyliów nowej generacji, nazywanych „inteligentnymi”. Czym są zatem inteligentne wyroby włókiennicze?

Obszerna literatura przedmiotu najczęściej przytacza definicję w myśl której tkanina inteligentna to materiał, który zmienia swoje właściwości w kontrolowany sposób pod wpływem czynników zewnętrznych. Materiał taki posiada cechy sensora, procesora i urządzenia wykonawczego. Co do zasady układy te reagują na czynniki zewnętrzne, takie jak: ciepło, światło, nacisk i zmiany chemiczne poprzez zmianę kształtu, koloru, rozmiaru, stanu skupienia, pochłanianie energii słonecznej, przewodzenie prądu i światła oraz przetwarzanie danych. W inteligentnych tekstyliach muszą występować trzy komponenty, tj. czujniki, siłowniki i jednostki sterujące. Na przykład za pracę czujników odpowiada system odpowiedzialny za detekcję sygnałów. Niektóre z materiałów działają tylko jako czujniki, podczas gdy inne jako czujniki i siłowniki. Inteligentne tkaniny to połączenie tekstyliów i elektroniki. Zmodyfikowany materiał tekstylny i zminiaturyzowane urządzenia elektroniczne tworzą inteligentny wyrób włókienniczy, zwykle tkaninę. Ubrania wykonane z tego typu tkanin pełnią specjalną funkcję w różnych sytuacjach życiowych człowieka, zależnie od projektu i zastosowania. Wytwarzanie inteligentnych wyrobów włókienniczych jest obecnie jedną z najintensywniej rozwijających się gałęzi w światowym przemyśle, zarówno włókienniczym, jaki i tekstylnym<sup>1</sup> (Syduzzaman i in., 2015).

### Surowce wykorzystane do produkcji tkanin inteligentnych

Tworzywa z naszego otoczenia są „intelektualizowane”, a zatem ich sfunkcjonalizowanie wymagało zastosowania i połączenia nawet kilkunastu różnych składowych, przy czym dzisiejsza technologia umożliwia uzyskanie tej samej funkcjonalności, znacznie ograniczając ich ilość. Takie materiały mogą np. oddziaływać, komunikować się i „wyczuwać”. Miniaturyzacja oznacza nie tylko produkcję mniejszych elementów, ale także eliminację poszczególnych składników. Mechanizmy, które wcześniej musiały być wytwarzane

poprzez łączenie różnych materiałów, dziś mogą być wykonane z jednego i tego samego komponentu. Przykładem takiego ograniczenia liczby składników i stosowanych materiałów jest np. złożony system czujników, z piezoelektrycznej folii i mechanicznej klawiatury, wymieniony na specjalną membranę. Obecnie często stosowane są też przewodzące nici metalowe, takie jak przędza tekstylna ze srebra, stali nierdzewnej, włókien węglowych o właściwościach elektrycznych. Nici powlekane polimerami, przędzą, gumą i tuszem mogą zaś pełnić funkcję czujników lub znajdują zastosowanie jako podłoże łączące. Czyste przędze metaliczne mogą być wykonane z kompozytowej stali nierdzewnej lub drobnego, ciągłego, przewodzącego stopu metalu.

Wyróżnia się następujące rodzaje połączeń włókien z materiałami przewodzącymi:

- włókna wypełnione materiałem przewodzącym (np. cząstkami węgla lub metalu),
- włókna powleczone przewodzącymi polimerami lub metalem,
- włókna przędzone cienkimi metalicznymi lub polimerowymi nitkami przewodzącymi.

Do produkcji czujników tkaninowych stosuje się najczęściej metaliczny jedwab, organzę, włókno ze stali nierdzewnej, włókno aramidowe pokryte metalem, włókno polimerowe przewodzące, powłokę polimerową i specjalne włókno węglowe. Włókna metalowe, światłowodowe i przewodzące polimery mogą być zintegrowane z tekstylną strukturą, zapewniając w ten sposób wysokie przewodnictwo elektryczne, zdolność detekcji i transmisji danych. Organiczne polimery mogą zastąpić nieorganiczne kryształy np. krzemu. Materiały te są zwykle lekkie, elastyczne, sprężyste, wykazują ciekawe właściwości mechaniczne, a jednocześnie są niedrogie i łatwe w obróbce<sup>2</sup>. Nici metalowe zaś składają się głównie z niezwykle cienkich włókien metalowych. Zazwyczaj są wytwarzane metodą wyciągania wiązki metalicznej, albo odcina się je od krawędzi cienkiej blachy metalowej. Nici i przędze metalowe mogą być dziane lub tkane w tkaninie i stosowane do tworzenia połączeń między komponentami, podczas gdy metale, zapewniające wysokie przewodnictwo, są mniej kompatybilne i trudno integrują się z odzieżą. Nici metalowe są zwykle cięższe niż większość włókien tekstylnych, a ich kruchość może z czasem wpływać na uszkodzenia maszyn wirujących, ponadto mogą powodować dyskomfort użytkownika z powodu swojej nadmiernej tendencji do ścierania i rozwarstwiania się.

<sup>1</sup> <http://textilelearner.blogspot.com/2013/04/applications-of-smart-and-interactive.html>.

<sup>2</sup> <http://textilelearner.blogspot.com/2013/04/applications-of-smart-and-interactive.html>.



Ryc. 1. Przędze metalowe

Kolejną nowością w przemyśle włókienniczym są zapewne włókna Angelina, które powstają na bazie poliestru, z dodatkiem różnych metali, takich jak: miedź, aluminium czy srebro. Włókna te wyróżniają się intensywnym połyskiem i kolorem, a także efektem holograficznym. Łatwo przepuszczają powietrze i łączą się z innymi włóknami, poza tym są miękkie i bardzo wytrzymałe, antystatyczne, przewodzą prąd i tworzą osłonę elektromagnetyczną<sup>3</sup>.



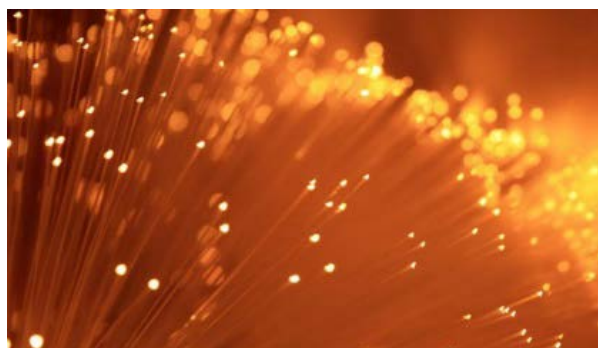
Ryc. 2. Włókna Angelina: optyczne i techniczne oraz termotopliwe



Ryc. 3. Włókna Angelina: optyczne i techniczne oraz termotopliwe

<sup>3</sup> <https://meadowbrookglitter.com/angelina-fiber>.

Z kolei włókna optyczne pochodzące z tworzywa sztucznego można łatwo zintegrować z materiałem tekstylnym. Mają tę zaletę, że nie generują ciepła i są niewrażliwe na promieniowanie elektromagnetyczne. Włókna światłowodowe mogą pełnić wiele funkcji w „inteligentnym ubraniu”: przesyłać sygnały danych, transmitować światło niezbędne do optycznej detekcji, wykrywać odkształcenia w tkaninach wynikające z naprężeń oraz reagować na substancje chemiczne. Polimerowe włókna optyczne można wpleść w materiał tekstylny, jednak nie są one elastyczne i w związku z tym łatwo ulegają trwałym uszkodzeniom np. zgięciu, co może prowadzić do mechanicznych uszkodzeń i w efekcie do utraty sygnału<sup>4</sup>.



Ryc. 4. Włókna optyczne

### Tkaniny elektroniczne

E-tekstyla, czyli tkaniny elektroniczne, należą do innowacyjnych tkanin inteligentnych, które również cieszą się dużym zainteresowaniem użytkowników. Materiały te przewodzą prąd elektryczny dzięki odpowiedniej modyfikacji powierzchni oraz doskonale sprawdzają się jako przekaźniki danych. Dane rejestrowane są i przekazywane dzięki przewodzącym ścieżkom, diodom, detektorom oraz systemom elektronicznym, które reagują na zmiany fizykochemiczne środowiska wokół tkaniny. Za sprawą nanoelektroniki sensory zintegrowane z tkaniną są praktycznie niewidoczne i niewyczuwalne. E-tekstyla można podzielić na dwie główne kategorie:

- E-tekstyla z klasycznymi urządzeniami elektronicznymi, takimi jak przewodniki, układy scalone, diody LED, diody OLED i konwencjonalne baterie wbudowane w odzież,
- E-tekstyla z elektroniką zintegrowaną bezpośrednio z podłożami tekstylnymi. Mogą obejmować pasywną elektronikę, np. przewody i rezystory lub aktywne elementy, takie jak tranzystory, diody i ogniwa słoneczne.

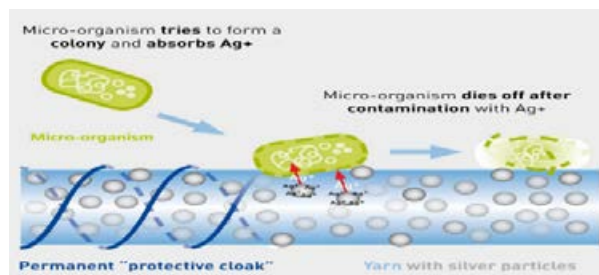
<sup>4</sup> <http://textilelearner.blogspot.com/2013/04/applications-of-smart-and-interactive.html>.

Większość e-tekstylnych materiałów to hybrydy, w których elementy elektroniczne wbudowane w tekstylna są połączone z klasycznymi urządzeniami elektronicznymi lub ich komponentami. Przykładowo przyciski dotykowe są skonstruowane całkowicie w postaci tekstylnej z przewodzących, tekstylnych splotów, które połączone są z urządzeniami, odtwarzaczami muzycznymi lub diodami LED, montowanymi na plecionych, światłowodowych sieciach tworzących konstrukcję wyświetlaczy. Warto przywołać twierdzenie Paillesa-Friedmana z Instytutu Pratta, który mówił, że „to, co sprawia, że inteligentne tkaniny są rewolucyjne to fakt, że mają zdolność spełniania wielu funkcji, których tradycyjne tkaniny nie potrafią, a więc: komunikacji, transformacji, przewodzenia energii, a nawet wzrostu”<sup>5</sup> (Grenda, 2016).

### Nanotechnologia w tkaninach

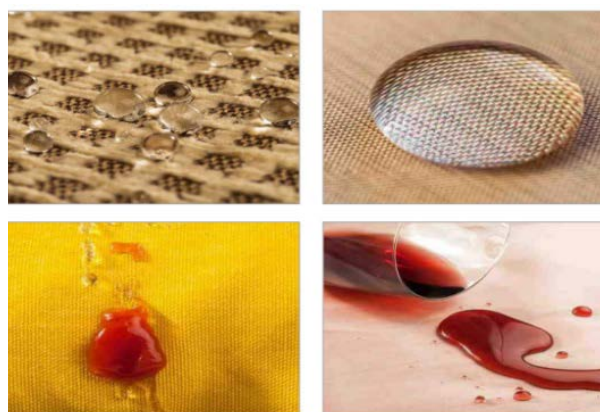
W przemyśle tekstylnym coraz częściej stosowane są powłoki z nanocząsteczek z uwagi na ich liczne zalety, do których bez wątpienia zalicza się podwyższoną wydajność i funkcjonalność tekstyliów. Standardowe metody dodawania do tkanin różnych substancji zmieniających określone właściwości włókien dają efekty, które zazwyczaj po wielokrotnym praniu i długim czasie eksploatacji z czasem słabną lub całkowicie znikają. Dzięki zastosowaniu nanotechnologii można jednak osiągnąć unikalne cechy specjalne i uzyskać tkaniny o wysokiej trwałości. Wynika to z dużego stosunku powierzchni do objętości i wysokiej energii powierzchniowej nanocząsteczek. Powlekanie za pomocą nanocząsteczek może ulepszyć właściwości antybakteryjne tekstyliów, ich wodoodporność, zapewnić ochronę przed promieniowaniem UV i samooczyszczanie, przy jednoczesnym zachowaniu właściwości oddychających i dotykowych materiału tekstylnego. Nano-Tex jest technologią poprawiającą właściwości tkaniny na poziomie molekularnym. Powoduje, że tkanina jest odporna na wchłanianie wilgoci, przywieranie zanieczyszczeń, neutralizuje ładunki elektrostatyczne. Technologia ta umożliwia również uzyskanie tkanin samooczyszczających się. Jednocześnie materiał ten zachowuje naturalną miękkość, dając poczucie komfortu. Jest trwalszy i bardziej praktyczny, a włókna swobodnie oddychają. Dzięki odporności na zabrudzenia tkanina ma ładny wygląd i długą żywotność. Inspiracją do stworzenia Nano-Tex był proces oczyszczania się liści niektórych roślin, do których brud zwyczajnie nie przylega lub jest z łatwością usuwany wraz z deszczem. Dzięki wykorzystaniu nanotechnologii tkanina ma zdolność

neutralizowania ładunków elektrostatycznych. Nano-Tex eliminuje oddziaływania elektrostatyczne z powierzchni tkaniny, a tym samym nie przyciąga kurzu i brudu oraz podwyższa komfort użytkowania. Tkanina zachowuje swój wygląd, elastyczność i przepuszczalność powietrza (Syduzzaman i in., 2015).

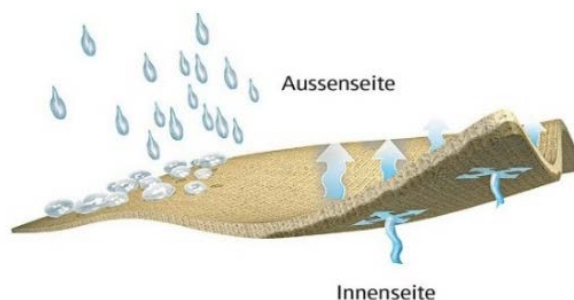


Ryc. 5. Schemat działania tkaniny Nano-Tex

Przykładem wykorzystania nanotechnologii jest tkanina C\_change – bioniczna membrana klimatyczna. Jest to membrana wiatro- i wodoodporna, która reaguje na zmiany temperatury i aktywność. W zależności od sytuacji przepuszczalność powietrza lub zatrzymywanie ciepła wzrasta albo zmniejsza się, przez co tkanina zawsze zapewnia komfort użytkowania. Naśladuje ona sposób, w jaki szyszka jodły reaguje na zmieniające się warunki atmosferyczne, zamykając się lub otwierając (Grenda, 2016).



Ryc. 6. Tkaniny samooczyszczające się



Ryc. 7. Działanie tkaniny z technologią komfortu

<sup>5</sup> <http://www.lighting.philips.com/main/systems/lighting-systems/luminous-textile> i s. 2019.

Cechą charakterystyczną tkaniny 3XDRI<sup>®</sup> jest odpychanie wody i brudu na zewnętrznej stronie materiału i pochłanianie wilgoci od wewnątrz. Ubrania wykonane z tej tkaniny zapewniają chłodzący efekt i utrzymują powierzchnię skóry suchą, dzięki czemu minimalizują pojawianie się widocznych na ubraniu plam potu (Grenda, 2016).

Ciemne kolory nagrzewają się szybciej przy bezpośredniej ekspozycji na słońce niż te jasne, ponieważ pochłaniają zarówno widoczne, jak i niewidoczne wiązki promieni świetlnych. Coldblack<sup>®</sup> to technologia wykańczania tkanin, która zmniejsza efekt nagrzewania się ciemnych kolorów. Tkanina ta pozostaje chłodna w dotyku nawet w pełnym słońcu oraz zapewnia ochronę przeciw promieniowaniu ultrafioletowemu.



Ryc. 8. Tkanina Coldblack

### Tkaniny z pamięcią kształtu

Prawdziwą rewolucję wywołały materiały SMM (Shape Memory Materials) zdolne do zmiany kształtu, rozmiaru lub wewnętrznej struktury pod wpływem określonego bodźca, np. zmiany temperatury, wilgotności względnej, pH, wpływu pola elektrycznego, magnetycznego, promieniowania czy też działania substancji chemicznej. Podczas aktywacji SMM (przy określonej temperaturze aktywacji) zwiększają się szczeliny powietrzne pomiędzy bliskimi warstwami odzieży. Ma to zapewnić lepszą izolację i ochronę przed ekstremalnymi temperaturami i zimnem. W odzieży temperatura aktywowanego efektu pamięci kształtu powinna być zbliżona do temperatury ciała. Istnieją termoplastyczne folie poliuretanowe, które można wkładać pomiędzy warstwy odzieży. Kiedy temperatura zewnętrznej warstwy ubrania spadnie wystarczająco, folia reaguje tak, że szczelina powietrzna między warstwami odzieży staje się szersza. To pozapłaszczynowe odkształcenie musi być wystarczająco mocne, aby wytrzymać ciężar ubrania i ruchy użytkownika. Jeśli zewnętrzna warstwa ubrania staje się cieplejsza, odkształcenie należy odwrócić. Niektóre stopy metali są zdolne do dwukierunkowej aktywacji, wywołanej zmienną pogodą

i zmienną aktywnością fizyczną<sup>6</sup>. Holenderska projektantka Mariëlle Leenders jest autorką tkanin Moving Textiles. Dzięki drutom z Nitinolu wplecionym w strukturę, tkanina kurczy się i rozciąga. Tkaniny te rozwijają się automatycznie podczas ekspozycji na ciepłe światło dzienne i zwijają się, kiedy temperatura spada (Grenda, 2016).



Ryc. 9. Tkaniny Moving Textiles

### Tkaniny zmieniające kolor



Ryc. 10. Fabcell – tkanina elektrochromowa

Tkaniny zmieniające kolor, tzw. kameleon, dają bardzo duże możliwości tworzenia niezwykle interesujących

<sup>6</sup> <http://www.lighting.philips.com/main/systems/lighting-systems/luminous-textile> i s. 2019.

efektów wizualnych, stąd stanowią fascynujące pole do popisu dla projektantów światowej mody. Zmiana kolorów tych wyrobów następuje pod wpływem temperatury otoczenia, światła czy prądu elektrycznego. Przykładowo tkaniny elektrochromowe zmieniają kolor pod wpływem napięcia elektrycznego, termochromowe pod wpływem temperatury, a tkaniny fotochromowe pod wpływem światła słonecznego lub ultrafioletowego. Ostatnimi czasy przebojem rynkowym jest Fabcell moduł tekstylny charakteryzujący się niezwykłą elastycznością, a przy tym nie emituje światła i jest wielokolorowy. Włókna tego modułu są barwione tuszem ciekłokrystalicznym, a przędze przewodzące połączone z elementami elektronicznymi wplecione w kwadratową tkaninę. Przy zwiększaniu napięcia wzrasta temperatura tkaniny, zmieniając jej kolor. Kwadratowe elementy tkaniny mogą być łączone ze sobą, tworząc pikselową mozaikę. Użytkownik może także przypisać kolor każdej z tkanin, kontrolując kolor, programując mikrokontrolery. System pozwala użytkownikowi łatwo konstruować i rekonstruować odzież, bez zbędnych ingerencji<sup>7</sup> (Grenda, 2016).

Projektantka Linda Worbin przeprowadziła wiele badań w kierunku stworzenia innowacyjnych tkanin inteligentnych, do których zaliczyć można tkaniny: Tic Tac, Textiles i Rather Boring Table Cloth zadrukowane tuszami termochromowymi oraz konwencjonalnymi, dzięki którym pojawiają się różne wzory na ich powierzchni pod wpływem np. wysokiej temperatury. Barwniki termochromowe tworzące warstwę zewnętrzną po podgrzaniu do temperatury ok. 30° stają się przezroczyste, ujawniając wzór nadrukowany tradycyjnymi pigmentami (Grenda, 2016).



Ryc. 11. Tkanina termochromowa

Algaemy to projekt badający potencjał mikroalg jako pigmentu stosowanego w druku tkanin, składają się z żywego, samodzielnie zebranego materiału. Rezultatem współpracy badawczej między Blond & Bieber, a Instytutem Fraunhofera w zakresie międzyfazowej inżynierii i biotechnologii (IGB) jest projekt oparty na mikroalgach, opracowany w celu tworzenia przyjaznych dla środowiska tkanin. Kolory te nie są

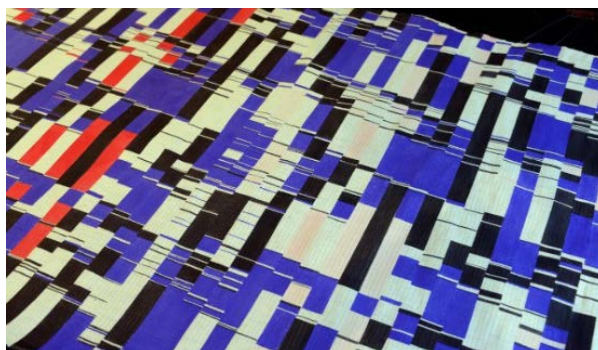
<sup>7</sup> <http://www.lighting.philips.com/main/systems/lighting-systems/luminous-textile> i s. 2019.

odporne na działanie światła, więc zmieniają się w czasie, w przeciwieństwie do powszechnych barwników chemicznych. N kolor zielony staje się intensywnie niebieski, a jasnoróżowy zmienia się na jasnoczerwony a następnie pomarańczowy. Tym sposobem tekstylia przekazują swoją historię opartą na ekspozycji i użytkowaniu (Grenda, 2016).



Ryc. 12. Tkanina Algaemy - fotochromowa

Chromosonic to programowalny interfejs tekstylny, zmieniający swój kolor i wzór. Odbarwienie materiału reagującego na ciepło zmienia się dynamicznie w reakcji na przetworzone pliki dźwiękowe, które ulegają przemianie w energię cieplną, a także poprzez bezpośredni kontakt z ciepłem rąk użytkowników. Chromosonic bada, w jaki sposób świat mediów cyfrowych staje się namacalny poprzez tekstylia. Powoli zmieniająca się tkanina reaguje na otaczające środowisko impulsy i bezpośrednią interakcję użytkownika, pokazując, że cyfrowe interfejsy nie muszą być definiowane wyłącznie przez podświetlane, szklane płaszczyzny<sup>8</sup>.



Ryc. 13. Tkanina Chromosonic

#### Tkaniny emitujące światło

Do tkanin emitujących światło należą m.in. tkaniny elektroluminescencyjne oraz tkaniny fotoluminescencyjne. Luminescencja odnosi się do promieniowania optycznego wywołanego napięciem elektrycznym – w przypadku elektroluminescencji oraz ekspozycją

<sup>8</sup> Transmaterial.net.

świetlną – w przypadku fotoluminescencji. Technologia ta pozwala na uzyskanie całych powierzchni świecących jednolitym światłem. Materiały luminescencyjne emitują zimne światło, przekształcając energię praktycznie bez żadnych strat, przez co są wydajne. Bazę technologii elektroluminescencji stanowią diody elektroluminescencyjne (LED), organiczne diody elektroluminescencyjne (OLED) i folie elektroluminescencyjne. Powierzchnie fotoluminescencyjne świecą dzięki ekspozycji świetlnej. W kategorii materiałów fotoluminescencyjnych wyróżnia się fluorescencyjne i fosforescencyjne materiały. W przypadku fluorescencji efekt świecenia zanika wraz z zanikiem źródła światła zewnętrznego, natomiast materiały fosforescencyjne świecą jeszcze przez wiele godzin (Grenda, 2016).



Ryc. 14. Tkanina fotoluminescencyjna

## Zastosowanie inteligentnych tkanin

### Opieka zdrowotna

Inteligentna odzież, którą można nosić podczas codziennych czynności, umożliwia ciągłe monitorowanie sygnałów fizjologicznych. To ciekawy sposób na ograniczenie wizyt lekarskich. Odzież ta może pełnić istotną rolę w zdalnym monitorowaniu pacjentów przewlekle chorych lub poddawanych rehabilitacji. Promuje także koncepcję profilaktycznej opieki zdrowotnej. Biorąc pod uwagę obecną sytuację demograficzną na świecie, widoczna jest potrzeba przesunięcia punktu ciężkości świadczenia opieki zdrowotnej z leczenia na profilaktykę, a także promowania i monitorowania stanu zdrowia, a nie diagnozowania choroby. SFIT służy do osobistego monitorowania zdrowia i obejmuje głównie monitorowanie elektrokardiogramu i oddychania (oraz dostęp do innych parametrów fizjologicznych i fizycznych w zależności od docelowych zastosowań) poprzez zastosowanie czujników i elektrod tkaninowych. Przykłady zastosowania SFIT to:

- odzież z wbudowanym czujnikiem tekstylnym umożliwiającą ciągłe monitorowanie EKG, oddychania, EMG i aktywności fizycznej. Inteligentna tkanina obejmuje czujnik odkształcenia tkaniny oparty

na piezoelektrycznych włóknach rezystancyjnych i elektrodach tkaninowych wykonanych z przędzy metalowej;

- kamizelka zawierająca w pełni tkane tekstylne czujniki do rozpoznawania EKG i częstotliwości oddechowej oraz przenośną elektroniczną kartę do oceny ruchu, wstępnego przetwarzania sygnału i połączenia Bluetooth do transmisji danych;
- poręczny, wrażliwy ubiór, który mierzy rytm serca człowieka i oddychanie za pomocą trójprzewodowej koszulki EKG. Przewodząca siatka światłowodowa i czujniki są w pełni zintegrowane w odzież (np. koszulka *smart shirt*)<sup>9</sup>.



Ryc. 15. Smart shirt

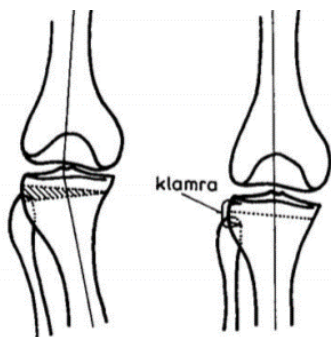
Pas ratunkowy (*life belt*) jest urządzeniem przeznaczonym do noszenia przez kobiety ciężarne, i służy do długotrwałego monitorowania stanu zdrowia płodu oraz jego matki. Pas życia przyczynia się do zmniejszenia obciążenia i zwiększenia wydajności szpitali oraz jakości świadczonych usług, ponadto dzięki zdalnemu monitorowaniu pacjenta wspomaga pracę lekarzy ginekologów, a także alarmuje podczas pojawiających się odstępstw i anomalii np. tętna płodu.



Ryc. 16. Kurtka życia

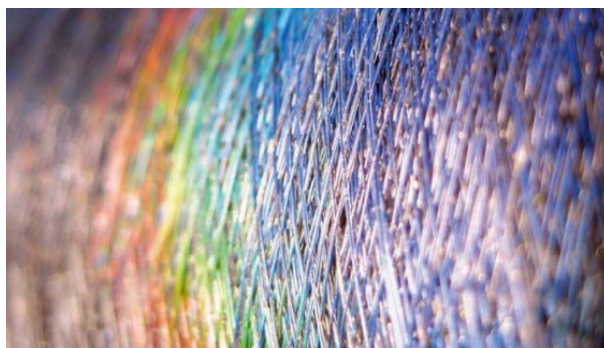
<sup>9</sup> <http://www.lighting.philips.com/main/systems/lighting-systems/luminous-textile>.

Kurtka życia (*life jacket*) to z kolei urządzenie medyczne noszone przez pacjentów, które odczytuje ciśnienie krwi lub monitoruje częstotliwość akcji serca. Informacje są przesyłane zdalnie poprzez komputer i na bieżąco kontrolowane przez wykwalifikowany w tym celu personel medyczny.



Ryc. 17. Klamry do osteosyntezy

Klamry do osteosyntezy z pamięcią kształtu znajdują zastosowanie wszędzie tam, gdzie osteosyntezę przeprowadza się przy pomocy klamer Blounta, wykonanych z tradycyjnego metalu implantacyjnego. Zaletą klamer z pamięcią kształtu w porównaniu do tradycyjnych klamer Blounta jest możliwość uzyskania ścisłego i mocnego połączenia złamanych kości. Umożliwia to szybki i pewny przebieg leczenia, zwłaszcza skomplikowanych złamań i urazów kostnych.



Ryc. 18. Inteligentny bandaż

Inteligentny bandaż poprawia natomiast kontrolę nad raną poprzez komunikowanie problemów w trakcie jej gojenia np. na skutek pojawiającej się infekcji. Opracowane przez Australijską Wspólnotę Naukowo-Przemysłową opatrunki składają się głównie z włókien z wewnętrzną warstwą sensoryczną, ciekłokrystalicznego termochromu. Po podświetleniu białym światłem tkanina bandaża mieni się w różnych kolorach, z uwagi na odbite światło kryształów, zwiększając tym samym kontrast rdzenia poszczególnych włókien. Gradient koloru włókna działa w zakresie od 25°C do 45°C, natomiast barwa zmienia się już przy wahaniach

temperatury nawet o 0,5°C. Bandaż może zatem wskazywać na pojawiający się rozwój infekcji, ułatwić jej diagnozę i umożliwić jej szybkie leczenie ograniczając inne zbędne działania<sup>10</sup> (Grenda, 2016).

### Higiena i komfort

Naukowcy z Philadelphia University opracowali włókna i materiały trwale nasączone zapachami, które wykorzystywane są do produkcji pachnących koców, pościeli lub bezwonnych strojów gimnastycznych. Zespół badawczy skoncentrował się na rozwiązaniach dla sportowców, jednak koncepcje mogą być z powodzeniem wdrażane w odniesieniu do tkanin wykorzystywanych np. w zastosowaniach militarnych. Technologia opracowana przez naukowców z amerykańskich sił powietrznych została już wykorzystana do produkcji koszulek i bielizny, które bez konieczności prania pozostają higieniczne przez kilka tygodni, dzięki podczepieniu nanocząsteczek do struktury włókien za pomocą mikrofal. Związane z nanocząsteczkami związki chemiczne mogą odpychać wodę, tłuszcze i bakterie. Tego typu pokrycie działa antybakteryjnie i wymusza proces skraplania i spływania cieczy po powierzchni. Z myślą o osobach walczących ze złymi nawykami żywieniowymi specjaliści z Fuji Spinning Company prowadzili badania nad tkaninami zawierającymi wybrane witaminy. Taka odzież sprawia, że organizm wchłania codzienne zapotrzebowanie na daną witaminę nawet po kilkudziesięciu praniach. Opracowano również koszulkę mierzącą poziom promieniowania UV i w przypadkach niedoboru witaminy E w skórze uzupełniania jej wraz z jednoczesnym aplikowaniem enzymów chroniących skórę przed starzeniem. Dla osób aktywnych sportowo, zwłaszcza zimą lub w trakcie gorącego lata, np. dla kolarzy, dobrym rozwiązaniem są aktywne ubrania termoochronne. Różne struktury dzianiny dopasowane do układu mięśni zapewniają właściwy mikroklimat, uwalniają wilgoć, a tym samym dają przyjemne uczucie świeżości (Goss & Szubska, 2009).

### Militaria

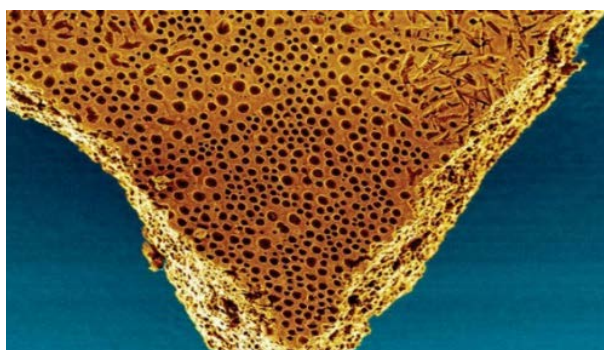
W ekstremalnych warunkach środowiskowych i niebezpiecznych sytuacjach istnieje zapotrzebowanie na technologię informacyjną funkcjonującą w czasie rzeczywistym, która ma na celu zwiększenie ochrony i zdolności przetrwania osób narażonych. Nowelizacje w zakresie wydajności i dodatkowych możliwości tkanin znalazły zastosowanie zwłaszcza w zawodach związanych z siłami obronnymi i służbami ratowniczymi. Wymagania dotyczące wymienionych grup

<sup>10</sup> <http://textilelearner.blogspot.com/2013/04/applications-of-smart-and-interactive.html>.



zawodowych związane są np. z monitorowaniem parametrów życiowych lub łagodzeniem urazów, a także kontrolowaniem na bieżąco zagrożeń środowiskowych, takich jak np. środowisko toksycznych gazów. Bezprzewodowa komunikacja z jednostką centralną pozwala np. medykom prowadzić zdalną koordynację jednostek ZRM w terenie i wymianę informacji w sposób niezwykle szybki, co umożliwia skuteczną i bezpieczną pracę ratowników, zwłaszcza w sytuacjach i warunkach szczególnie utrudnionych, ekstremalnych, dynamicznych bądź nietypowych<sup>11</sup>.

Odporna na parę wodną sztuczna skóra Self-Flexing Membrane to przykład innowacyjnej, syntetycznej skóry opracowanej przez naukowców z Instytutu Kolloidów i Interfejsów Maxa Plancka. Zastosowana w tej skórze membrana jest wyjątkowo wrażliwa na opary rozpuszczalników i szybko ulega zwijaniu się w obecności acetonu i innych rozpuszczalników organicznych. Jej reaktywna folia ma dodatkową, warstwową funkcjonalność: w kontakcie z chemikaliami jej górna powierzchnia (perforowana małymi porami) usztywnia się w momencie, gdy dolne warstwy pozostają miękkie, co umożliwia kierunkowe zwijanie się membrany, a tym samym szybkie wykrywanie oparów. Membrana samouszczelniająca charakteryzuje się szybszym czasem reakcji niż inne znane siłowniki i stosowana jest w czujnikach, a także w sztucznej mechanicznej skórze i muskulaturze (Grenda, 2016).



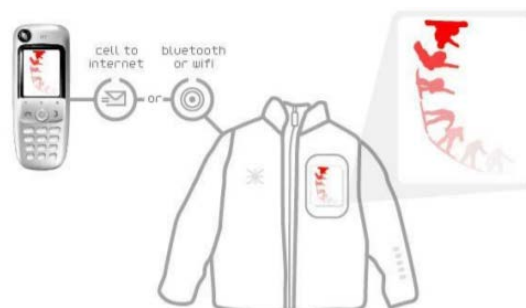
Ryc. 19. Self-Flexing Membrane

Zetix to materiał auksetyczny (tendencja do zmiany rozmiarów materiału), który jest tak trwały mechanicznie, że absorbuje i rozprasza energię z wybuchów, bez zrywania. Zetix łączy w sobie drogie, wysokowydajne materiały z tańszymi komponentami masowymi w stosunku od 1 do 100, uwydatniając w szczególności właściwości wysokowydajnych materiałów odpornych na uderzenia. Preparat Zetix stosuje się w wielu produktach, w tym w zbrojach, pasach bezpieczeństwa,

oknach, wojskowych namiotach, zabezpieczeniach przed huraganem, niciach dentystycznych oraz w szwach medycznych, które nie uszkadzają tkanki ciała (Syduzzaman i in., 2015).

### Odzież sportowa

Miłośnicy sportu mogą korzystać ze zintegrowanych czujników tkanin i paneli wyświetlaczy, które monitorują tętno i ciśnienie krwi podczas treningu w siłowni lub porannego joggingu i są w stanie analizować informacje na temat wydajności oraz korzystać z muzyki poprawiającej nastrój czy wydajność organizmu. Niektóre ubrania sportowe wykorzystywane do wyścigów samochodowych i motocyklowych, a także kombinezony astronautów, zawierają zintegrowane komponenty elektroniczne<sup>12</sup>.



Ryc. 20. Inteligentna kurtka snowboardowa

Heartbeat Hoodie to kaptur z wbudowanym aparatem fotograficznym, który pozwala automatycznie zarejestrować najważniejsze wydarzenia dnia. Aparat jest sterowany czujnikiem mierzącym tętno oraz poziomem emocji, a w przypadku stanu podekscytowania podczas użytkowania i przyspieszonego bicia serca automatycznie wykonywane są zdjęcia. W ten sposób aparat samodzielnie rozpoznaje i rejestruje najbardziej emocjonujące momenty osoby noszącej kurtkę snowboardową.



Ryc. 21. Rękawica Phony Glove16

<sup>11</sup> <http://www.lighting.philips.com/main/systems/lighting-systems/luminous-textile> i s. 2019.

<sup>12</sup> <http://www.lighting.philips.com/main/systems/lighting-systems/luminous-textile> i s. 2019.

The Phony Glove, czyli rękawica z wbudowanym he-adsetem, pozwala rozmawiać przez telefon komórkowy bez konieczności trzymania go w rękę. Co ciekawe, mikrofon wmontowany jest w mały palec the Phony Glove, a słuchawka w kciuk, rozmawia się więc, trzymając dłoń w pozycji gestu symbolizującego korzystanie z telefonu (Goss & Szubska, 2009).

Owoce współpracy firmy Nike i Apple jest technologia Nike+, która pozwala na monitorowanie na przykład spalonych kalorii przez człowieka podczas biegania oraz przetwarzanie danych, wykorzystując iPod. Pakiet zawiera sensor i odbiornik. Sensor wraz z wbudowaną baterią tworzą wodoszczelną konstrukcję. Umieszcza się go pod wkładką lewego buta z kolekcji runningowej Nike+. Odbiornik podłączony do iPod'a odbiera informacje wysyłane bezprzewodowo z sensora, a następnie przesyła je do urządzenia. Dla przykładu GPS wbudowany w buty do chodzenia umożliwia śledzenie użytkowników przez służby ratownictwa górskiego, a zainstalowany w kurtkach narciarskich pomaga w zlokalizowaniu użytkowników w przypadku zagrożeń lawinowych. Może posłużyć również do monitorowania miejsca, w którym przebywają małe dzieci. Dostępne są również rękawiczki zawierające elementy grzewcze lub wbudowane lampy emitujące światło LED, odznaczające i rozświetlające rowerzystę podczas jazdy w ciemności, powodując, że staje się dzięki nim widoczny dla innych użytkowników drogi (Goss & Szubska, 2009).

### Środowisko



Ryc. 22. Kurtka pochłaniająca zanieczyszczenia

Chlorek palladu  $PdCl_2$  jest związkiem stosowanym w detektorach tlenku węgla i do badania odporności

na korozję stali nierdzewnej. Barwny tusz zawierający sól palladu reaguje na obecność  $CO_2$  w atmosferze, ulegając odwracalnej zmianie koloru z żółtego na czarny, gdy stężenie  $CO_2$  wzrośnie powyżej pewnego poziomu. Londyńska projektantka mody Lauren Bowker opracowała barwnik z  $PdCl_2$  do zastosowań w tkaninach i stworzyła kurtkę pochłaniającą zanieczyszczenia, która informuje o obecności dwutlenku węgla. Wynalazek Bowker wpisuje się w trend rosnącej świadomości globalnych zagrożeń środowiskowych, dotyczącej nie tylko emisji gazów cieplarnianych, ale także toksyn wpływających bezpośrednio na ludzkie zdrowie, będących efektem np. biernego palenia (Syduzzaman i in., 2015).

### Drukowanie 3D

Drukowanie 3D rewolucjonizuje i w zupełności zmienia myślenie o tworzeniu produktów tekstylnych. Wysokie koszty realizacji powodują, że ta technika nie jest ogólnie dostępna, jednak warto zwrócić na nią uwagę, dzięki ogromnym możliwościom, jakie daje. Obecny poziom technologiczny umożliwia drukowanie przedmiotów z materiałów takich jak plastik, metal, drewno, ceramika, guma czy nawet czekolada. Drukowanie 3D nie jest uważane za alternatywę dla panujących technologii, ale jest nową możliwością i charakteryzuje się unikatowymi właściwościami. Możliwość posiadania dowolnych produktów, które idealnie odpowiadają naszym potrzebom, jest bardzo zachęcająca. Prognozuje się przełom w świecie dopasowanym do indywidualnych potrzeb człowieka<sup>13</sup>.



Ryc. 23. Produkty Freedom of Creation

Holenderskie studio projektowe Freedom of Creation, założone przez Janne Kyttaana i Jiri Evenhuisa w 2000 roku, jest pionierem w technice druku 3D. Tkaniny drukowane laserowo otworzyły nowe możliwości w produkcji tkanin przyszłości. Zamiast produkować tekstylia za pomocą miernika, a następnie wycinać i łączyć je, można od razu wykonywać gotowe produkty na

<sup>13</sup> <http://www.designfutures.pl/> (grudzień 2018).

miarę. Bardzo prawdopodobne jest, że w ciągu najbliższych lat każdy będzie mógł mieć w domu drukarkę 3D i drukować na niej samodzielnie projekty ściągnięte z Internetu, jednak nie przewiduje się nadawania tym materiałom szczególnych właściwości (Bilisik, 2009).

### Tkaniny 3D

Trójwymiarowe tkaniny to tekstylia, które mogą być uformowane w kształcie siatki, bez dodatkowego wzmocnienia. Tkanie 3D pozwala na produkcję tkanin o grubości do 10 cm. Trójwymiarowe struktury tkane mogą tworzyć materiały kompozytowe z frakcjami objętościowymi włókien w około 50% zarówno w jednostkach 3D, jak i w strukturach ortogonalnych 3D (Bilisik, 2009). Tkaniny trójwymiarowe mają wysoką odkształcalność, czyli mogą łatwo przyjmować kształt formy w przypadku złożonych projektów kompozytowych. Nie ma potrzeby warstwowania, ponieważ pojedyncza tkanina ma znaczną grubość, która zapewnia pełne trójwymiarowe wzmocnienie. Tkanina 3D może być formowana w różne kształty i może być wykorzystywana w zastosowaniach biologicznych do tworzenia zastępczych tkanek (Campbell, 2004). Tkaniny trójwymiarowe przyciągają uwagę coraz szerszego grona projektantów i użytkowników. Pojawienie się nowych technologii wytwarzania tkanin pozwoliło na rozwój tkanin przestrzennych. Znajdują one zastosowanie w motoryzacji, sporcie, materiałach izolacyjnych i modzie. Struktury trójwymiarowe można uzyskać za pomocą tkania, dziania, haftu czy materiałów kompozytowych (Grenda, 2016).

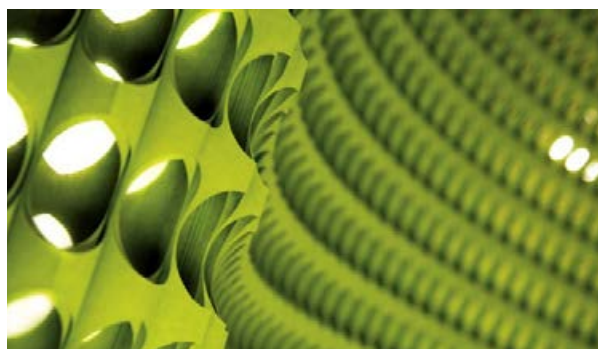


Ryc. 24. Fotel Spacer Chair

Interesująca jest tkanina dystansowa, czyli tkanina 3D składająca się z dwóch warstw tkaniny przedzielonych przeplatany elastycznymi włóknami syntetycznymi. Specjalne pionowe ułożenie tych włókien stanowi rdzeń i zapewnia znakomite rozłożenie naprężenia oraz zapewnia dobrą wentylację. Została ona wykorzystana w prototypie fotela Spacer Chair dla Droog Design. Mebel wykonany jest z włókna szklanego, nylonowej tkaniny dystansowej i żywicy

poliestrowej. W projekcie wykorzystano charakterystyczną elastyczność tkaniny dystansowej, tworząc miękką formę utwardzoną następnie żywicą. Sztywności formie nadaje także zastosowanie dwóch warstw tkaniny wykonanej w technice podwójnego tkania stosowanego w produkcji dywanów<sup>14</sup>.

Włóknina poliestrowa 3D to lekki, rozszerzalny system tekstylny 3D, który zapewnia efekt wizualny przy minimalnym zużyciu materiału. Wykonany w 100% z nietkanego poliestru, ten elastyczny materiał tekstylny może być wykorzystany w różnych mieszkalnych lub komercyjnych zastosowaniach, w których wymagana jest bogata struktura wizualna. Materiał ten sprawdzi się jako urządzenie do zaciemniania, dzielnik przestrzeni, panel do rozpraszania światła lub ekran do szybko rekonfigurowalnych przestrzeni<sup>15</sup>.



Ryc. 25. Włóknina poliestrowa 3D

Tkaniny 3D jest to obszar dosyć nowy i ciekawy, nadający się na bycie przedmiotem badań, gdyż liczba publikacji na ten temat jest znikoma. Obecnie brak jest propozycji, aby tkaninom 3D nadawać właściwości antyseptyczne, jednak w przyszłości nie można wykluczyć również takiej możliwości.

### Podsumowanie

Zebrana i opracowana wiedza, opierająca się na szerokim przeglądzie literatury, pozwoliła przedstawić wyroby włókiennicze do tej pory rzadko spotykane w praktyce kryminalistycznej, które w każdej chwili mogą pojawiać się w laboratorium jako zlecenie w konkretnej sprawie. Analizując omówione przykłady nowoczesnych wyrobów tekstylnych z grupy inteligentnych materiałów, warto zwrócić szczególną uwagę na zróżnicowaną, często niepowtarzalną ich specyfikę i nietypowe przeznaczenie. Wyroby takie jako materiał dowodowy, w postaci mikrośladów kontaktowych, mogą być ogromnym wyzwaniem dla biegłych, z uwagi na ich rodzaj, ilość

<sup>14</sup> <https://www.droog.com/project/spacer-chair-next-architects-samira-boon> (dostęp: styczeń 2019).

<sup>15</sup> <https://www.aleksandragaca.eu/> (dostęp: styczeń 2019).

i jakość, narzucając konieczność nierutynowego podejścia do nadesłanych śladów, celem ich skutecznego wykorzystania w rozwikłaniu sprawy. Wartość dowodowa przekazanych śladów kryminalistycznych w postaci pojedynczych włókien lub fragmentów tekstyliów inteligentnych może być kluczowa w prowadzonym postępowaniu karnym, z uwagi na ich nietypowe zabarwienie lub specyficzne właściwości i modyfikacje w kierunku np. personalizacji odzieży sprawcy lub ofiary przestępstwa, o czym warto pamiętać.

#### Źródła rycin:

**Ryc. 1, 4, 16, 18:** <http://textilelearner.blogspot.com/2013/04/applications-of-smart-and-interactive.html>.

**Ryc. 2, 3:** <https://meadowbrookglitter.com/angelina-fiber>.

**Ryc. 5, 22:** Syduzzaman, M., Patwary, U., Farhana, K., Ahmed, S. (2015).

**Ryc. 6, 7, 9, 11, 12:** Grenda, M. (2016).

**Ryc. 8:** [www.schoeller-textiles.com](http://www.schoeller-textiles.com).

**Ryc. 10:** <http://www.lighting.philips.com/main/systems/lighting-systems/luminous-textile>, Grenda, M. (2016).

**Ryc. 13, 14:** [Transmaterial.net](http://transmaterial.net).

**Ryc. 15:** <http://www.lighting.philips.com/main/systems/lighting-systems/luminous-textile>

**Ryc. 17:** Ćwikła, 2008.

**Ryc. 19:** [Transmaterial.net](http://transmaterial.net).

**Ryc. 20–21:** Goss & Szubska, 2009.

**Ryc. 23:** <https://www.trendhunter.com/trends/freedom-of-creation>

**Ryc. 24:** <https://www.droog.com/project/spacer-chair-next-architects-samira-boon>.

**Ryc. 25:** <https://www.aleksandragaca.eu/>.

#### Bibliografia

1. Syduzzaman, M., Patwary, U., Farhana, K., Ahmed, S. (2015). *Smart Textiles and nano-technology:*

*A general overview.* "Journal of Textile Science & Engineering", 5(1).

2. Grenda, M. (2016). *Konstrukcje tkane, tkaniny konstruowane: współczesne metody wytwarzania i pozyskiwania materiałów oraz tkanin w zrównoważonym projektowaniu.* [Rozprawa doktorska, Uniwersytet Artystyczny w Poznaniu].
3. Ćwikła, A. (2008). *Medyczne zastosowania materiałów inteligentnych*, "Scientific Bulletin of Chemical Section of Technical", 1.
4. Goss J., Szubska I. (2009). *Inteligentne wyroby włókiennicze.* Politechnika Łódzka.
5. Bilisik, K. (2009). *Multiaxis 3D Woven Preform and Properties of Multiaxis 3D Woven and 3D Orthogonal Woven Carbon/Epoxy Composites.* "Journal of Plastics and Reinforced Composites" 29(8), 1173–1186. <https://doi.org/10.1177/07316844091031>.
6. Campbell, F. C. (2004). *Manufacturing Processes for Advanced Composites.* Elsevier.

#### Strony internetowe:

1. <http://textilelearner.blogspot.com/2013/04/applications-of-smart-and-interactive.html>.
2. <https://meadowbrookglitter.com/angelina-fiber>.
3. <https://www.droog.com/project/spacer-chair-next-architects-samira-boon> (dostęp: styczeń 2019).
4. <http://www.lighting.philips.com/main/systems/lighting-systems/luminous-textile>.
5. [transmaterial.net](http://transmaterial.net).
6. <http://www.designfutures.pl/> (dostęp: grudzień 2018).
7. <https://www.3dsystems.com/> (dostęp: styczeń 2019).
8. <https://www.trendhunter.com/trends/freedom-of-creation>.
9. <https://www.aleksandragaca.eu/> (dostęp: styczeń 2019).

# Smart fibres in forensics

lieutenant colonel dr Katarzyna Razarenkow, PhD<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Central Forensic Laboratory of the Police, [katarzyna.razarenkow@policja.gov.pl](mailto:katarzyna.razarenkow@policja.gov.pl)

---

## Abstract:

In a publication titled „*Smart fibres in forensics*” contains collected information on modern textile products such as smart textiles and their connection to special-purpose garments such as military or medical clothing. According to the literature, specialised modifications are quite often used in such clothing, giving the textiles special properties, for example, antiseptic, i.e. bactericidal and fungicidal. This publication presents the main applications of modified fibres and interesting areas of this field that in the future may pose a real challenge in the work of experts involved in the forensic analysis of textiles. Since the population of special-purpose „smart” fibres is quite rare, the evidence secured at the scene of the crime may prove to be very strong material evidence in the case, which seems to be particularly important for those collecting and analysing the collected research material.

**Keywords:** textiles, fibre, fibre modifications, bioactivity, bactericidal, smart textiles, medical clothing, military clothing; forensics

---

## Introduction

Based on the available literature, it is known that the textile industry continues to thrive. Numerous studies are being conducted in many countries around the world to find new, efficient and low-cost ways to produce „smart” textiles, such as bioactive or environmentally benign textiles. The nuances of production and details of textile modification, e.g., bioactive materials, for the ordinary user/consumer are inaccessible and diligently guarded by patent secrets, nevertheless, the data clearly indicate that in the near future, the apparel industry will move towards increasingly better properties of textiles and knitted textiles, with the inclusion of features hitherto unknown, e.g., bioactive properties or three-dimensional graphics, and thus will be a real challenge in the forensic examination of micro-traces in the form of fragmented modified textile fibres.

The purpose of the article is to expand the knowledge, based on the latest literature, about the so-called smart fibres on the basis of changing technological trends, as well as to relate them to specific special-purpose clothing, such as military or medical clothing. The success of the analysis of micro-traces with potential evidentiary value depends to a very large extent on the correct detection and securing of them at the scene of the incident during the forensic inspection conducted, i.e. process-criminalistic activities,

as defined in the Code of Criminal Procedure (CCP) in accordance with Articles 207 § 1 and 209, but also on the knowledge of the experts themselves who give opinions on micro-trace analysis studies. Therefore, awareness of the progressive changes and technological developments in textile products is necessary in ongoing forensic research. We know that sometimes the evidence is analysed only after a long period of time has passed since the criminal event, e.g. when new circumstances arise in the case, after many years, within the framework of the so-called X-Files. The results of the analysis of fibres of significant evidentiary value play a particularly important role especially in crimes against health and life and are the basis for findings, if only on the issue of *modus operandi* in the criminal-material sense, i.e. the manner of action and detection of the perpetrator. They also provide circumstantial evidence to help understand the behavior of the perpetrator or often reflect his individual characteristics and many times contribute to pointing out a clear answer, resolving doubts for the purposes of law enforcement or justice.

## Modern weaving products – smart textiles

From the point of view of routine micro-trace examinations performed in police forensic laboratories, it is appropriate to devote a moment’s attention to the

subject of new-generation fibres and textiles called „smart”. So what are smart textiles?

Extensive literature on the subject most often cites the definition according to which, a smart textile is a material that changes its properties in a controlled manner under the influence of external factors. Such material has the characteristics of a sensor, processor and actuator. As a rule, these systems respond to external factors such as heat, light, pressure and chemical changes by changing shape, colour, size, state of matter, absorbing solar energy, conducting electricity and light, and processing data. There must be three components in smart textiles, namely sensors, actuators and control units. E.g., the operation of sensors is ensured by the nervous system responsible for detecting signals. Some of the materials act only as sensors while others act as sensors and actuators. Smart textiles are a combination of textiles and electronics. Modified textile material and miniaturised electronic devices create a smart textile product, usually textile. Clothes made of this type of textile have a special function in various human life situations, depending on the design and application. The manufacture of smart textiles is currently one of the most intensively developing branches in the global industry, both textile and textile<sup>1</sup>(Syduzzaman et al., 2015).

#### Raw materials used in the production of smart textiles

The plastics of our environment are „intellectualised”, and thus their functionalisation required the use and combination of up to a dozen different components, with today’s technology making it possible to achieve the same functionality by significantly reducing their number. Such materials, for example, can interact, communicate and „sense”. Miniaturisation means not only producing smaller components, but also eliminating individual components. Mechanisms that previously had to be manufactured by combining different materials can now be made from one and the same component. An example of such a reduction in the number of components and materials used is, for example, a complex sensor system, with a piezoelectric film and mechanical keypad replaced by a special membrane. Nowadays, conductive metal threads such as textile yarns made of silver, stainless steel, carbon fibres with electrical properties are also frequently used. Threads coated with polymers, yarns, rubber and ink, on the other hand, can act as sensors or find use as bonding substrates. Pure metallic yarns can be made

of composite stainless steel or a fine, continuous, conductive metal alloy.

There are the following types of connections between fibres and conductive materials:

- fibres filled with conductive material (such as carbon or metal particles),
- fibre coated with conductive polymers or metal,
- fibres spun with thin metallic or polymeric conductive threads.

Metallic silk, organza, stainless steel fibre, metal-coated aramid fibre, conductive polymer fibre, polymer coating and special carbon fibre are most commonly used for textile sensors. Metallic fibres, optical fibres and conductive polymers can be integrated into the textile structure, thus providing high electrical conductivity, sensing and data transmission capabilities. Organic polymers can replace inorganic crystals such as silicon. These materials tend to be lightweight, flexible, resilient, exhibit interesting mechanical properties, while being inexpensive and easy to process<sup>2</sup>. Metal threads, on the other hand, consist mainly of extremely thin metal fibres. They are usually produced by either pulling out a metallic bundle or cutting them off the edge of a thin metal sheet. Metallic threads and yarns can be knitted or woven into textile and used to create connections between components, while metals, which provide high conductivity, are less compatible and difficult to integrate into garments. Metallic threads tend to be heavier than most textile fibres, and their brittleness can cause damage to spinning machines over time, and they can also be a discomfort to the user due to their excessive tendency to abrade and delaminate.



Fig. 1. Metal yarns

Another novelty in the textile industry is arguably Angelina fibres, which are made from polyester, with

<sup>1</sup> <http://textilelearner.blogspot.com/2013/04/applications-of-smart-and-interactive.html>.

<sup>2</sup> <http://textilelearner.blogspot.com/2013/04/applications-of-smart-and-interactive.html>.

the addition of various metals such as copper, aluminium and silver. These fibres are distinguished by their intense luster and colour, as well as their holographic effect. They are characterised by easy air permeability, softness and ease of bonding with other fibres, while being very strong, anti-static, conductive and form an electromagnetic shield<sup>3</sup>.



**Fig. 2.** Angelina fibres: optical and technical and hot melt



**Fig. 3.** Angelina fibres: optical and technical and hot melt

Optical fibres derived from plastic, on the other hand, can be easily integrated into textile material. They have the advantage that they do not generate heat and are insensitive to electromagnetic radiation. Fibre optics can perform many functions in a „smart garment“: among other things, they can transmit data signals, transmit light necessary for optical sensing, detect deformations in textiles due to stress, and respond to chemicals. Polymer optical fibres can be woven into a textile material, but they are not flexible and therefore easily subject to permanent damage such as bending which can lead to mechanical damage and eventually loss of signal<sup>4</sup>.

<sup>3</sup> <https://meadowbrookglitter.com/angelina-fibre>.

<sup>4</sup> <http://textilelearner.blogspot.com/2013/04/applications-of-smart-and-interactive.html>.



**Fig. 4.** Optical fibres

### Electronic textiles

E-textiles, or electronic textiles, are among the innovative smart textiles that are also popular with users. These materials are electrically conductive due to appropriate surface modification and are ideal as data relays. Data is recorded and transmitted thanks to conductive pathways, diodes, detectors and electronic systems that respond to physical and chemical changes in the environment around the textile. Thanks to nanoelectronics, the sensors integrated into the textile are virtually invisible and undetectable. The field of e-textiles can be divided into two main categories:

- E-textiles with classical electronic devices such as conductors, integrated circuits, LEDs, OLEDs and conventional batteries embedded in clothing,
- E-textiles with electronics integrated directly into textile substrates. They can include passive electronics, such as wires and resistors, or active components such as transistors, diodes and solar cells.

Most e-textiles are hybrids, in which electronic elements embedded in textiles are combined with classical electronic devices or their components. Touch buttons, for example, are constructed entirely in textile form, with conductive, textile strands that are connected to devices, music players or LEDs mounted on braided, fibre-optic networks that form the structure of the displays. Timeless, then, is the claim of Pailles-Friedman of the Pratt Institute who said that „what makes smart textiles revolutionary is that they have the ability to perform many functions that traditional textiles cannot: communication, transformation, energy conduction and even growth“<sup>5</sup> (Grenda, 2016).

<sup>5</sup> <http://www.lighting.philips.com/main/systems/lighting-systems/luminous-textile> i s. 2019.

### Nanotechnology in textiles

Nanoparticle coatings are increasingly being used in the textile industry because of their many advantages, which undoubtedly include enhanced textile performance and functionality. Standard methods of adding various substances to textiles to alter certain fibre properties produce effects that usually fade or completely disappear over time after repeated washing and long use. However, through the use of nanotechnology, unique special features can be achieved and textiles with high durability can be obtained. This is due to the high surface-to-volume ratio and high surface energy of the nanoparticles. Coating with nanoparticles can improve textiles with antimicrobial properties, their water resistance, provide UV protection and self-cleaning, while maintaining the textile's breathability and tactile properties. Nano-Tex is a technology that improves textile properties at the molecular level. It makes the textile resistant to moisture absorption, dirt adhesion, neutralizes electrostatic charges and allows for self-cleaning textiles. At the same time, the material retains its natural softness giving a feeling of comfort. It is more durable and practical, and the fibres breathe freely. Preventing staining ensures the textile looks nice and lasts a long time. The technology was inspired by the cleaning process of the leaves of certain plants, to which dirt simply does not adhere or is easily removed with the rain. Thanks to the use of nanotechnology, the textile has the ability to neutralize static electricity. Nano-Tex eliminates electrostatic interactions from the surface of the textile, and thus does not attract dust and dirt and increases the comfort of use. The textile retains its appearance, elasticity and air permeability (Syduzzaman et al., 2015).

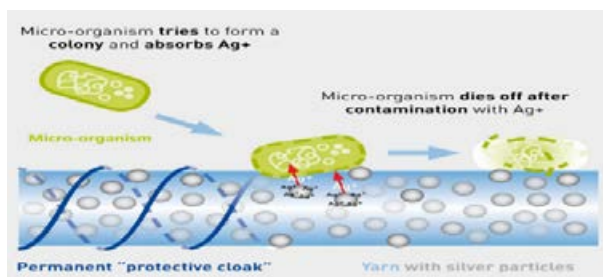


Fig. 5. Nano-Tex textile, principle of operation

An example of the use of nanotechnology is the C<sub>2</sub> change textile, a bionic climate membrane. It is a wind- and water-resistant membrane that responds to changes in temperature and activity. Depending on the situation, air permeability or heat retention increases or decreases, so that the textile always provides comfort. It mimics the way a fir cone responds to changing weather conditions by closing or opening (Grenda, 2016).

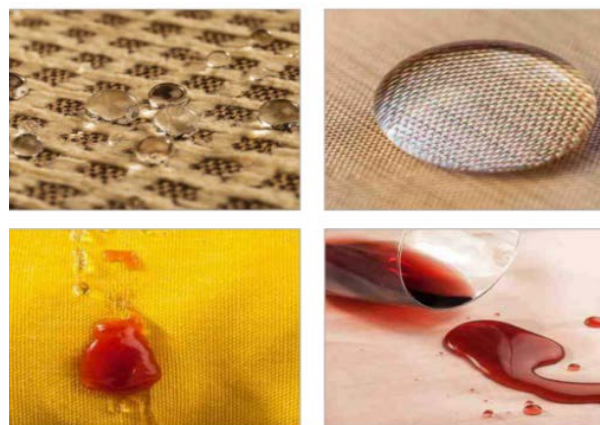


Fig. 6. Self-cleaning textiles

The hallmark of 3XDRY<sup>®</sup> textile is that it repels water and dirt on the outside of the textile and absorbs moisture on the inside. Clothes made from this textile provide a cooling effect and keep the surface of the skin dry, thus minimizing the appearance of visible sweat stains on clothing (Grenda, 2016).

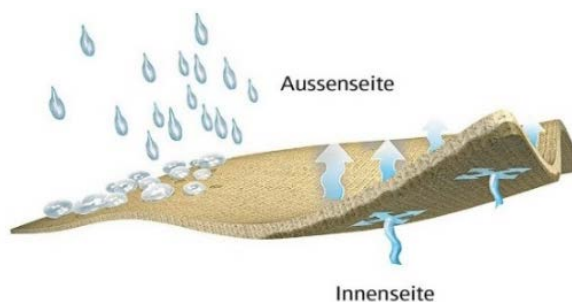


Fig. 7. Textile with comfort technology, principle of operation

As we know, dark colours heat up faster with direct exposure to the sun than light ones, because they absorb both visible and invisible beams of light rays. Coldblack<sup>®</sup> is a textile finishing technology that reduces the heating effect of dark colours. The textile remains cool to the touch even in bright sunlight and provides protection against ultraviolet radiation.



Fig. 8. Coldblack textile



### Shape memory textiles

The real revolution was triggered by SMM (Shape Memory Materials) materials capable of changing shape, size or internal structure under the influence of a specific stimulus, such as a change in temperature, relative humidity, pH, the influence of an electric field, magnetic field, radiation, or the action of a chemical substance. During SMM activation (at a certain activation temperature), air gaps between close layers of clothing increase. This is to provide better insulation and protection from extreme temperatures and cold. In clothing, the temperature of the activated shape memory effect should be close to body temperature. There are thermoplastic polyurethane films that can be inserted between layers of clothing. When the temperature of the outer layer of clothing drops enough, the film reacts so that the air gap between the layers of clothing becomes wider. This out-of-plane deformation must be strong enough to withstand the weight of the garment and the wearer's movements. If the outer layer of clothing becomes warmer, the deformation should be reversed. Some metal alloys are capable of bidirectional activation induced by changing weather and varying physical activity<sup>6</sup>. Dutch designer Mariëlle Leenders is the author of Moving Textiles. With Nitinol wires woven into the structure, the textile shrinks and stretches. These textiles automatically unfurl when exposed to warm daylight and curl up when the temperature drops (Grenda, 2016).



Fig. 9. Moving Textiles

### Colour-changing textiles

Colour-changing textiles, the so-called chameleon, offer a great deal of scope for creating extremely interesting visual effects, hence they are a fascinating field for designers of world fashion. The colour change of these products occurs under the influence of ambient temperature, light or electric current. For example, electrochromic textiles change colour when exposed to electric voltage, thermochromic textiles when exposed to temperature, and photochromic textiles when exposed to sunlight or ultraviolet light. Recently,

a market hit is Fabcell textile module characterised by extraordinary flexibility, while it is non-light emitting and multicoloured. The fibres of this module are dyed with liquid crystal ink, and conductive yarns connected to electronic components are woven into a square textile. With increasing tension, the temperature of the textile increases, changing its colour. Square pieces of textile can be joined together to form a pixelated mosaic. The user can also assign a colour to each textile, controlling the colour by programming the microcontrollers. The system allows the user to easily construct and reconstruct garments without unnecessary interference<sup>7</sup> (Grenda, 2016).

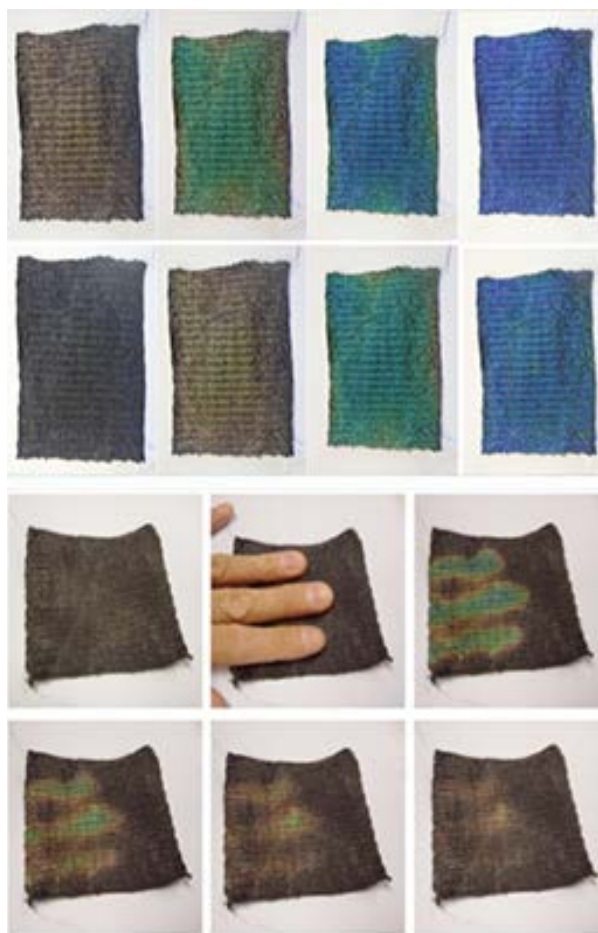


Fig. 10. Fabcell - electrochromic textile

Designer Linda Worbin has done a lot of research into creating innovative smart textiles, which include textiles: Tic tac, Textiles and Rather Boring Table Cloth, printed with thermochromic and conventional inks, so that different patterns appear on their surface when exposed to heat, for example. The thermochromic dyes that make up the outer layer become transparent when

<sup>6</sup> <http://www.lighting.philips.com/main/systems/lighting-systems/luminous-textile> i s. 2019.

<sup>7</sup> <http://www.lighting.philips.com/main/systems/lighting-systems/luminous-textile> i s. 2019.

heated to about 30°, revealing the pattern printed with traditional pigments (Grenda, 2016).



**Fig. 11.** Thermochromic textile

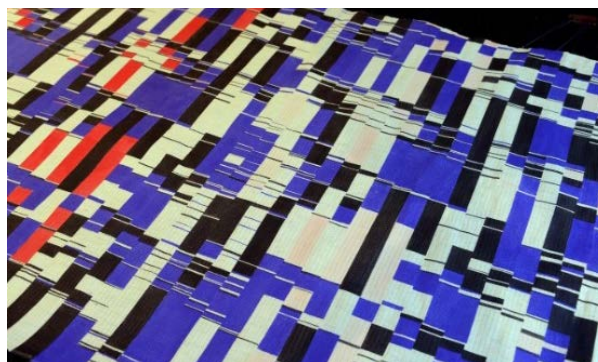
Algaemy is a project exploring the potential of microalgae as a pigment used in textile printing, and consists of living, self-collected material. The result of a research collaboration between Blond & Bieber, and the Fraunhofer Institute for Interfacial Engineering and Biotechnology (IGB), is a microalgae-based project developed to create environmentally friendly textiles. These colours are not resistant to light, so they change over time, unlike common chemical dyes. For example, the colour green becomes intensely blue, and light pink turns bright red and then orange. In this way, textiles convey their history based on exposure and use (Grenda, 2016).



**Fig. 12.** Algaemy textile - photochromic

Chromosonic is a programmable textile interface that changes its colour and pattern. The discolouration of the heat-responsive material changes dynamically in response to the processed sound files, which are transformed into heat energy, as well as through direct contact with the heat of the users' hands. Chromosonic explores how the world of digital media becomes tangible through textiles. The slowly changing textile responds to the surrounding environment with impulses and direct user interaction, demonstrating that digital interfaces need not be defined solely by illuminated glass planes<sup>8</sup>.

<sup>8</sup> transmaterial.net.



**Fig. 13.** Chromosonic textile

### Light emitting textiles

Light-emitting textiles include electroluminescent textiles and photoluminescent textiles. Luminescence refers to optical radiation caused by electrical voltage, in the case of electroluminescence, and light exposure, in the case of photoluminescence. This technology makes it possible to achieve entire surfaces glowing with uniform light. Luminescent materials emit cold light, converting energy with virtually no loss, making them efficient. Light-emitting diodes (LEDs), organic light-emitting diodes (OLEDs) and electroluminescent films are the basis of electroluminescence technology. Photoluminescent surfaces glow due to light exposure. In the category of photoluminescent materials, fluorescent and phosphorescent materials are distinguished. In the case of fluorescence, the glowing effect disappears with the disappearance of the external light source, while phosphorescent materials continue to glow for many hours (Grenda, 2016).



**Fig. 14.** Photoluminescent textile

### The use of smart textiles

#### Healthcare

The smart garment, which can be worn during daily activities, allows continuous monitoring of physiological signals. This is an interesting way to reduce medical visits. These garments can play an important role in the remote monitoring of patients who are chronically ill or

undergoing rehabilitation. It also promotes the concept of preventive health care. Given the current global demographics, there is an apparent need to shift the focus of healthcare delivery from treatment to prevention, and to promote and monitor health rather than disease diagnosis. SFIT is used for personal health monitoring and mainly includes monitoring of electrocardiogram and respiration (and access to other physiological and physical parameters depending on the target applications) through the use of sensors and textile electrodes. Examples of SFIT applications include:

- clothing with built-in textile sensor for continuous monitoring of ECG, respiration, EMG and physical activity. The smart textile includes a textile strain sensor based on piezoelectric resistance fibres and textile electrodes made of metal yarn,
- a vest containing fully woven textile sensors for ECG and respiratory rate recognition and a portable electronic card for motion assessment, signal pre-processing and Bluetooth connection for data transmission,
- a handy, sensitive garment that measures a person's heart rhythm and respiration using a three-wire ECG shirt. The conductive fibre optic mesh and sensors are fully integrated into the garment (e.g., smart shirt)<sup>9</sup>.



Fig. 15. Smart shirt

The life belt (life belt) is a device designed to be worn by pregnant women, and is used for long-term monitoring of the health of the fetus and its mother. The life belt contributes to reducing the burden and increasing the efficiency of hospitals and the quality of services, moreover, by remotely monitoring the patient, it supports the work of gynecologists, and alerts during emerging deviations and anomalies such as fetal heart rate.

A life jacket, on the other hand, is a medical device worn by patients that reads blood pressure or monitors heart rate. The information is sent remotely via

computer and monitored in real time by medical personnel qualified to do so.



Fig. 16. Lifejacket

Shape memory osteosynthesis clamps are used wherever osteosynthesis is performed with Blount clamps made of traditional implant metal. The advantage of shape-memory clamps over traditional Blount clamps is that they can achieve a tight and firm fusion of fractured bones. This allows for a fast and reliable course of treatment, especially of complex fractures and bone injuries.

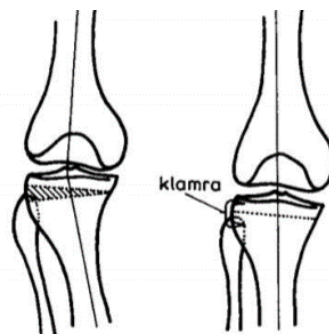


Fig. 17. Osteosynthesis clamps

The smart bandage, meanwhile, improves control over the wound by communicating problems as it heals, such as from an emerging infection. Developed by the Australian Science and Industry Community, the dressings consist mainly of fibres with an inner sensory layer, liquid crystal thermochromes. When illuminated with white light, the textile of the bandage shimmers in different colours due to the reflected light of the crystals, increasing the contrast of the core of the individual fibres. The fibre's colour gradient operates between 25 and 45°C, while the colour changes with temperature fluctuations as small as 0.5°C. A bandage can therefore indicate the emerging development of an infection, facilitate its diagnosis and

<sup>9</sup> <http://www.lighting.philips.com/main/systems/lighting-systems/luminous-textile>

enable its rapid treatment by reducing other unnecessary actions<sup>10</sup> (Grenda, 2016).



**Fig. 18.** Smart bandage

### Hygiene and comfort

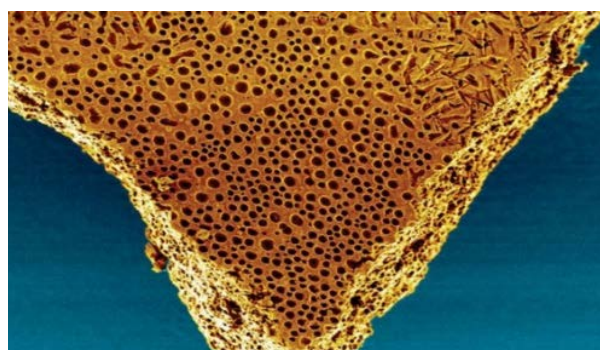
Researchers at Philadelphia University have developed fibres and materials permanently impregnated with fragrances, which are used in the production of scented blankets, bedding or odorless gym outfits. The research team focused on solutions for athletes, but the concepts can be successfully implemented for textiles used in military applications, for example. The technology, developed by U.S. Air Force scientists, has already been used to produce shirts and underwear that remain hygienic for several weeks without washing, thanks to the attachment of nanoparticles to the fibre structure using microwaves. Nanoparticle-bound chemicals can repel water, grease and bacteria. This type of coating has an antibacterial effect and forces the process of liquids condensing and flowing down the surface. With an eye toward people battling bad eating habits, specialists at the Fuji Spinning Company, conducted research on textiles containing selected vitamins. Such clothing allows the body to absorb the daily requirement of a particular vitamin even after dozens of washings. Developed, the shirt also measures the level of UV radiation and, in cases of vitamin E deficiency in the skin, supplements it with the simultaneous application of enzymes that protect the skin from aging. For those who are active in sports especially in winter or during the hot summer, such as cyclists, active thermal clothing is a good option. Different knit structures tailored to the muscle system, provide the right microclimate, release moisture, and thus provide a pleasant feeling of freshness (Goss & Szubska, 2009).

### Military use

In extreme environmental conditions and dangerous situations, there is a need for real-time information

technology to enhance the protection and survivability of those exposed. Revisions in performance and additional textile capabilities have found application especially in professions such as defense forces and emergency services. Requirements for the aforementioned occupational groups are related to, for example, monitoring vital signs or mitigating injuries, as well as controlling environmental hazards such as toxic gas environments on an ongoing basis. Wireless communication with the central unit allows, for example, medics to carry out remote coordination of emergency medical units in the field and exchange information extremely quickly, which enables effective and safe work of rescuers, especially in situations and conditions particularly difficult, extreme, dynamic or unusual<sup>11</sup>.

The vapor-resistant Self-Flexing Membrane artificial skin is an example of an innovative synthetic skin developed by scientists at the Max Planck Institute for Colloids and Interfaces. The membrane used in this skin is extremely sensitive to solvent vapors and quickly curls in the presence of acetone and other organic solvents. Its reactive film has an additional layered functionality: when it comes into contact with chemicals, its upper surface (perforated with small pores) stiffens as the lower layers remain soft, allowing the membrane to roll up directionally and thus detect vapours quickly. The self-sealing membrane has a faster response time than other known actuators and has been used in sensors, as well as in artificial mechanical skin and musculature (Grenda, 2016).



**Fig. 19.** Self-Flexing Membrane

Zetix is an auxetic material (a tendency for the material to change size) that is so mechanically durable that it absorbs and dissipates energy from explosions without breaking. Zetix combines expensive, high-performance materials with cheaper bulk components in a ratio of 1 to 100, highlighting in particular the properties of high-performance impact-resistant materials.

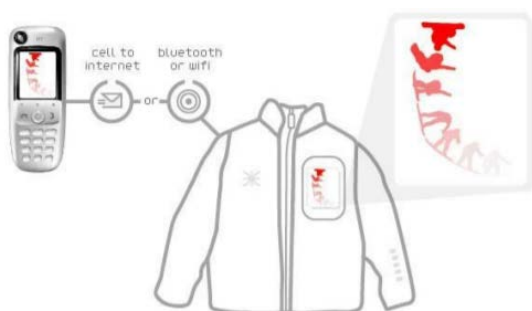
<sup>10</sup> <http://textilelearner.blogspot.com/2013/04/applications-of-smart-and-interactive.html>.

<sup>11</sup> <http://www.lighting.philips.com/main/systems/lighting-systems/luminous-textile> i s. 2019.

Zetix is used in many products, including armor, seat belts, windows, military tents, hurricane protection, dental sutures, and medical sutures that do not damage body tissue (Syduzzaman et al., 2015).

**Sportswear**

Sports enthusiasts can use integrated textile sensors and display panels to monitor heart rate and blood pressure during a workout at the gym or a morning jog, and are able to analyse performance information and use music to improve mood or performance. Some sportswear used for car and motorcycle racing, as well as astronaut suits, contain integrated electronic components<sup>12</sup>.



**Fig. 20.** Smart snowboard jacket

Heartbeat Hoodie is a hoodie with a built-in camera, allows you to automatically record the most important events of the day. The camera is controlled by a sensor that measures heart rate and excitement levels and in the event of an excited state of use and an accelerated heartbeat, photos are automatically taken. In this way, the camera independently recognizes and captures the most exciting moments of the person wearing the snowboard jacket.



**Fig. 21.** Phony Glove 16

The Phony Glove, a glove with a built-in headset, allows you to talk on your cell phone without having to

hold it in your hand. Interestingly, the microphone is embedded in the little finger of the Phony Glove and the earpiece in the thumb, so you talk while holding your hand in a gesture position symbolizing the use of the phone (Goss & Szubska, 2009).

The fruit of Nike and Apple’s collaboration is Nike+ technology, which allows a person to monitor, for example, calories burned while running and process the data using an iPod. The package includes a sensor and receiver. The sensor, along with the built-in battery, form a waterproof design. It is placed under the insole of the left shoe of the Nike+ running collection. A receiver connected to the iPod receives the information sent wirelessly from the sensor and then transmits it to the device. For example, GPS built into walking boots allows mountain rescue services to track users, and installed in ski jackets, helps locate users in case of avalanche threats. It can also be used to monitor the place where small children are staying. Gloves are also known to contain heating elements or built-in LED light-emitting diodes to distinguish and illuminate the cyclist while riding in the dark, making him visible to other road users thanks to them (Goss & Szubska, 2009).

**Environment**



**Fig. 22.** Dirt-absorbing jacket

Palladium chloride PdCl<sub>2</sub> is a compound used in carbon monoxide detectors and to test the corrosion resistance of stainless steel. Coloured ink containing palladium salt reacts to the presence of CO<sub>2</sub> in the atmosphere, undergoing a reversible colour change from yellow to black when the CO<sub>2</sub> concentration rises above a certain level. London-based fashion designer Lauren Bowker has developed a dye with PdCl<sub>2</sub> for use

<sup>12</sup> <http://www.lighting.philips.com/main/systems/lighting-systems/luminous-textile> i s. 2019.

in textiles and created a pollution-absorbing jacket that indicates the presence of carbon dioxide. Bowker's invention is part of a trend of growing awareness of global environmental risks, concerning not only greenhouse gas emissions, but also toxins directly affecting human health, resulting from, for example, second-hand smoke (Syduzzaman et al., 2015).

### 3D Printing



**Fig. 23.** Freedom of Creation Products

3D printing is revolutionizing and completely changing the way we think about creating textile products. The high cost of implementation means that this technique is not generally available, but it is attracting attention due to its immense possibilities. The current level of technology makes it possible to print objects from materials such as plastic, metal, wood, ceramic, rubber or even chocolate. 3D printing is not taken as an alternative to prevailing technologies, but is a new possibility and has unique properties. The possibility of having any products that perfectly suit our needs is very encouraging. A breakthrough in a world tailored to individual human needs is forecast.



**Fig. 24.** Spacer Chair

Dutch design studio Freedom of Creation, founded by Janne Kytanen and Jiri Evenhuis in 2000, is a pioneer in 3D printing technology. Laser-printed textiles have opened up new possibilities in the production of textiles of the future. Instead of producing textiles with

a yardstick and then cutting and joining them, finished products can be made to measure right away. It is very likely that in the next few years everyone will be able to have a 3D printer at home and print designs downloaded from the Internet on it themselves, but it is not expected to give these materials special properties (Bilisik, 2009).

### 3D textiles

Three-dimensional textiles are textiles that can be formed in the shape of a mesh, without additional reinforcement. 3D weaving allows the production of textiles up to 10 cm thick. Three-dimensional woven structures can form composite materials with fibre volume fractions of about 50% in both 3D units and 3D orthogonal structures (Bilisik, 2009). Three-dimensional textiles have a high deformability, meaning they can easily take the shape of a form for complex composite designs. There is no need for layering, as the single textile has a substantial thickness that provides full three-dimensional reinforcement. The 3D textile can be molded into various shapes and can be used in biological applications to create tissue replacements (Campbell, 2004). Three-dimensional textiles are attracting the attention of a growing number of designers and users. The advent of new textile-making technologies has allowed the development of spatial textiles. They are used in automotive, sports, insulation materials and fashion. Three-dimensional structures can be achieved using weaving, knitting, embroidery or composite materials (Grenda, 2016).

Of interest is the spacer textile, which is a 3D textile consisting of two layers of textile interwoven with flexible synthetic fibres. The special vertical arrangement of these fibres forms the core and provides excellent stress distribution and ensures good ventilation. It was used in the prototype of the Spacer Chair for Droog Design. It is made of fibreglass, nylon spacer textile and polyester resin. The design takes advantage of the characteristic flexibility of spacer textile, creating a soft form that is then hardened with resin. The rigidity of the form is also given by the use of two layers of textile made using the double weaving technique used in the production of carpets<sup>13</sup>.

3D nonwoven polyester is a lightweight, expandable 3D textile system that provides visual impact with minimal material use. Made of 100% non-woven polyester, this flexible textile can be used in a variety of residential or commercial applications where rich visual texture is required. The material can be used as a shading

<sup>13</sup> <https://www.droog.com/project/spacer-chair-next-architects-samira-boon> (accessed January 2019)

device, space divider, light diffusion panel or screen for rapidly reconfigurable spaces<sup>14</sup>



**Fig. 25.** 3D nonwoven polyester

3D textiles is a fairly new and interesting area suitable for research, as the number of publications on the subject is negligible. At the moment there are no proposals to give 3D textiles antiseptic properties, but in the future this possibility cannot be ruled out either.

### Conclusions

The knowledge collected and compiled, based on an extensive literature review, made it possible to present textile products hitherto rarely encountered in forensic practice, which can appear in the laboratory at any time as an order in a specific case. The discussed examples of modern textile products from the group of smart materials pay special attention to their diverse, often unique characteristics and unusual purpose of the product. Such products as evidence, in the form of contact micro-traces, can be a formidable challenge for experts due to their type, quantity and quality, imposing the need for a non-routine approach to the submitted traces in order to use them effectively in unraveling the case. The evidentiary value of transferred forensic traces in the form of single fibres or fragments of smart textiles can be crucial in ongoing criminal proceedings, due to their unusual colouring or specific properties and modifications towards, for example, personalisation of the perpetrator's or victim's clothing, which is worth bearing in mind.

### Source of figures:

**Fig. 1, 4, 16, 18:** <http://textilelearner.blogspot.com/2013/04/applications-of-smart-and-interactive.html>.

**Fig. 2, 3:** <https://meadowbrookglitter.com/angelina-fibre>.

**Fig. 5, 22:** Syduzzaman, M., Patwary, U., Farhana, K., Ahmed, S. (2015).

**Fig. 6, 7, 9, 11, 12:** Grenda, M. (2016).

**Fig. 8:** [www.schoeller-textiles.com](http://www.schoeller-textiles.com)

**Fig. 10:** <http://www.lighting.philips.com/main/systems/lighting-systems/luminous-textile>, Grenda, M. (2016).

**Figs. 13, 14:** [transmaterial.net](http://transmaterial.net).

**Fig. 15:** <http://www.lighting.philips.com/main/systems/lighting-systems/luminous-textile>

**Fig. 17.** Ćwikła, 2008

**Fig. 19:** [transmaterial.net](http://transmaterial.net)

**Figs. 20–21:** Goss & Szubska, 2009

**Fig. 23:** <https://www.trendhunter.com/trends/freedom-of-creation>

**Fig. 24:** <https://www.droog.com/project/spacer-chair-next-architects-samira-boon>

**Fig. 25:** <https://www.aleksandragaca.eu/>

### References

1. Syduzzaman, M., Patwary, U., Farhana, K., Ahmed, S. (2015). Smart Textiles and nano-technology: A general overview. *Journal of Textile Science & Engineering*, 5(1).
2. Grenda, M. (2016). *Woven structures, constructed textiles: contemporary methods of materials and textile sourcing in sustainable design*. [Doctoral dissertation, University of Arts in Poznań].
3. Ćwikła, A. (2008). Medical applications of smart materials, *Scientific Bulletin of Che Im Section of Technical*, 1.
4. Goss J., Szubska I. (2009). *Inteligentne Wyroby Włókiennicze (Smart Textiles)*. Łódź University of Technology
5. Bilisik, K. (2009). „Multiaxis 3D Woven Preform and Properties of Multiaxis 3D Woven and 3D Orthogonal Woven Carbon/Epoxy Composites „, *Journal of Plastics and Reinforced Composites* 29(8), 1173–1186. <https://doi.org/10.1177/07316844091031>.
6. Campbell, F. C. (2004). *Manufacturing Processes for Advanced Composites*. Elsevier.

### Internet sources:

1. <http://textilelearner.blogspot.com/2013/04/applications-of-smart-and-interactive.html>.
2. <https://meadowbrookglitter.com/angelina-fiber>.
3. <https://www.droog.com/project/spacer-chair-next-architects-samira-boon> (dostęp: styczeń 2019).
4. <http://www.lighting.philips.com/main/systems/lighting-systems/luminous-textile>.
5. [transmaterial.net](http://transmaterial.net).
6. <http://www.designfutures.pl/> (dostęp: grudzień 2018).
7. <https://www.3dsystems.com/> (dostęp: styczeń 2019).
8. <https://www.trendhunter.com/trends/freedom-of-creation>
9. <https://www.aleksandragaca.eu/> (dostęp: styczeń 2019)

<sup>14</sup> <https://www.aleksandragaca.eu/> (accessed January 2019)