

# Kierunki rozwoju odzieży inteligentnej

dr inż. GRAŻYNA BARTKOWIAK  
Centralny Instytut Ochrony Pracy  
– Państwowy Instytut Badawczy



W artykule omówiono najbardziej znane grupy tekstyliów inteligentnych, stosowanych w odzieży. Tekstylne wyroby inteligentne można podzielić na dwie grupy: zmieniające swoje właściwości pod wpływem określonych bodźców (m.in. materiały z pamięcią kształtu i materiały przemiany fazowej) oraz elektroprzewodzące i zintegrowane z elektroniką. Tekstylna inteligentna mogą znaleźć zastosowanie w konstrukcji ergonomicznych i aktywnych środków ochrony indywidualnej, a także monitorujących stan fizjologiczny organizmu ich użytkownika.

## Directions in developing intelligent clothing

This paper presents the two most known groups of intelligent textiles which can be used in clothing. They are textiles that can change their properties after a specific stimulus (e.g., shape memory materials and phase change materials) and electroconductive textiles and textiles integrated with electronics. Intelligent textiles can be used in constructing ergonomic and active personal protective equipment, they can also monitor the user's physiological condition.

## Wstęp

Znaczący postęp techniczny, który ma miejsce w ostatnich latach, dotyczy w dużej mierze technologii włókienniczych i ma wpływ na rozwój tekstyliów, w tym również odzieży. Nowa klasa materiałów jest przedmiotem badań wielu naukowców i skupia uwagę użytkowników – są to tzw. tekstylna inteligentna, nazywane również aktywnymi, interaktywnymi i adaptacyjnymi (*smart and intelligent textiles and clothing*). Tekstylne wyroby inteligentne można podzielić na dwie grupy: zmieniające swoje właściwości pod wpływem określonych bodźców oraz elektroprzewodzące i zintegrowane z elektroniką.

Charakterystyczną cechą wyrobów z pierwszej grupy jest to, że odbierają one bodźce bezpośrednio z ciała człowieka i z otoczenia, a następnie reagują na nie znacznymi zmianami fizycznymi, chemicznymi i biologicznymi, często odwracalnymi. Nowe technologie polegają na inkorporacji do tworzywa włóknistego określonych aktywnych materiałów lub modyfikacji powierzchni wyrobów włókienniczych w celu nadania wyrobom tekstylnym zamierzonych właściwości. Aktywne materiały są stymulowane przez: naprężenia, pole elektromagnetyczne, temperaturę, wilgotność, promieniowanie nadfioletowe (UV) lub podczerwone (IR), substancje chemiczne. Tekstylna odpowiada na te bodźce zmianami wymiarów geometrycznych, stanu skupienia, rozkładu naprężeń, współczynnika odbicia światła itp. Zadaniem osób zajmujących się konstrukcją odzieży inteligentnej jest dobór odpowiednich aktywnych materiałów do przewidywanych zastosowań odzieży tak, aby ich aktywność mogła być wykorzystana w konkretnym celu.

Druga grupa tekstyliów inteligentnych to materiały przewodzące przeznaczone do przenoszenia sygnałów elektrycznych w odzieży, oraz tzw. e-tekstylna, w których dochodzi do integracji materiału z mikroelektroniką, dzięki czemu klientom można zaoferować produkty z dodatkowymi funkcjami w zakresie informacji i komunikacji. Dziedzina wiedzy zajmująca się integracją wyrobów włókienniczych z elektroniką nosi nazwę tekstroniki.

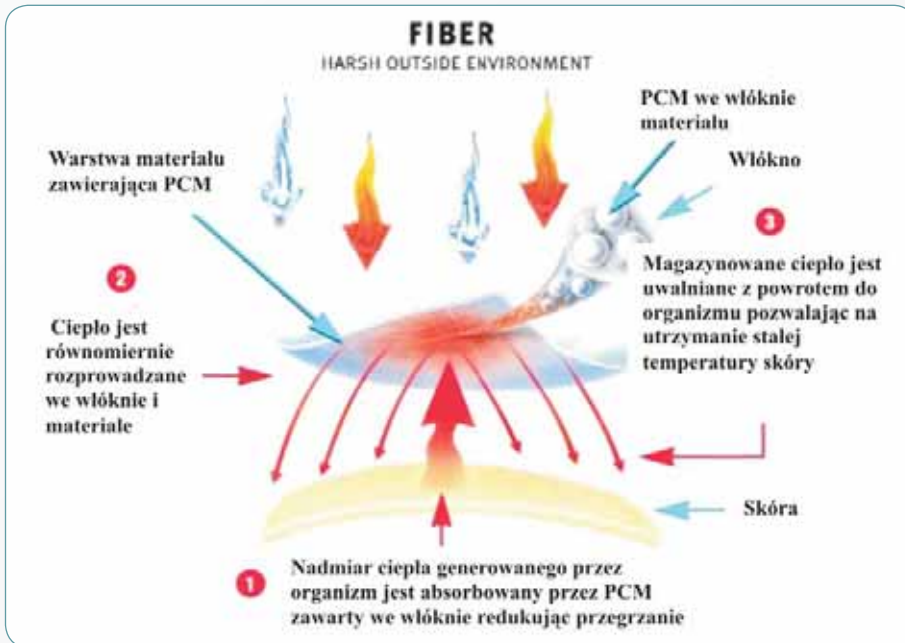
Najważniejsze i najbardziej obiecujące wykorzystanie tekstyliów aktywnych w odzieży stanowi odzież ochronna do stosowania w środowisku wysokiego ryzyka. Są to na przykład produkty ze zintegrowanymi czujnikami monitorującymi stan zdrowia pacjenta i przekazującymi w odpowiednim momencie sygnały ostrzegawcze lub wyroby przeznaczone do stosowania podczas uprawiania sportu; inteligentne materiały lub systemy pomagają zapobiegać zranieniom i wzmacniają poziom ochrony użytkownika. W końcu, to również odzież militarna, w której po raz pierwszy zaprojektowano wiele rozwiązań tekstronicznych.

Najbardziej znaczącą technologią, która znalazła zastosowanie w konstrukcji odzieży inteligentnej jest wykorzystanie materiałów przemiany fazowej (PCM) czyli tzw. materiałów z pamięcią kształtu, materiałów elektroprzewodzących i mikrosystemów elektronicznych.

## Materiały przemiany fazowej (PCM)

Materiały zdolne do zmiany stanu skupienia w określonym przedziale temperatur nazywamy temperaturą przemiany fazowej, znane są jako materiał przemiany fazowej – PCM (*phase change materials*). PCM jest materiałem, który podczas zmiany stanu skupienia (np. ze stałego w ciekły i odwrotnie) absorbuje, magazynuje i uwalnia duże ilości energii w postaci ciepła utajonego. Energia niezbędna do spowodowania przemiany fazowej, np. do złamania wiązań chemicznych decydujących o strukturze ciała stałego, jest absorbowana z otoczenia zewnętrznego podczas procesu ogrzewania [1].

W przyrodzie znanych jest ok. 500 rodzajów materiałów przemiany fazowej, które różnią się między sobą: zakresem temperatur, w jakich zachodzi przemiana fazowa oraz pojemnością cieplną. Materiały przemiany fazowej występują w różnych formach, a najbardziej powszechnym przykładem PCM jest woda, która w temperaturze 0 °C zamienia się w ciało stałe – lód. W celu akumulowania ciepła najczęściej stosowane są materiały przemiany fazowej ciało stałe – ciecz. Przykładami takich materiałów są: węglowodory nasycone, kwasy tłuszczowe i estry, glikole polietylenowe, uwodnione sole nieorganiczne. Technologia inkorporowania PCM do mate-



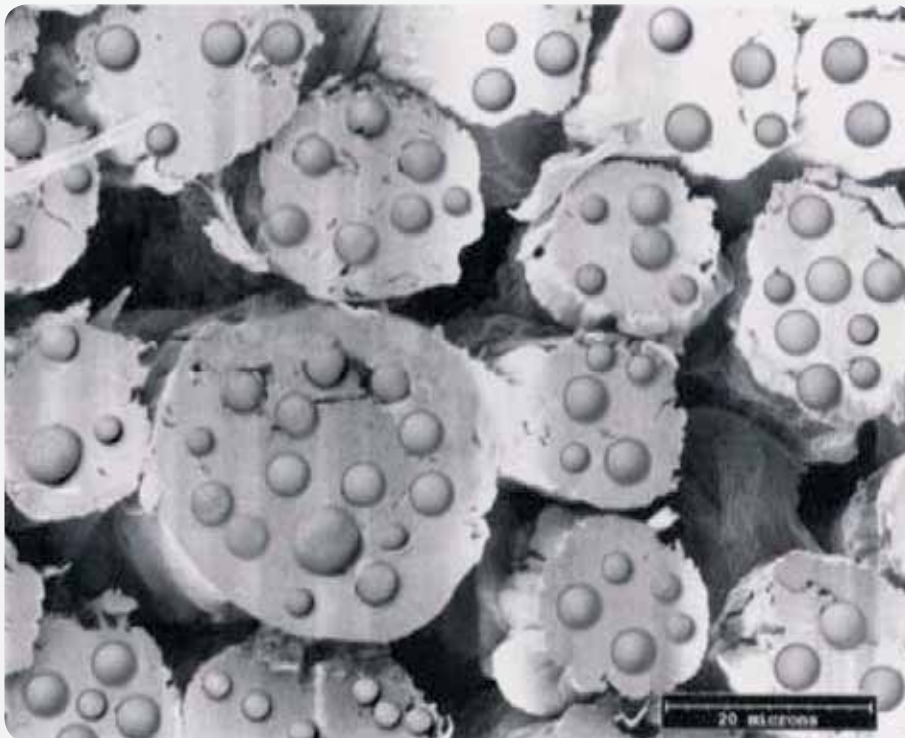
Rys. 1. Zasada działania materiału wykonanego z włókien zawierających materiały przemiany fazowej (PCM) [1]  
 Fig. 1. The action of material with fibers with phase change materials [1]

riatów włókienniczych została zastosowana pierwszy raz w NASA, w kombinezonach dla astronautów, w celu poprawienia ochrony przed wahaniami temperatur.

Wybór i zastosowanie PCM w tekstyliach determinują takie cechy jak: temperatura topnienia pomiędzy 15 a 30 °C, wysoka pojemność cieplna, niewielka różnica pomiędzy temperaturą topnienia i krystalizacji, stabilność

termiczna, brak toksyczności, niska higroskopijność (podatność niektórych substancji na wchłanianie wilgoci), wysoka przewodność cieplna, aby umożliwić efektywny transfer ciepła oraz niepalność i niska cena.

Schematyczne działanie termoregulacyjne PCM, wynikające z absorpcji lub emisji ciepła w zależności od zmiany temperatury podłoża, przedstawiono na rys. 1.



Rys. 2. Przekrój włókien z PCM [2]  
 Fig. 2. Cross-section of fibers with PCM [2]

### Inkorporacja materiałów przemiany fazowej do wyrobów włókienniczych

Wybrany rodzaj PCM w postaci mikrokapsułek może być inkorporowany do wyrobu włókienniczego na różne sposoby. Obecnie produkuje się już włókna zawierające mikrokapsułki PCM, które są całkowicie otoczone przez polimer i trwale zamknięte we włóknie. Najbardziej znane jest włókno poliakrylonitrylowe o handlowej nazwie *Outlast*, o pojemności cieplnej od 4,2-8,4 J/g [2]. Najnowsze doniesienie dotyczy włókien wiskozowych z udziałem mikrokapsułek PCM, których pojemność cieplna wynosi 60 J/g. Przekrój włókien z PCM przedstawia rys. 2.

Inne techniki inkorporacji PCM do materiałów włókienniczych to napawanie (pokrywanie przedmiotów metalowych warstwą metalu techniką spawania przy jednoczesnym topieniu podłoża), drukowanie, powlekanie lub natryskiwanie dyszowe.

Na konferencji poświęconej innowacjom w przemyśle włókien chemicznych, która odbyła się w Dornbirn w 2009 r. przedstawiono nowy rodzaj produktu i technologii opartej na PCM [3]. Jako PCM zastosowano produkty oparte na olejach roślinnych zamkniętych w mikrokapsułkach reaktywnych wobec włókien celulozowych, syntetycznych i proteinowych. Ten rodzaj PCM jest nanoszony na wyroby włókiennicze podczas konwencjonalnych procesów włókienniczych, ich aplikacja nie wymaga zastosowania środka wiążącego. Opatentowany produkt nosi nazwę *Thermic* i charakteryzuje się wysoką pojemnością cieplną oraz trwałością podczas użytkowania i prania.

PCM mogą też być wprowadzane do wyrobów odzieżowych w postaci makrokapsułek – w specjalnych pakunkach przytwierdzanych do odzieży lub będących jej częścią. W ten sposób wykorzystuje się m.in. nieorganiczne sole, np. sól glauberską.

### Zastosowanie materiałów przemiany fazowej w wyrobach odzieżowych oraz innych wyrobach tekstylnych

PCM stosowane w rękawicach, odzieży wierzchniej oraz bieliznie dla narciarzy i snowboardzistów, jak również w koszulkach dla kolarzy i innych grup sportowców mają spełniać rolę termoregulacyjną. Ilość PCM w tych wyrobach jest jednak zbyt mała, aby zapewnić efekt termoregulacyjny przez dłuższy czas.

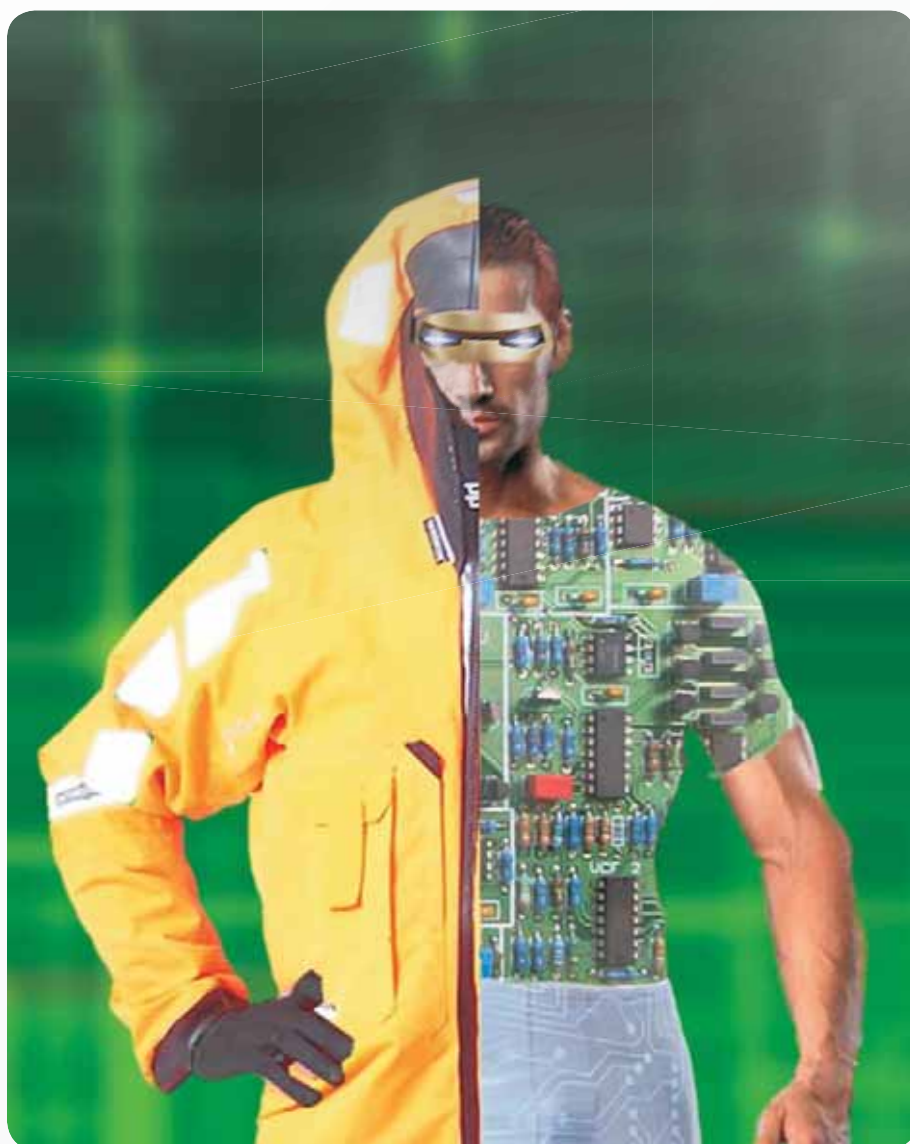
Na świecie podejmowane są obecnie próby zastosowania PCM w materiałach biomedycznych. Duży potencjał mają PCM w tekstyliach używanych w ochronie zdrowia, zarówno w fartuchach dla chirurgów, jak i w odzieży, pościeli, materiałach opatrunkowych; stosowanych w celu utrzymywania pacjenta w temperaturze komfortowej oraz podczas terapii podgrzewania bądź miejscowego schładzania części ciała.



W wielu ośrodkach badawczych podejmowane są próby opracowania nowych wyrobów z udziałem PCM lub nowego zakresu ich zastosowań. Z uwagi na fakt, że używanie odzieży ochronnej wiąże się z dyskomfortem oraz powoduje obciążenie cieplne użytkownika, podejmowano próby zastosowania PCM w strukturach odzieży ochronnej, w celu ochłodzenia organizmu jej użytkownika. Badania w tym zakresie prowadzono w Textile Testing & Innovation w USA. Dotyczyły one poprawy komfortu odzieży chroniącej przed chemikaliami na skutek dodania PCM, które zostały bezpośrednio inkorporowane do powleczenia polimerowego, następnie z laminowanego z włókniną. Badania nowego rodzaju odzieży przeprowadzono na użytkownikach podczas wysiłku fizycznego, porównując ją z odzieżą ochronną bez udziału PCM. Temperatura skóry oraz wilgotność mikroklimatu pododzieżowego kształtowała się na niższym poziomie podczas badań odzieży z dodatkiem mikrokapsułek PCM niż bez nich – uzyskano wyższy komfort fizjologiczny, a czas pracy w odzieży ochronnej mógł być bezpiecznie wydłużony [4].

Badania w zakresie PCM dotyczą również bielizny przeznaczonej do noszenia pod odzieżą ochronną [5]. Wytypowane mikrokapsułki PCM zostały trwale związane w polimerowej błonie, którą następnie umieszczono pomiędzy dwiema warstwami materiału. Według badaczy bielizna z tego materiału jest lekka, pokrywa całe ciało i przeznaczona jest do wielokrotnego stosowania i konserwacji. Badania kamizelek z udziałem PCM, w których potwierdzono ich pozytywny efekt w kształtowaniu korzystnego mikroklimatu pod odzieżą dla chirurgów, prowadzono w SINTEF (Health Research, Materials and Chemistry) w Norwegii [6].

Obecnie badania nad zastosowaniem materiałów przemiany fazowej do termoregulacji mikroklimatu pod szczelną odzieżą ochronną prowadzone są również w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym. Opracowane zostały dwa rodzaje wyrobów odzieżowych z PCM do stosowania pod odzieżą ochronną: kamizelki i bielizna z włóknami wiskozowymi zawierającymi mikrokapsułki PCM oraz kamizelki z udziałem makrokapsułek PCM, umieszczonych w specjalnych kanałach odpowiednio przygotowanej dzianiny. Symulacje odbierania nadmiaru ciepła za pomocą opracowanego modelu numerycznego wykazały, że dzięki zastosowaniu wyrobów z PCM można obniżyć temperaturę skóry i temperaturę wewnętrzną podczas pracy w szczelnej odzieży ochronnej, stosowanej do ochrony przed czynnikami chemicznymi. Dzięki temu można będzie wydłużyć bezpieczny czas pracy w tej odzieży [7]. Tego rodzaju produkty mogą być szczególnie przydatne w pracy tych grup zawodowych, które często ekspozowane są na wysokie temperatury lub



Fot.: Jarosław Dąbkiewicz

wysoką wilgotność powietrza, czyli np. dla Strażaków lub Górników.

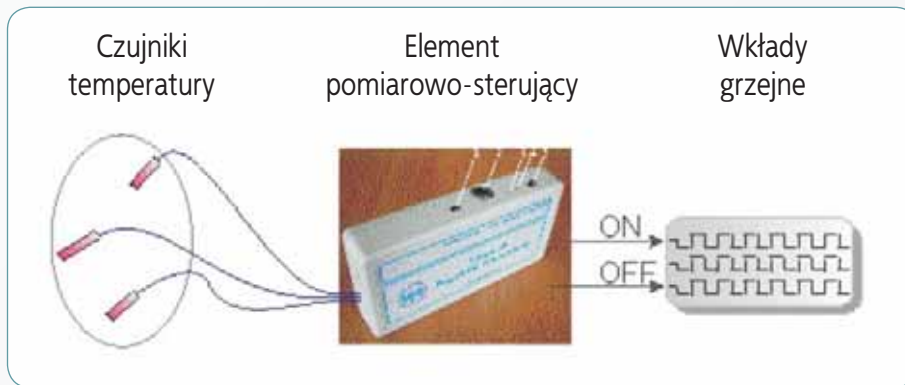
### Materiały z pamięcią kształtu (SMM)

Materiały z pamięcią kształtu (SMM – *shape memory materials*) pod działaniem określonego bodźca powracają z obecnego kształtu do kształtu pierwotnego, tj. tego, który został „zapamiętany”. Należy zaznaczyć, że w określonym zakresie temperatur charakteryzują się one wysoką elastycznością, natomiast efekt pamięci kształtu jest obserwowany przeważnie w stopach metali (SMA – *shape memory alloys*) i polimerach (SMP – *shape memory polymers*).

Efekt pamięci kształtu i wysokoelastyczne zachowanie materiałów z pamięcią kształtu są wykorzystywane w konstrukcji odzieży inteligentnej, m.in. o zmieniającej się izolacyjności cieplnej, dostosowującej się do warunków otoczenia oraz w tekstyliach służących do amortyzacji uderzeń.

Izolacyjność cieplna odzieży wzrasta wprost proporcjonalnie do zawartości powietrza w jej strukturze: dzieje się tak, ponieważ przewodność termiczna powietrza jest kilkakrotnie mniejsza od przewodności cieplnej włókien. Inkorporacja do odzieży materiałów z pamięcią kształtu w postaci drutów lub folii pozwala na regulowanie szczeliny powietrznej i dostosowywanie poziomu izolacyjności cieplnej do warunków otoczenia.

Stopy z pamięcią kształtu SMA są unikatową klasą stopów metali, które mogą zmieniać kształt przy podgrzaniu powyżej pewnej temperatury. Próbowano zastosować je w odzieży chroniącej przed wysoką temperaturą, płomieniem, promieniowaniem cieplnym, jak również w ubraniach chroniących przed zimnem. Pomiędzy warstwami odzieży zainstalowano sprężyny z drutu NiTi, skonstruowane tak, że pozostają płaskie w temperaturze pokojowej, a rozprężają się stopniowo i przyjmują kształt stożkowy w temperaturze 45-55 °C [8]. Takie rozwiązanie zastosowano w odzieży ochronnej



Rys. 3. System sterowania aktywną odzieżą ciepłochronną  
Fig. 3. Control system for active clothing protecting against the cold

dla strażaków i podczas badań na manekinie termicznym stwierdzono, że po działaniu strumienia wysokiego promieniowania ciepłego, rozszerzenie sprężyn spowodowało wzrost izolacyjności cieplnej układu odzieżowego, nie dopuszczając w ten sposób do powstania poparzeń.

Drut SMA ze stopu, który aktywuje się w temperaturze poniżej 5 °C, wprowadzono pomiędzy dwie warstwy włókniny w odzieży chroniącej przed zimnem [8]. Osiągnięto tu efekt aktywności materiałów, które przy niskiej temperaturze zwiększają swoją objętość, co umożliwia konstrukcję odzieży o mniejszej grubości, bardziej ergonomicznej, która będzie dostosowywała swoją izolacyjność cieplną do środowiska zewnętrznego.

Podobnie jak SMA, również polimery z pamięcią kształtu (SMP) znajdują zastosowanie w strukturach odzieży inteligentnej. Produkowane są paski bipolimeryczne składające się z warstwy folii poliuretanowej z efektem pamięci kształtu (SMP) o temperaturze zeszklenia 25 °C i warstwy podłoża wykonanego z termoplastycznego elastomeru poliuretanowego o niższej temperaturze zeszklenia [8]. Po osiągnięciu temperatury poniżej 25 °C warstwa SMP kurczy się i staje się sztywna, zaś warstwa podłoża zachowuje niezmienną właściwość. W wyniku takiej reakcji następuje poszerzenie szczeliny powietrznej pomiędzy warstwami odzieży, a więc zwiększenie jej izolacyjności.

Poliuretany z pamięcią kształtu o temperaturze zeszklenia większej od 55 °C mogą być wykorzystane w odzieży ochronnej, a także w innych środkach ochrony indywidualnej, stosowanych m.in. w przemyśle chemicznym, metalurgicznym, spożywczym. Znalazły również zastosowanie w inteligentnych membranach wodoszczelnych i paroprzepuszczalnych, które obecnie są powszechnie wykorzystywane przez przemysł odzieżowy do laminowania tkanin i dzianin oraz jako warstwy wodoszczelne w ubraniach chroniących przed złą pogodą. Wraz ze wzrostem temperatury, po przekroczeniu temperatury aktywacji nastę-

puje rozszerzenie porów membrany i wzrost przepuszczalności pary wodnej. Jest to bardzo korzystne z punktu widzenia termoregulacji organizmu użytkownika odzieży, gdyż większa ilość potu może odparować i być odprowadzona na zewnątrz.

### Tekstylia elektroprzewodzące

Tekstylia elektroprzewodzące otrzymywane są poprzez inkorporację włókien elektroprzewodzących do tkanin lub dzianin lub poprzez elektroprzewodzące powłoczenia. Najczęściej stosowane są włókna węglowe, srebrne, stalowe, miedziane. Tekstylia elektroprzewodzące znajdują zastosowanie w odzieży o właściwościach antyelektrostatycznych, odzieży oraz ekranach chroniących przed polami elektromagnetycznymi, w tekstyliach grzejnych. Są też stosowane do przenoszenia sygnałów elektrycznych w wyrobach zintegrowanych z elektroniką.

Na wielu stanowiskach pracy w mikroklimacie zimnym, gdy wraz ze zmianami aktywności pracownika zmienia się ilość wydzielanego ciepła i zapotrzebowanie na określoną ochronę przed zimnem, stosowanie odzieży jako osłony biernej nie zapewnia pracownikowi komfortu cieplnego. Odpowiednią ochronę i komfort można uzyskać tylko poprzez osłonę aktywną, zmieniającą swoją izolacyjność wraz ze zmianami klimatycznymi środowiska zewnętrznego i poziomem ciepła wydzielanego przez użytkownika. Do tych celów wykorzystywane są tkaniny ogrzewające, wykonane z włókien elektroprzewodzących. Odzież wyposażona w zintegrowane systemy grzewcze zapewnia precyzyjną regulację temperatury.

W ostatnich latach w CIOP-PIB opracowano model odzieży ochronnej przeznaczonej do prac w środowisku zimnym, która aktywnie reaguje na zmiany temperatury oraz zmienia swoją izolacyjność cieplną w taki sposób, aby zapewnić użytkownikowi stan bliski komfortowi cieplnemu [9]. Elementami aktywnymi montowanymi w odzieży jest 6 wkładów

grzejnych, wykonanych z przędzy z włókien stalowych. Sterowanie wkładami grzejnymi odbywa się za pomocą układu pomiarowo-sterującego, zbierającego dane z mikroczujników temperatury umieszczonych w dwóch punktach w mikroklimacie pod odzieżą oraz na zewnątrz odzieży. Mikrokontroler według określonego algorytmu podejmuje decyzję i powoduje włączenie lub wyłączenie napięcia zasilającego wkłady grzejne. Wkłady grzejne i układ pomiarowo-sterujący stanowi niezależny system, który można zainstalować w odzieży. Aktywna odzież ciepłochronna została oceniona pozytywnie podczas badań na użytkownikach w chłodni w temperaturze -24 °C. Na rys. 3. przedstawiono układ sterowania w odzieży aktywnej chroniącej przed zimnem.

Jako elementy ogrzewające w odzieży przeznaczonej do uprawiania sportów ekstremalnych, a także w odzieży ochronnej np. dla nurków, w rękawicach stosowanych w ekstremalnych warunkach klimatycznych znajdują zastosowanie tkaniny elektroprzewodzące, niepalne.

### Integracja mikrosystemów elektronicznych z tekstyliami

Integracja mikrosystemów elektronicznych z tekstyliami umożliwia wytwarzanie wyrobów, które mogą znaleźć zastosowanie w ochronie zdrowia i medycynie, bezpieczeństwie i ratownictwie, logistyce przemysłowej oraz w sporcie. Odzież z zamontowaną elektroniką monitorującą i rejestrującą akcję serca, liczbę oddechów, temperaturę skóry projektowana jest dla sportowców. Konstruowana jest także odzież z wbudowanym systemem GPS oraz kompasem elektronicznym i wysokościomierzem. Na targach Techtextil we Frankfurcie w 2007 r. prezentowano marynarkę z interfejsem telefonu komórkowego zamontowanym w klapie i monitorem PDA (*Personal Digital Assistant*) w rękawie [10].

Kluczowe znaczenie dla integracji mikroelektroniki z tekstyliami miało opracowanie technologii umożliwiających funkcjonowanie tkanin jako elektronicznych interfejsów. Oznacza to, że w miejsce twardych klawiatur i przełączników mogą być użyte miękkie tkaniny. Tkaninowe interfejsy mogą być implementowane do odzieży wraz z przenośnym sprzętem elektronicznym. Jako przykład takich opracowań można podać tkaninę o nazwie Detect wykonaną z włókien konwencjonalnych i węglowych, która jest wykorzystywana do wytwarzania np. klawiatury Querty.

Rozwój inteligentnych tekstyliów w dużej mierze uzależniony jest od postępu prac nad wytwarzaniem tkanin, które umożliwiają transfer danych. E-tekstyli znajdują zastosowanie w medycynie do monitorowania funkcji





Fot. Gary Cowles/Stock.XCHNG

zyciowych pacjentów, np. niemowląt, osób obłożnie chorych. Przykładem zastosowania elektronicznych tekstyliów w medycynie jest Lifeshirt – podkoszulek z sensorami umożliwiającymi ciągle monitorowanie pulsu, oddechu, temperatury pacjenta podczas snu oraz wykonywanie codziennych czynności.

Istotną kwestią związaną z umieszczaniem mikrosystemów elektronicznych w odzieży jest zasilanie energią. Najczęściej używa się obecnie baterii litowych, prowadzone są prace nad źródłami energii alternatywnej. Opracowano materiał z przewodzących polimerów posiadających zdolność przetwarzania światła widzialnego w energię elektryczną. Innym sposobem jest wykorzystanie energii podczas chodzenia: do wytwarzania prądu służyłyby umieszczone w żelówkach butów urządzenia piezoelektryczne. Zaproponowano również koncepcję budowy zminiaturyzowanego termogeneratora krzemowego wykorzystującego różnicę temperatury pomiędzy ludzką skórą a temperaturą otoczenia, w celu generowania energii elektrycznej zasilającej elementy elektroniczne występujące w odzieży [11].

Elektronika znajduje praktyczne zastosowanie w odzieży ochronnej, szczególnie użytkowanej w warunkach ekstremalnych. Opracowano odzież przeznaczoną dla służb ratowniczych, np. jednostek strażackich, z zaimplementowanymi mikroukładami elektronicznymi umożliwiającymi monitorowanie parametrów fizjologicznych użytkownika odzieży oraz poziomu zagrożeń [12]. Zadaniem tej odzieży jest kontrola stanu fizjologicznego strażaka, z uwzględnieniem warunków otoczenia i stopnia wysiłku podczas pracy (wydatku energetycznego i wynikającego z niego obciążenia organizmu).

## Podsumowanie

Dążenie do zapewnienia ludziom komfortowych warunków życia i pracy, a także coraz większa dbałość o zdrowie i jakość życia sprzyja rozwojowi odzieży oraz tekstyliów inteligentnych. Oprócz podstawowych funkcji, jakie spełnia odzież, nowe inteligentne wyroby wspomagają funkcje fizjologiczne organizmu, monitorują jego stan, ostrzegają o niebezpieczeństwie wewnętrznym i zewnętrznym. Nowoczesne tekstylia mogą spełniać te zadania dzięki zaawansowanym technologiom, które znajdują zastosowanie w wytwarzaniu materiałów włókienniczych i odzieży. Produkcja odzieży inteligentnej to także szansa dla polskiego przemysłu włókienniczego oraz wzrost jego konkurencyjności na rynku europejskim.

Jak wykazano w artykule, właściwości materiałów i odzieży inteligentnej wskazują na możliwości ich szerokiego wykorzystania w ochronie człowieka wykonującego pracę szczególnie w warunkach niebezpiecznych i uciążliwych. Zwiększenie bezpieczeństwa mogą zapewnić czujniki wbudowane w odzież i inne środki ochrony indywidualnej, umożliwiając monitorowanie zagrożenia w konkretnym miejscu pracy człowieka, co jest szczególnie ważne przy pracach w warunkach niebezpiecznych, w miejscach trudno dostępnych, które dodatkowo wymagają mobilności pracownika. Istotne jest wtedy monitorowanie zarówno zagrożenia, jak i stanu fizjologicznego organizmu. Prowadzone są prace badawcze nad rodzajem czujników, które umożliwiają monitorowanie zużycia odzieży i innych środków ochrony indywidualnej i sygnalizowanie niewidocznego często momentu, gdy środek ochrony indywidualnej przestaje chronić pra-

cownika. W środkach ochrony indywidualnej mogą znaleźć również zastosowanie materiały z pamięcią kształtu. Umożliwią one stworzenie lekkich i ergonomicznych konstrukcji, które będą się uaktywniać i tworzyć barierę dopiero przy poziomie czynnika niebezpiecznego stwarzającego zagrożenie dla pracownika. Naukowcy pracują już nad ochronami, które stworzą poduszkę lub parasol ochronny nad pracownikiem w momencie wypadku lub katastrofy.

Podane przykłady wskazują na szerokie możliwości wykorzystania włókienniczych materiałów inteligentnych w konstrukcji odzieży i innych środków ochrony indywidualnej. Sukces zapewnić może interdyscyplinarność badań i wykorzystywanie osiągnięć i wynalazków różnych dziedzin nauki do konstruowania odzieży inteligentnej.

## PIŚMIENNICTWO

- [1] Adoptive comfort [2008-05-15] [http://www.fabrilink.com/Features/Assets/KA\\_Outlastfall02.pdf](http://www.fabrilink.com/Features/Assets/KA_Outlastfall02.pdf)
- [2] Cox R. (1998) *Synopsis of the new thermal regulating fiberOutlast*. Chemical Fibres International, Nr 6
- [3] J. P. Vandendaele *Thermic™: Thermal Intelligent Comfort. A New Durable PCM Concept for fabrics*. Proceedings of 48th International Man-Made Fibres Congress, Dornbirn, Austria 2009
- [4] B. Pause *Chemical protective garments with thermo-regulating properties*. Proceedings of 2<sup>nd</sup> ECPC, Szwajcaria 2003
- [5] B. Pause *New cooling undergarment for protective garment system*. 3<sup>rd</sup> European Conference on Protective Clothing (ECPC) and NOKOBETEF 8, Conference, Gdynia 2006
- [6] R. E. Reinertsen i in. *Optimizing the Performance of Phase-Change Materials in Personal Protective Clothing Systems*. "Jose", Vol. 14, nr 1/2008
- [7] G. Bartkowiak i in. *Modelowanie lokalnego transferu ciepła w pakietach tekstylnych z wykorzystaniem materiałów przemiany fazowej program wieloletni*. Zadanie 3.R.03, Warszawa, CIOP 2008 (materiał niepublikowany)
- [8] W. Bendkowska *Tekstylia inteligentne – przegląd zastosowań. Część I: Tekstylia regulujące mikroklimat odzieży*. „Przegląd Włókienniczy” 8/2002, s. 9-13
- [9] A. Kurczewska, J. Leśnikowski *Variable-Thermoinsulation Garments With a Microprocessor Temperature Controller*. "JOSE", Vol. 14, nr 1/2008
- [10] W. Sybiliska, I. Frydrych *Perspektywy i kierunki rozwoju odzieży inteligentnej*. „Przegląd Włókienniczy – Włókno, Odzież, Skóra”. 2/2007, s. 50-53
- [11] W. Bendkowska *Tekstylia inteligentne – Przegląd zastosowań. Część II: Tekstylia elektroprzewodzące i tekstylia zintegrowane z mikrosystemami elektronicznymi*. „Przegląd Włókienniczy” 9/2002, s. 16-19
- [12] G. Owczarek, K. Łęzak, G. Gralewicz *Koncepcja monitorowania wybranych parametrów fizjologicznych podczas pracy w odzieży strażackiej*. „Bezpieczeństwo Pracy” 9(432)2007, s. 8-1

*Publikacja przygotowana na podstawie wyników uzyskanych w ramach I etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” dofinansowywanego w latach 2008-2010 w zakresie zadań służb państwowych przez Ministerstwo Pracy i Polityki Społecznej. Główny koordynator: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.*