

Trendy rozwojowe w tekstronice-Rozwiązania tekstroniczne dla ochrony zdrowia

Streszczenie. W prezentowanej pracy przedstawiono trendy rozwojowe związane z zastosowaniem tektroniki w takich aspektach życia jak sport i medycyna. Artykuł ukazuje rozwój tektroniki zarówno w Polsce jak i innych krajach Unii Europejskiej. Omówione zostały główne kierunki, które wymagają jeszcze prac, aby tektronika mogła stanowić integralną część ubiorów, bez zaburzania komfortu użytkownika przy poprawnym jej działaniu.

Abstract. This paper presents some aspects of development of textronics for sports and medical applications, especially on Polish and European market. The areas, where more engagements are needed before their incorporation to the clothing are discussed. Main research areas which still need extended investigation in order to successfully integrate the textronic solutions with user friendly and comfortable clothing systems are discussed. **Some aspects of development of textronics for sports and medical applications**

Słowa kluczowe: tektronika, e-tekstyli, wyroby inteligentne, czujniki.
Keywords: textronics, E-textiles, intelligent products, sensors.

doi:10.12915/pe.2014.04.08

Wstęp

Tektronika jest dziedziną wiedzy, która powstała na bazie takich obszarów nauki jak elektronika, włókiennictwo i informatyka, z wykorzystaniem wiedzy z obszaru automatyki i metrologii [1]. Wyroby tekstroniczne są to tzw. tekstyilia inteligentne, nazywane również aktywnymi, interaktywnymi i adaptacyjnymi (smart and intelligent textiles and clothing).

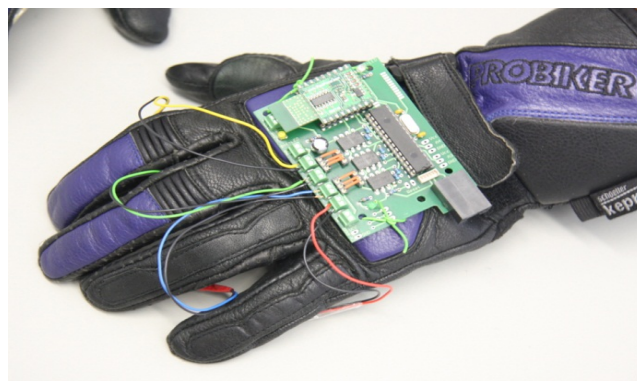
Wytwarzanie tekstyliów inteligentnych polega na inkorporacji do tworzywa włóknistego określonych, aktywnych materiałów lub modyfikacji powierzchni wyrobów włókienniczych w celu nadania wyrobom tekstylnym zamierzonych właściwości. Stymulacja aktywnych materiałów może być prowadzona przez: naprężenia, temperaturę, wilgoć, promieniowanie nadfioletowe (UV) lub substancje chemiczne. Inteligentne tekstyilia odpowiadają na te bodźce zmianami różnych parametrów, takich jak np.: wymiar, stan skupienia, zmiana oporności czy zmiana rozkładu naprężeń [1-7].

Obecnie prace badawcze koncentrują się na wprowadzaniu obwodów elektrycznych, elementów piezoelektrycznych i elektroprzewodzących w struktury włókniste tak, aby otrzymane wyroby nie odróżniały się wizualnie od obecnie stosowanych produktów pozbawionych właściwości tekstronicznych [2,3,8]. Stały postęp w miniaturyzacji mikroelektroniki oraz rozwój nowych technologii umożliwi integrację elementów funkcjonalnych w ubiorze, pozwalającą na całkowicie nowe zastosowania. Wizja noszenia odzieży inteligentnej opisuje przyszłe systemy elektroniczne, jako integralną część ubrań codziennych [9]. Tekstroniczne elementy odzieży mogą być wykorzystane do monitorowania funkcji życiowych, takich jak: akcja serca, częstość oddechu czy puls, bez ograniczania komfortu użytkownika i wydajności organizmu. Do monitorowania procesów fizjologicznych organizmu bardzo ważne jest precyzyjne rozmieszczenie czujników wspomagane przez wykorzystanie technik personalizacji konstrukcji odzieży. Elementy tekstroniczne mogą być wykorzystywane do tworzenia sieci bezprzewodowych i poręcznych systemów monitorowania sygnałów fizjologicznych w codziennych czynnościach życiowych [10]. Jednym z ważnych parametrów fizjologicznych człowieka, które mogą być monitorowane [10,11], jest częstość oddechu, czyli pneumografia. Pomiar ten odbywa się poprzez rejestrowanie oddechu za pomocą kontroli odkształceń klatki piersiowej, czyli poprzez pomiar sygnałów mechanicznych [12]. Odkształcenia klatki

piersiowej generują sygnały niskiej częstotliwości, które są mierzone za pomocą tensometrów [10] oraz czujników piezoelektrycznych [12-14]. Jednak do prawidłowego pomiaru parametrów fizjologicznych niezbędna jest przede wszystkim odpowiednia konstrukcja ubioru tak, aby był on dopasowany do ciała wywierając nacisk o odpowiedniej sile [14].

Tektronika wykorzystywana jest nie tylko do odzieży inteligentnej, ale również np. w tapicerkach samochodowych, wyposażonych w czujniki umożliwiające identyfikację kierowcy. Jako przykład takich opracowań można podać tkaninę o nazwie Detect, wykonaną z włókien konwencjonalnych i węglowych. Uszyte z tej tkaniny obicia foteli poinformują samochodowy układ sterowniczy, ile osób siedzi w aucie. Dzięki temu komputer pokładowy dostosuje zawieszenie do obciążenia [15]. Ten sam układ materiałowy jest wykorzystywany do tworzenia miękkich klawiatur Qwerty.

Innym przykładem tekstronicznych rozwiązań jest Vibrotactile Feedback (rys. 1.) - rękawica z wbudowanym systemem sygnałów wibracyjnych, pozwalająca poprzez odpowiednie bodźce wibracyjne i różne wzorce drgań przekazywać motocykliście trasę, bez konieczności spoglądania na monitor nawigacji [16].



Rys. 1. Prototyp rękawicy z systemem nawigacyjnym [16]

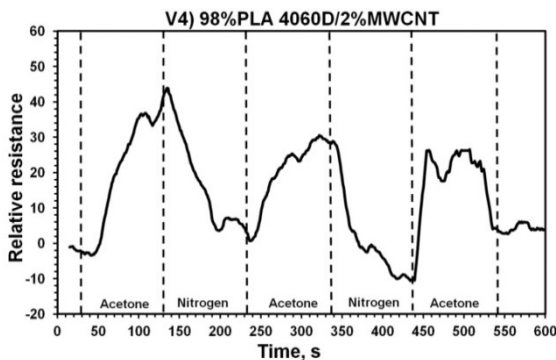
Rozwiązania tekstroniczne w odniesieniu do odzieży ochronnej oraz zastosowań specjalnych

Zespół ukraińskich wynalazców opracował rękawicę pozwalającą na konwersję języka migowego w język mówiony. EnableTalk (rys. 2.) jest wyposażona w skomplikowaną sieć czujników, które rozpoznają ruchy rąk i przekształcają je w słowa mówione przy użyciu telefonu komórkowego [17].



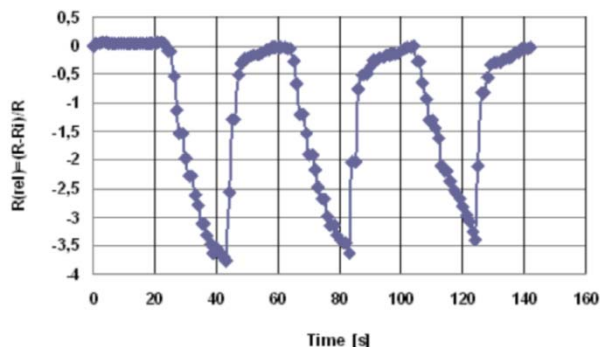
Rys. 2. Prototyp rękawic, które przekształcają język migowy w mówiony [17]

Zespół naukowców z Politechniki Łódzkiej opracował biodegradowalne włókny melt-blown (tzn. włókny wytworzonej metodą z rozdmuchu polimeru), reagujące na opary substancji toksycznych. Włókny te wytworzone są z 98% polilaktydu (PLA) i 2% nanorurek węglowych (MWCNT). Charakteryzują się one oporem elektrycznym na poziomie $10^6 \Omega$. Włókny melt-blown często używane są jako materiał filtracyjny do ochrony dróg oddechowych przed toksycznymi cząsteczkami. Dlatego rozwiązanie opracowane w PŁ z powodzeniem może być stosowane, jako czujniki do monitorowania stężenia toksycznych oparów rozpuszczalników (rys. 3.) we wdychanym powietrzu [18].



Rys. 3. Przebieg zmian rezystancji elektrycznej włókny PLA/MWCNT na opary acetonu o stężeniu 200 ppm [18]

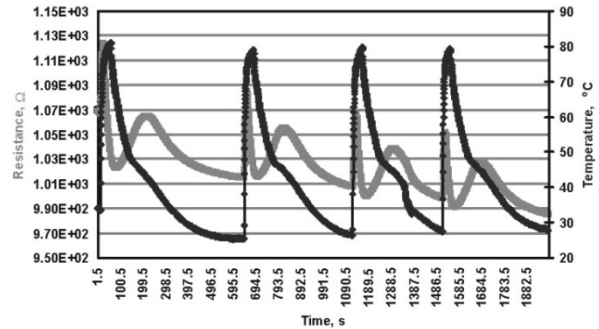
W tym samym zespole badawczym wytworzono również włókny z politlenku etylenu (PEO) z 3% dodatkiem nanorurek węglowych metodą elektroprzędzenia. Reagują one na bodziec chemiczny w postaci oparów o stężeniu 100 ppm rozpuszczalników (rys. 4.) [19].



Rys. 4. Rejestracja odpowiedzi włókninowego czujnika PEO/MWCNT na opary toluenu o stężeniu 100 ppm [19]

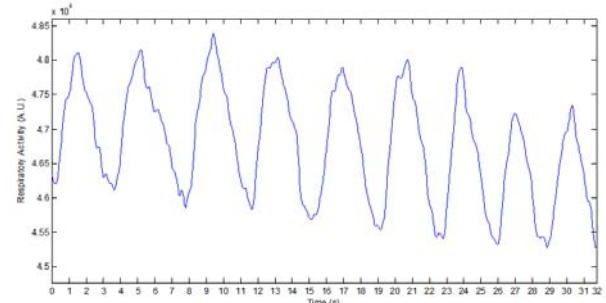
Potencjalnym zastosowaniem wytworzonych czujników włóknistych jest sensor wykrywający niebezpieczne stężenia substancji chemicznych w odzieży ochronnej [19].

Ten sam zespół badawczy opracował prototypowe włókny melt-blown reagujące na bodziec termiczny, bazujące na kompozycji polimerowej polikaprolaktanu (PCL), polipropylenu (PP) i nanorurek węglowych (MWCNT). Przeprowadzono cykliczne badania procesu ogrzewania i chłodzenia badanych czujników w zakresie temperatur od 25°C do 80°C (rys. 5.). Przeprowadzone badania potwierdzają możliwość wykorzystania wytworzonej włókny przewodzącej do produkcji wrażliwych na temperaturę materiałów sensorycznych [20].



Rys. 5. Rejestracja zmian rezystancji elektrycznej włókny melt-blown PCL/PP/MWCNT pod wpływem bodźca termicznego [20]

Jako przykład prac badawczych wymienić można realizację projektu badawczego - „E-Tekstylii ochronne - systemy zbudowane z mikro i nanostruktur włókienniczych do zastosowań w warunkach katastrof”, o akronimie PROETEX [21]. W ramach projektu opracowano bezpieczny ubiór strażacki, wyposażony w sieć funkcjonalnych czujników, monitorujących stan fizjologiczny strażaka. Wytworzona koszulka wyposażona jest w czujniki do pomiaru tętna, częstotliwości oddechu (rys. 6.) oraz temperatury ciała [22, 24].

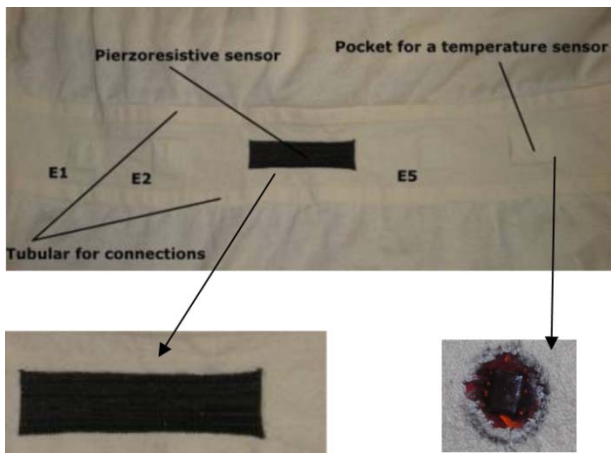


Rys. 6. Przykład rejestracji częstotliwości oddechu w funkcji czasu [22]

Częstotliwość oddechowa mierzona jest za pomocą piezorezystancyjnego czujnika tekstylnego złożonego z 5 sensorów umiejscowionych wraz z czujnikiem temperatury w pasie na wysokości klatki piersiowej (rys. 7.) [22].

Celem wytworzonych koszulek jest poprawa bezpieczeństwa i efektywności pracy ratowników dzięki monitoringowi ich zdrowia, aktywności i umiejscowienia w trakcie ryzykownych akcji [22, 24].

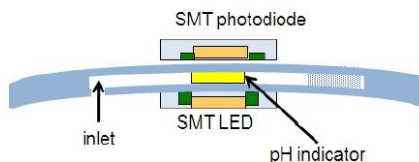
Przedstawiona integracja mikrosystemów elektronicznych z tekstyliami umożliwia wytworzenie wyrobów, które mogą znaleźć zastosowanie w ochronie zdrowia i medycynie, bezpieczeństwie i ratownictwie, logistyce przemysłowej oraz w sporcie. Odzież z zamontowaną elektroniką monitorującą i rejestrującą akcje serca, liczbę oddechów, temperaturę skóry projektowana jest dla sportowców. Konstruowana jest także odzież z wbudowanym systemem GPS oraz kompasem elektronicznym i wysokościomierzem.



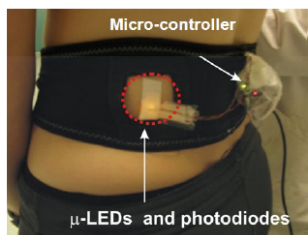
Rys. 7. Piezorezystywny czujnik do pomiaru częstotliwości oddechowej i czujnik temperatury [22]

Dalszym postępowaniem w zakresie rozwiązań tekstylnych jest propozycja Naukowców z Uniwersytetu w Dublinie, którzy opracowali koszulkę do monitorowania takich parametrów jak wydzielanie płynów fizjologicznych (np. potu) (rys. 8.) [23].

(a)



(b)



Rys. 8. a) Fotodiody i diody LED są umieszczone poniżej i powyżej badanego regionu pH, b) Czujnik umieszczony na dolnej części pleców podczas próby wysiłkowej [23]

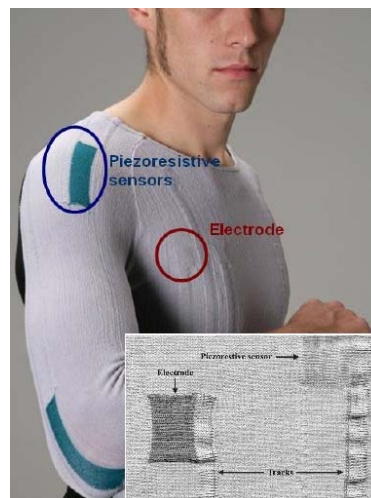
Koszulki tekstylnie do zastosowań medycznych

W ramach realizacji projektu Wearable Health Care System [26] wytworzono pierwsze prototypy ubiorów do monitorowania czynności życiowych. Sensory wytworzone zostały z włókien elektroprowadzących i piezorezystywnych [24,25]. System opracowany w ramach realizacji projektu miał na celu integrację technik komputerowych, inteligentnych czujników, urządzeń przenośnych i telekomunikacyjnych, w wyrobach tekstylnych (rys. 9.).

Proponowany system miał na celu wspomaganie pacjentów w trakcie rehabilitacji lub osoby pracujące w ekstremalnych warunkach środowiskowych, zapewniając ciągłe monitorowanie podstawowych czynności fizjologicznych. Za jego pomocą możliwe jest rejestrowanie parametrów fizjologicznych, takich jak EKG, oddechu, postawy ciała, temperatury i ruchu [24,25].

Zbliżone rozwiązanie proponują Naukowcy z hiszpańskiego uniwersytetu Universidad Carlos III de Madrid. Opracowali oni nowy rodzaj inteligentnej koszulki, którą obecnie testują w środowisku szpitalnym. Koszulka wygląda jak zwyczajny t-shirt, lecz jest wyposażona w całą

gamę czujników monitorujących rytm uderzeń serca, temperaturę, a nawet pozwalających zdalnie wykonać badanie EKG. Zebrane dane są przesyłane drogą bezprzewodową do centralnej stacji monitorowania, gdzie lekarze mogą je zanalizować [28].

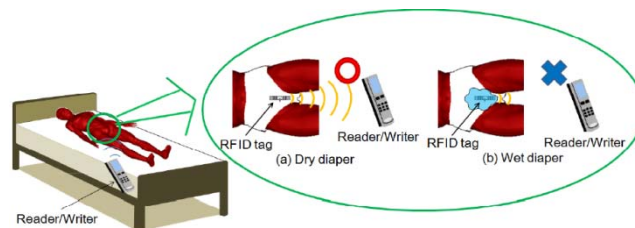


Rys. 9. Przykład tekstylnego rozwiązania w koszulce z czujnikami piezorezystywnymi i elektrodami wrobnionymi w strukturę dzianą [25,27]

Koszulka (rys. 10.) została wyposażona w GPS, a więc personel wie dokładnie gdzie w danej chwili znajduje się pacjent. Ma także akcelerometr, który pozwala stwierdzić, czy pacjent stoi, spaceruje, biega, czy też leży [28].



Rys. 10. Koszulka z bezprzewodową siecią sensorów do monitorowania pacjentów [28]



Rys. 11. System wykrywający oddawanie moczu [29]

Dodatkowo koszulki wyposażone są w serię urządzeń alarmowych, domyślnie skonfigurowanych, które są aktywowane, gdy określone parametry przekraczają wstępnie ustalone granice, np. 38°C lub 100 uderzeń serca na minutę. Alarmy mogą być modyfikowane przez lekarzy w celu dostosowania ich do specyficznych potrzeb danego pacjenta [28].

Innym przykładem rozwiązań tekstronicznych są prace Naukowców z Uniwersytetu w Chiba, którzy opracowali system RFID (Radio Frequency Identification). System ten ma na celu wykrywanie moczu u osób mających problem z jego nietrzymaniem (rys. 11.). Informacje wysyłane przez antenę zamieszczoną w pielusze ułatwiają pracę personelu opiekującego się chorymi oraz przyczyniają się do poprawy komfortu fizycznego i psychicznego pacjenta [29].

Firma Nyx opracowała koszulkę o nazwie Somnus (rys. 12). Koszulka ta wyposażona jest w dwa wprasowane czujniki, które rejestrują oddech w czasie snu. Zbiór danych następnie przekazywany jest lekarzowi, który na ich podstawie diagnozuje, czym spowodowane są kłopoty ze snem [30].

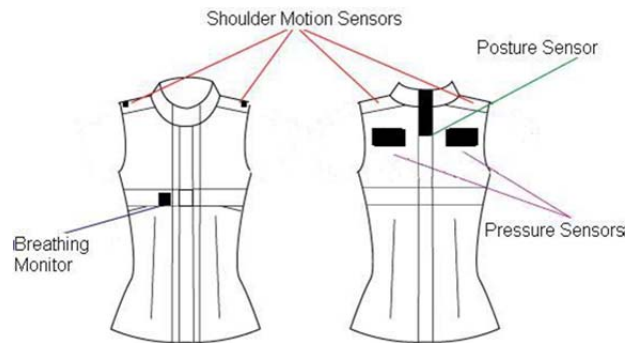


Rys. 12. Koszulka Somnus do badania zaburzeń snu [30]

Z powodu starzenia się populacji, choroby przewlekłe stają się coraz bardziej powszechne. W celu zapewnienia płynnego systemu zdolnego do monitorowania akcji serca, oddechu i aktywności fizycznej, europejscy naukowcy opracowali koszulkę wyposażoną w czujniki, urządzenia monitorujące oraz inteligentną technologię przetwarzania danych na odległość. Koszulka została opracowana w ramach projektu Chronius. Została ona zaprojektowana specjalnie dla pacjentów z przewlekłą obturacyjną chorobą płuc (POChP) i przewlekłą chorobą nerek (PChN). Istnieje możliwość dostosowania ich do monitorowania innych nieuleczalnych chorób przewlekłych, wymagających opieki długoterminowej. T-shirt posiada czujniki do monitorowania czynności serca i układu oddechowego. System ten korzysta z dodatkowych informacji zebranych przez zewnętrzne urządzenia, takie jak cyfrowa skala wagi, glukometr, ciśnieniomierz, spirometr i czujnik jakości powietrza. Zebrane dane są przesyłane do urządzenia mobilnego, takiego jak smartfon lub PDA, który przekazuje dane do odpowiednich jednostek, gdzie są analizowane. Pacjenci są monitorowani codziennie. Kontrolowane jest ich normalne życie, dzięki czemu lepiej można zobrazować objawy i postęp choroby. Umożliwia to dokładne określenie metody leczenia. W ten sposób eliminuje się potrzebę częstych badań kontrolnych, a dane uzyskane przez system umożliwiają precyzyjne dostosowanie zabiegów do indywidualnych potrzeb pacjenta [31].

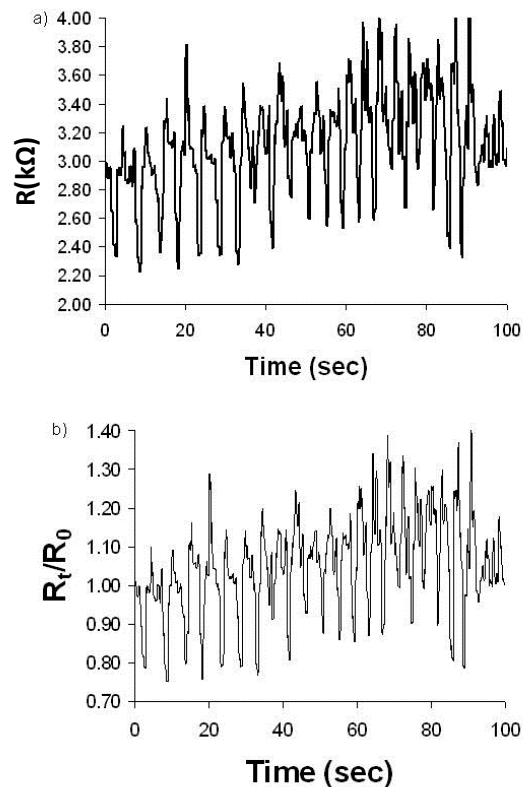
Naukowcy z Uniwersytetu w Dublinie opracowali koszulkę do zastosowań medycznych z użyciem czujnika wykonanego z pianki poliuretanowej pokrytej polipirolom. Koszulka (rys. 13.) ma na celu rejestrację oddechu oraz ruchów bark i szyi. Jak widać na rys. 14, w wyniku głębokiego oddychania powstaje krzywa sinusoidalna

oporu, która jest wynikiem pracy czujnika wykonanego z kompozytu polipirolu i poliuretanu (PU) [32].



Rys. 13. Struktura odzieży i układ sensorów w koszulce z czujnikiem wykonanym z kompozytu polipirolu i poliuretanu [32]

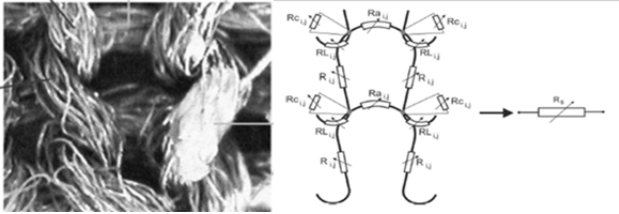
Efekt histerezy odkształcenia pianki PU podczas użytkowania może być postrzegany, jako stopniowy dryf mierzonej rezystancji, obserwowany na rys. 14a. Na rys. 14b można zauważyć, że zmiana rezystancji czujnika między wdechem i wydechem wynosi około 20% [32].



Rys. 14. a) Odpowiedź oporności na głębokie oddychanie, b) reakcja względna oporności (R_t/R_0) na głębokie oddychanie [32]

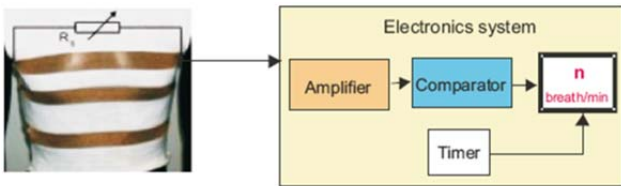
Przedstawione wyniki wskazują, że zastosowana pianka poliuretanowa pokryta polipirolom, może służyć, jako czujnik do badania częstości oddechów oraz do wykrywania ruchów ciała [32].

Inne rozwiązanie tekstroniczne przedstawili Naukowcy z Katedry Odzieżoznictwa i Tekstroniki Politechniki Łódzkiej, którzy wytworzyli koszulkę wyposażoną w czujnik do pomiaru częstości rytmu oddechowego. Jest to czujnik parametryczny, w postaci dzianiny wykonanej z przędzy elektroprowadzącej (rys. 15.), która pod wpływem odkształcenia zmienia rezystancję [8].



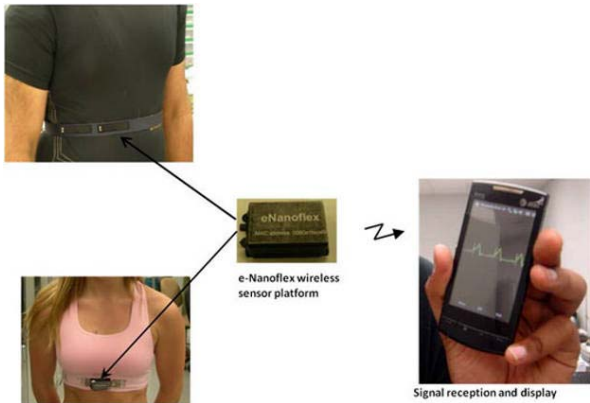
Rys. 15. Schemat działania przędzy elektroprowadzącej, zmieniającej rezystancję pod wpływem odkształceń [8]

Czujnik w formie pasa opinającego klatkę piersiową umieszczony jest w koszulce tekstronicznej (rys. 16.). Podczas oddychania następuje odkształcenie klatki piersiowej powodujące odkształcenie koszulki. Zmiana ta prowadzi do zmiany rezystancji czujnika rejestrowanej przez system elektroniczny [8].



Rys. 16. Schemat blokowy systemu do pomiaru oddechów [8]

Przedstawiony czujnik zintegrowany z odzieżą pozwala monitorować częstotliwość rytmu oddychania, nie zakłócając komfortu użytkownika [8].



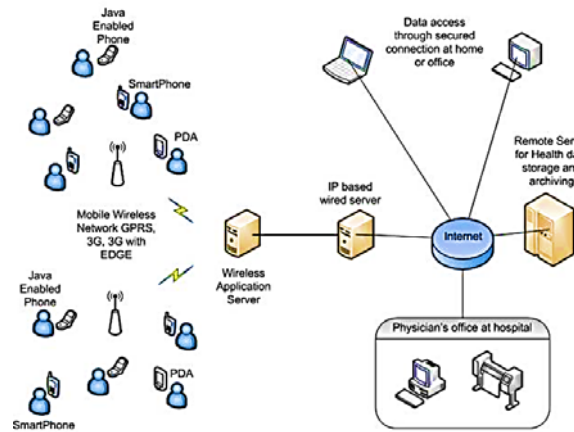
Rys. 17. Bezprzewodowy system monitoringu e-Nanoflex [33]

Koszulki tekstroniczne do zastosowań sportowych

Interdyscyplinarny zespół inżynierów z Uniwersytetu w Arkansas wytworzył bezprzewodowy czujnik tekstylny do monitorowania zdrowia sportowców. Czujnik ten, o nazwie e-Nanoflex Sensor System (rys. 17.) zawiera szereg nanostrukturalnych czujników, włókienniczych zintegrowanych ze zwykłym biustonoszem sportowym. Czujniki, te są mniejsze niż moneta 2 złotowa, znajdują się w nich złote nanodruły oraz elastyczne nanosensory wplecione w materiał towarzyszący. Zastosowane nanoprzewody są długości około 1 mikrometra i średnicy w zakresie od 20 do 200 nanometrów [33].

Monitorowane informacje mogą być przesyłane w czasie rzeczywistym do lekarza, szpitala lub innej osoby dysponującej smartfonem, dzięki zastosowaniu specjalnej platformy informatycznej (rys. 18.).

Tego typu rozwiązania są również stosowane w celu łatwiejszego monitorowania sportowców i kontroli danych fizjologicznych podczas ćwiczeń. Odzież zbiera i przesyła sygnały życiowe w dowolnej lokalizacji na świecie [33].



Rys. 18. Schemat przepływu danych z e-Nanoflex do zdalnych serwerów magazynujących [33]

Firma Adidas wraz z amerykańską ligą piłkarską zaprezentowała system Adidas Micoach Elite (rys. 19.) umożliwiający trenerom i lekarzom uzyskiwanie w czasie rzeczywistym szczegółowych informacji o stanie piłkarzy. Mierzone są: szybkość, przyspieszenie, przebyta odległość, pozycja na boisku, puls, a także zużyta energia związana z wysiłkiem [34].



Rys. 19. System Adidas Micoach Elite [34]



Rys. 20. Rejestracja i analiza wyników zebranych z czujników znajdujących się w koszulce zawodnika [34]

Wykonane pomiary każdego ruchu, kroku i bicia serca są w przeciągu sekundy przesyłane do trenera stojącego przy bocznej linii boiska. Zastosowana technologia umożliwia lepsze zrozumienie fizycznego i fizjologicznego wysiłku wykonanego przez drużynę oraz indywidualnych zawodników, podczas meczów i treningów. System Adidas Micoach Elite poprzez umożliwienie dokonania pogłębionej analizy i obserwacji trendów (rys. 20.), pozwala na zmniejszenie możliwości przetrenowania i ograniczenie ryzyka kontuzji [34].

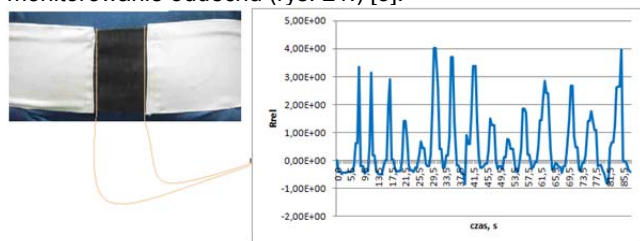
Firma NuMetrex opracowała koszulkę NuMetrexCardio, która jest wygodną alternatywą dla uciążliwych pasów do monitorowania akcji serca. Koszulka jest dopasowana do ciała. Rejestruje puls i wysyła go do kompatybilnego zegarka poprzez mały nadajnik, umieszczony w kieszeni koszuli. Koszulka jest wytworzona ze specjalnych włókien, charakteryzujących się dużą przepuszczalnością pary wodnej ze zintegrowanym czujnikiem pulsu. Producent twierdzi, że na pomiary nie ma wpływu ani zmiana temperatury badanego obiektu ani potliwość, gdyż czujnik pomiarowy jest prawidłowo odizolowany.

Wyniki zbierane za pomocą czujnika znajdującego się w koszulce, w pierwotnym założeniu miały służyć do monitorowania zmian w wydajności oraz określić maksymalne obciążenia treningowe zawodowych rowerzystów [35].

Opracowywanie nowej, konkurencyjnej odzieży sportowej wymaga analizy i optymalizacji wielu właściwości włókienniczych. Kluczową rolę odgrywa, komfort biofizyczny odzieży, który ma bezpośredni wpływ na wyniki sportowca. Sposób jego badania polega na prowadzeniu ciągłego monitorowania wilgotności i temperatury warstwy powietrza pomiędzy skórą a elementem odzieży. W związku z powyższym naukowcy z Politechniki w Turynie wytworzyli czujnik do badania mikroklimatu pododzieżowego, którego zadaniem było badanie wilgotności i temperatury. Czujnik ten był połączony z koszulką. Badania były prowadzone zarówno w stanie spoczynku jak i w stanie wzmożonego wysiłku na stacjonarnym rowerze. Przeprowadzono próby na koszulkach wykonanych ze zróżnicowanego surowca i o różnych splotach. Miało to na celu dobór optymalnych parametrów komfortu biofizycznego [36].

W niniejszej pracy skoncentrowano się na trendach rozwojowych koszulek tektonicznych w zastosowaniach medycznych i sportowych. Autorka artykułu wykonała sensory tekstylne metodą druku filmowego z zastosowaniem nanorurek węglowych. Należy zauważyć, że drukowanie jest jedną z metod stosowanych do uzyskiwania mikroelektroniki [37]. Otrzymane sensory mają służyć do pneumografii, czyli monitorowania częstotliwości oddechu u osób uprawiających sporty. W tym celu została przeprowadzona modyfikacja dyspersji nanorurek węglowych firmy Nanocyl dla nadania tekstyliom, obok zwiększonego przewodnictwa elektrycznego, również właściwości bakteriostatycznych, niezwykle istotnych w przypadku biomateriałów [3].

Głównym celem prowadzonych badań było uzyskanie sensorów czułych na odkształcenia mechaniczne. Czułość zadrukowanych dzianin funkcjonalizowanych na odkształcenia sprężyste oceniano na podstawie zmian rezystancji, jakie wywoływał zastosowany bodziec mechaniczny. Kinetyka zmian rezystancji pod wpływem zastosowanego bodźca rejestrowana była przy użyciu multimetru cyfrowego. Wykonany został prototyp opaski reagującej na ruch klatki piersiowej i umożliwiającej monitorowanie oddechu (rys. 21.) [3].

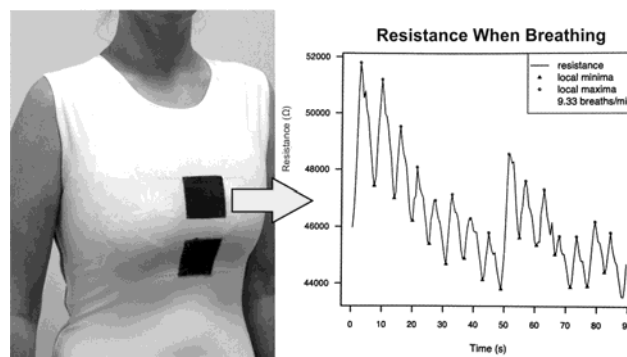


Rys. 21. Prototyp opaski rejestrującej sygnał z czujnikiem monitorującym oddech

Częstotliwość oddechu mierzona za pomocą zaprojektowanego czujnika po kilku minutowym biegu była

podwyższona, i wynosiła ok 20 oddechów na min. Rejestracja sygnału monitorującego oddech za pomocą czujnika w stanie spoczynku przebiegała w sposób prawidłowy i wynosiła ok 12 oddechów na min [3].

W ramach pracy dyplomowej realizowanej w Katedrze Materiałoznawstwa, Towaroznawstwa i Metrologii Włókienniczej Politechniki Łódzkiej, została wytworzona koszulka rejestrująca oddech za pomocą pomiaru odkształceń klatki piersiowej poprzez pomiar zmiany rezystancji elektrycznej (rys. 22.). Niezbędne było przeprowadzenie personalizacji odzieży do obwodów tułowia studentki testującej czujnik. Zastosowano skaner ciała w celu określenia dokładnych wymiarów ohotniczki. Następnie przeprowadzono badania sprężystości dzianiny przy użyciu maszyny wytrzymałościowej Instron i obliczono ciśnienie w oparciu o równanie Laplace'a niezbędne do prawidłowego dopasowania koszulki do ciała [38]. Kolejnym krokiem było wykonanie nadruków na koszulce przy użyciu kompozycji drukarskiej na bazie nanorurek węglowych firmy Nanocyl. Nadruki przygotowano na dwóch wysokościach, w celu określenia, lepszego umiejscowienia czujnika na ciele kobiety [38].



Rys. 22. Prototyp spersonalizowanej koszulki rejestrującej proces oddychania [38]

Na rys. 16 przedstawiono wynik prowadzonego ciągłego pomiaru zmian rezystancji wywołanego zmianami obwodu klatki piersiowej w trakcie oddychania. Częstość oddechu w czasie rzeczywistym wynosiła około 10 oddechów na minutę. Bardziej efektywne okazały się czujniki umieszczone na wysokości biustu, gdyż lepiej odzwierciedlały rzeczywisty oddech [38].

Podsumowanie

Analizując przedstawiony materiał, można zauważyć, iż nie tylko naukowcy, ale również firmy szukają nowych zastosowań w celu ulepszenia życia ludzkiego. Wydaje się, że w przyszłości odzież tektoniczna będzie niezastąpiona w medycynie. Stosowanie jej u osób z chorobami przewlekłymi w znacznym stopniu powinno obniżyć koszty ambulatoryjne oraz pozwoli w większym stopniu zrozumieć zachodzące w organizmie zmiany. W przypadku sportowców, wydaje się konieczne wprowadzenie ciągłego monitorowania uprawiających sport zawodowo. Wskazuje na to fakt, że coraz częściej słyszy się o wypadkach na boisku związanych z przeciążeniem organizmu.

Przed odzieżą tektoniczną, stawiane są dość wysokie wymagania związane z jednej strony z jej prawidłową konstrukcją, a z drugiej strony z miniaturyzacją stosowanej elektroniki i dokładnością rejestrowania i przetwarzania danych. W związku z powyższym prowadzone są ciągłe badania związane z wytworzeniem układów scalonych i czujników oraz ich izolacji, które byłyby odporne na procesach użytkowania i konserwacji oraz nie ulegały zakłóceniom pod wpływem pocenia się organizmu ludzkiego, wzrostu temperatury czy wilgotności

zewewnętrznej. Niezwykle istotną sprawą związaną z odzieżą tekstylną jest jej personalizacja. Aby urządzenia elektroniczne zintegrowane z odzieżą działały prawidłowo, odzież musi wywierać odpowiedni nacisk (ciśnienie) obliczony w oparciu o równanie Laplace'a, niezbędne do prawidłowego dopasowania systemu pomiarowego do ciała. Urządzenia mające zastosowanie w tekstylnie, winny być możliwie małe i lekkie. Ułatwi to w znacznym stopniu ich integrację z wyrobami tekstylnymi, bez znacznego wpływu na strukturę stosowanego materiału.

LITERATURA

- [1] Michalak M., Krucińska I., Surma B., *Textronic Textile Product Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 14 (2006), nr 5 (59)
- [2] Coyle S., Morris D., Lau K.-T., Diamond D., Moyna, N. Textile-based wearable sensors for assisting sports performance. *Wearable and Implantable Body Sensor Networks, International Workshop*, (2009), 307–311
- [3] Krucińska I., Skrzetuska E., Urbaniak-Domagala W. Prototypes of Carbon Nanotube-Based Textile Sensors Manufactured by the Screen Printing Method. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*; 20 (2012), 2(91), 79-83
- [4] De Rossi D., et al., Electroactive fabrics and wearable biomonitoring devices, *AUTEX Research Journal*, 3 (4) (2003), 180-185
- [5] Chiolerio A., et al., Inkjet printing and lower power laser annealing of silver nanoparticle traces for the realization of low resistivity lines for flexible electronics, *Microelectronic Engineering*, 88 (2011), 2481-2483.
- [6] Schwarz A., et al., Electro-conductive and elastic hybrid yarns – The effects of stretching, cyclic straining and washing on their electro-conductive properties, *Materials and Design*, 32 (2011), 4247-4256.
- [7] Bendkowska W., *Tekstylnia inteligentne – przegląd zastosowań. Część I: Tekstylnia regulująca mikroklimat odzieży, Przegląd Włókienniczy* 8 (2002)
- [8] Frydrysiak M., Zięba J. Textronic Sensor for Monitoring Respiratory Rhythm. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*; 20(2012), 2(91): 74-78
- [9] Krucińska, I.; Skrzetuska, E.; Urbaniak-Domagala, W., The use of carbon nanotubes in textile printing, *Journal of Applied Polymer Science*, 121(2011), nr 1, 483-490
- [10] Paradiso R., Wearable health care system for vital signs monitoring, *Conference Proceedings. 4th International IEEE EMBS Special Topic Conference on Information Technology Applications in Biomedicine 2003*, Birmingham (2003), 283-286
- [11] Lymberis A., Dittmar A., Advanced wearable health systems and applications, *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, (2007), 29-33.
- [12] Scilingo E.P. et al., Performance evaluation of sensing fabrics for monitoring physiological and biomechanical variables, *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, 9 (3) (2005), 345-352.
- [13] Seoane F., Marquez J.C., Ferreira J., Buendia R., Lindecrantz K., The challenge of the skin-electrode contact in textile-enabled electrical bioimpedance, measurements for personalized healthcare monitoring applications, *Biomedical Engineering, Trends in Material Science*, (2011), 541-546.
- [14] Dunne L.E., Brady S., Smyth B., Diamond D., Initial development and testing of a novel foam-based pressure sensor for wearable sensing, *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 2 (4) (2005).
- [15] Bartkowiak G., Kierunki rozwoju odzieży inteligentnej *Bezpieczeństwo Pracy* 01 (2010), 18-22
- [16] Bial D., Kern D., Alt F., Schmidt A., Enhancing Outdoor Navigation Systems Through Vibrotactile Feedback, *CHI '11 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, New York, NY, USA, 2011, 1273-1278.
- [17] Garland I., Ukrainian inventors create a 'super' glove for the deaf that converts sign language into speech, *Mail Online Science and Tech*, 11 July 2012, <http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-2171677/Ukrainian-inventors-create-super-glove-converts-sign-language-speech.html>
- [18] Krucinska I., Surma B., Chrzanowski M., Skrzetuska E., Puchalski M. Application of melt-blown technology in the manufacturing of a solvent vapor-sensitive, non-woven fabric composed of poly(lactic acid) loaded with multi-walled carbon nanotubes, *Textile Research Journal*, (2012) doi:10.1177/0040517512460293
- [19] Krucinska I., Surma B., Chrzanowski M., Study on Sensing Properties of Electro-spun PEO/MWNT Non-woven Fabric, *Research Journal of Textile and Apparel*, 14 (4), (2010), 89-96
- [20] Krucinska I., Surma B., Chrzanowski M., Skrzetuska E., Puchalski M. Application of melt-blown technology for the manufacture of a temperature-sensitive non-woven fabrics composed of polymer blends PP/PCL loaded with multi-wall carbon nanotubes, *Journal of Applied Polymer Science*, 127 (2013), 869-878, doi: 10.1002/app.37834.
- [21] PROETEX - NMP2-CT-2006-026987 Protective and monitoring textiles for the human body, 01/02/2006-31/01/2010
- [22] PROETEX, *Advanced e-textiles for firefighters and civilian victims-Inner Garment*, <http://www.proetex.org/objectives.htm>
- [23] Coyle S., Benito-Lopez F., Radu T Lau K.T., Diamond D., Fibers and Fabrics for Chemical and Biological Sensing, *Research Journal of Textile and Apparel*, 14 (4), (2010), 63-72
- [24] Paradiso R., Caldani L., Electronic Textile Platforms for Monitoring in a Natural Environment, *Research Journal of Textile and Apparel*, 14 (4), (2010), 9-21
- [25] Paradiso R., Loriga G., Taccini N., A Wearable Health Care System Based on Knitted Integrated Sensors, *IEEE Trans. on Information Technology in Biomedicine*, 9 (3), (2005), 337-344
- [26] WEALTHY - European IST Project 2001-37778, Wearable Health Care System, 01/09/2002-28/02/2005
- [27] Scilingo E.P., Gemignani A., Paradiso R., Taccini N., Ghelarducci B., De Rossi D., Performance Evaluation of Sensing Fabrics for Monitoring Physiological and Biomechanical Variables, *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, 9 (3), (2005), 345-352
- [28] López G., Custodio V., Moreno J.I., *LOBIN: E-Textile and Wireless-Sensor-Network-Based Platform for Healthcare Monitoring in Future Hospital Environments*, *IEEE Trans. on Information Technol. In Biomedicine*, 14(6), (2010), 1446-1458
- [29] Nokajima H., Takahashi M., Saito K., Ito K., The characteristic of the RFID antenna by poses of human body for urination sensing, *Proceedings of ISAP 2012*, Nagoya, Japan, (2012), POS2-52
- [30] Toor A., Somnus Sleep Shirt watches while you sleep, won't be creepy about it, 23.05.2011 <http://www.engadget.com/2011/05/23/somnus-sleep-shirt-watches-while-you-sleep-wont-be-creepy-about>
- [31] Damir B., T-shirt with sensors and a smart system monitor health, 27.06.2012, <http://www.robaid.com/bionics/t-shirt-with-sensors-and-a-smart-system-monitor-health.htm>
- [32] Dunne L.E., Brady S., Diamond D., Initial development and testing of a novel foam-based pressure sensor for wearable sensing, *J Neuroengineering Rehabil.*; 2 (2005)
- [33] Varadan V. K., Kumar P. S., Oh S., Kwon H., Rai P., Banerjee N., Harbaugh R. E., e-Nanoflex Sensor System: Smartphone-Based Roaming Health Monitor, *J. Nanotechnol. Eng. Med.*–2 (2011) nr 1,
- [34] Byfordon S., Adidas miCoach Elite System to be integrated in Major League Soccer from 2013, 20.06.2012, <http://www.theverge.com/2012/7/20/3171410/adidas-mi-coach-elite-system-major-league-soccer>
- [35] Fitzgerald M., Use a Heart Rate Monitor to Measure Heart Rate Recovery - An Important Measure of Fitness, 01.07.2009, <http://www.numetrex.com/op/use-a-heart-rate-monitor-to-measure-heart-rate-recovery-an-important-measure-of-fitness>
- [36] Ferri, A., Corbellini, S., Parvis, M., Splendore, R., Compact RF Sensors for Monitoring Thermo-physiological Comfort of Sportswear, *IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC)*, (2010), 1262 - 1267
- [37] Lorusso F., Rocchia W., Scilingo E.P., Tognetti A., De Rossi D., Wearable, redundant fabric-based sensor arrays for reconstruction of body segment posture, *IEEE Sensors Journal*, 4 (6) (2004), 807-818.
- [38] Furtak N., Master of Science in Textile Engineering, *Personalization of clothing for volleyball players equipped with textronic systems*, promotor Krucińska I., Politechnika Łódzka, (2012)

Autorzy: mgr inż. Ewa Skrzetuska, Politechnika Łódzka, Katedra Materiałoznawstwa, Towaroznawstwa i Metrologii Włókienniczej, ul. Żeromskiego 116, 90-924 Łódź, E-mail: ewa.skrzetuska@p.lodz.pl.