

5. Inteligentne tekstylia – międzynarodowe innowacje w tekstronice

STRESZCZENIE

Niniejsza praca przedstawia charakterystykę międzynarodowych, w tym także i polskich, osiągnięć w coraz szybciej rozwijającej się tekstronice. Rozdział dotyczący genezy tekstroniki wprowadza czytelnika w świat inteligentnej odzieży oraz głównych kierunków jej rozwoju. W kolejnej części publikacji zaprezentowane zostały najistotniejsze wymagania stawiane produktom tzw. elektroniki noszonej oraz problemy, z jakimi stykają się projektanci wyrobów tekstronicznych, którymi są m.in. sposoby zasilania oraz łączenia zintegrowanych z odzieżą układów elektronicznych, wybór transmisji danych, a także niewielka dostępność układów nadających się do zastosowań tekstronicznych. Przeprowadzona analiza pokazuje perspektywy szybkiego rozwoju tekstroniki w takich obszarach jak elektronika użytkowa, medyczna, a także odzież rozrywkowa i sportowa oraz wyroby ratownicze i militarne. Charakterystyczna interdyscyplinarność tekstroniki ukazuje nowy trend panujący w dzisiejszej nauce, która zachęca do prowadzenia badań oraz wykorzystywania wiedzy z kilku powiązanych ze sobą dziedzin nauki w celu stworzenia pełnowartościowego produktu końcowego.

5.1. MATERIAŁY INTELIGENTNE

Zgodnie z definicją zawartą w Słowniku Języka Polskiego inteligencja to zdolność rozumienia, uczenia się oraz wykorzystywania posiadanej wiedzy i umiejętności w sytuacjach nowych [1]. Czy możemy zatem twierdzić, że materiały i tekstylia są inteligentne?

Odpowiedź na powyższe pytanie pozostaje cały czas pod znakiem zapytania od około czterdziestu lat, kiedy to zaczęto interesować się materiałami charakteryzującymi się dodatkowymi, niekonwencjonalnymi właściwościami, odróżniającymi je od powszechnie stosowanych wyrobów. W literaturze anglojęzycznej najbardziej trafnej definicji materiałów inteligentnych dokonał japoński naukowiec - T. Takagi, który podjął się zdefiniowania pojęć *smart* oraz *intelligent materials*. Według niego materiały inteligentne to takie, które potrafią reagować na bodźce zewnętrzne, którymi mogą być temperatura, ciśnienie, naprężenie, substancje chemiczne oraz inne czynniki, poprzez istotną zmianę swoich parametrów, przykładowo zmianą wymiarów geometrycznych, barwy. Zatem materiał inteligentny powinien jednocześnie spełniać funkcję czujnika,

procesora oraz elementu wykonawczego, czyli akuatora. Natomiast materiał typu *smart* to taki, który zmienia swoje właściwości w sposób przewidywalny, zgodny z założeniami przyjętymi na etapie jego projektowania, wskutek różnego typu impulsów zewnętrznych [2], [3]. W języku polskim nie rozróżnia się jednak tych dwóch pojęć i zazwyczaj stosowana jest jedna, ogólna definicja tekstyliów inteligentnych, które możemy dodatkowo podzielić na kilka podgrup. Do pierwszej z nich zaliczają się materiały zmieniające swoje parametry pod wpływem czynników zewnętrznych, drugą stanowią tekstylia elektroprzewodzące, kolejną wyroby włókiennicze zintegrowane z układami elektronicznymi, natomiast ostatnią - tekstylia barierowe, chroniące człowieka przed szkodliwym działaniem czynników zewnętrznych, którymi mogą być bakterie, grzyby, wirusy, promieniowanie elektromagnetyczne, strumień ciepły, substancje chemiczne itp. [4]. W zależności od zakwalifikowania się tekstyliów do jednej, a czasem kilku z powyższych podgrup obszar zastosowań wyrobów inteligentnych może być bardzo szeroki. Znane są tekstylia zmieniające kolor, temperaturę, kształt, emitujące światło lub wyposażone w zestawy czujników, które to mogą być stosowane przy produkcji nowoczesnych wyrobów tekstylno-elektronicznych - tekstylnych systemów przenośnej elektroniki medycznej, odzieży ratowniczej, sportowej oraz ubiorów z najwyższych półek współczesnego świata mody.

Coraz bardziej powszechna interdyscyplinarność nauki w dalszym ciągu prowadzi do wzmożonej intensyfikacji badań, realizowanych w międzynarodowych ośrodkach naukowych. Należy pamiętać, że w celu wytworzenia współczesnych produktów tekstylnych konieczne jest synergiczne połączenie wiedzy z różnych dziedzin nauki, które to prowadzi do powstania nowych koncepcji oraz konkurencyjnych pomysłów. W dzisiejszych czasach dzięki dywersyfikacji wiedzy rozpatruje się problemy dotyczące nowoczesnych wyrobów włókienniczych z kilku punktów widzenia, co pomaga szybszemu rozwojowi tekstyliów inteligentnych, innowacyjnych wyrobów high-tech, funkcjonalnych materiałów włókienniczych oraz biomateriałów.

5.2. PODSTAWY TEKSTRONIKI

W latach osiemdziesiątych XX wieku zaczęto prowadzić intensywne badania nad materiałami inteligentnymi, włóknami elektroprzewodzącymi, piezoelektrycznymi, a także łączeniem nowopowstałych materiałów z wyrobami tekstylnymi, wyposażając je dodatkowo w proste układy elektroniczne. Początkowo były to wyroby, w których podstawowa funkcja odzieży, jaką jest ochrona, została zachwiana, jednak z biegiem czasu, gwałtownie postępującą miniaturyzacją elektroniki oraz postępem technologicznym w zakresie łączenia mikrostruktur, systemy tekstroniczne stały się popularnym i komfortowym dobrem materialnym. Rosnące zainteresowanie nowatorskimi wyrobami, odbiegającymi od standardowych zastosowań, przyczyniło się do powstania tekstroniki, która łączy w sobie wiedzę z takich dziedzin nauki jak elektronika, włókiennictwo, inżynieria materiałowa, informatyka, metrologia oraz automatyka [5], [6]. Systemy tekstroniczne mogą zarówno zwiększać bezpieczeństwo jej potencjalnych użytkowników, jak również zapewniać im rozrywkę oraz ułatwiać komunikację. Przykładami rozwiązań tekstronicznych są m.in. ubiory ratownicze wyposażone w układy czujników różnych wielkości fizycznych, takich jak temperatura, ciśnienie, rytm serca [7]. Z drugiej strony ukazują nam się generujące prąd nowoczesne ubiory high-tech zintegrowane z odtwarzaczami muzycznymi, elastycznymi klawiaturami oraz migającymi diodami LED [8].

Nowoczesne wyroby tekstroniczne powinny charakteryzować się następującymi cechami:

- multifunkcyjnością czyli możliwością realizacji różnych zadań w obrębie jednego systemu,
- zaawansowaną technologią produkcji prowadzącą do realizacji rozbudowanych układów,
- elastycznością - czyli łatwością modyfikacji konstrukcji wyrobu na wszystkich etapach wytwarzania, zaczynając od projektowania, a kończąc na eksploatacji,
- inteligencją parametrów tekstylnych - czyli możliwością samodzielnego reagowania na zmiany spowodowane czynnikami zewnętrznymi [6].

Prekursorami elektroniki noszonej były zespoły badawcze z MIT (Massachusetts Institute of Technology) Media Laboratory oraz z Philips Laboratory of Design. Rozpowszechnili oni ideę dołączania przenośnych układów elektronicznych do odzieży w celu rozszerzenia jej podstawowej funkcjonalności przy jednoczesnym zwiększeniu komfortu, bezpieczeństwa oraz zadowolenia potencjalnego odbiorcy. Zespół z MIT, którym kierowali Steve Mann oraz Thad Starner, początkowo zajmował się adaptacją sprzętu komputerowego do przenośnych, inteligentnych układów tekstronicznych. Jednym z ich pierwszych projektów był system StartleCam, zrealizowany pod koniec roku 1998. Umożliwiał on automatyczne wykonywanie oraz zapisywanie zdjęć w trakcie ważnych dla użytkownika momentów, które były analizowane na podstawie umieszczonych na jego palcach wskaźników czujników [9]. Główną wadą tego systemu była jego estetyka wykonania, technologia dołączania urządzeń elektronicznych do wyrobów tekstylnych nie była w ówczesnych czasach jeszcze dostatecznie opanowana, układy elektroniczne nie stanowiły integralnego wyposażenia stroju, były dość duże.

Kolejnym podmiotem, zajmującym się badaniami nad scalaniem wyrobów elektronicznych z tekstyliami, a następnie ich komercjalizacją był Philips Electronics, który w celu realizacji projektu Vision of the Future stworzył jedną z pierwszych grup badawczo-rozwojowych. Naukowcy z Philips Laboratory postanowili zrealizować własne wyobrażenia na temat przełomowego społeczeństwa - nomady XXI wieku. Zaprezentowali oni kompleksowe rozwiązania ubiorów, wyposażonych w przenośne telefony, elastyczne klawiatury, wbudowane głośniki i różne zestawy czujników [10]. Przykłady pierwszych wyrobów tekstronicznych wykonanych w zespole Philipsa zostały przedstawione na Rysunku 1.



Rysunek 1. Audio Jacket oraz puchowa kurtka eksplorera, zrealizowane przez zespół Philips.

Źródło: Publikacje [10], [11].

Inteligentne kurtki, zaproponowane przez Philips'a dwa lata po prezentacji układu StartleCam, charakteryzują się dużo większą jakością oraz spójnością wykonania, elektronika i tekstylia stanowią w nich jedność. Pierwsza propozycja to kurtka wyposażona w odtwarzacz mp3, zintegrowane okablowanie elektroniczne oraz słuchawki. Drugi wyrób przeznaczony jest dla aktywnych podróżników, którzy chcieliby znać swoje aktualne położenie, wysokość oraz szerokość geograficzną, a także temperaturę otoczenia. Umożliwia im to moduł GPS oraz zestaw czujników wkomponowanych w strukturę kurtki, a także wyświetlacz, na którym wskazywane są odpowiednie dane [10]. Na podstawie analizy produktów dwóch pionierów elektroniki noszonej możemy zaobserwować znaczny postęp szybko rozwijającej się technologii tekstroniki.

5.3. WYMAGANIA STAWIANE ROZWIĄZANIOM TEKSTRONICZNYM

Wytwarzanie produktów tekstronicznych jest bardzo trudnym zadaniem. Już na etapie projektowania należy wziąć pod uwagę wymagania towarzyszące produktom elektronicznym (np. zakres pomiarowy, dokładność) jak i zalecenia dotyczące wyrobów włókienniczych (np. elastyczność, niewielka waga) oraz obowiązujące zasady automatyki i materiałoznawstwa. Właściwa integracja układów elektronicznych z wyrobami włókienniczymi oraz spełnienie powyższych wymagań stanowi wyzwanie dla naukowców z interdyscyplinarnych zespołów badawczych od około 20-30 lat. Jednak z roku na rok, wraz z rosnącym postępem technologicznym, wytwarza się wyroby tekstroniczne na coraz wyższym poziomie. Najczęściej produkty tekstroniczne wytwarzane są na bazie codziennych ubrań poprzez dołączanie do nich zminiaturyzowanych systemów elektronicznych, sensorów oraz układów zasilających. Funkcjonalna modyfikacja wyrobu nie powinna zakłócać komfortu jego noszenia oraz użytkowania odzieży, dlatego też urządzenia elektroniczne, integrowane z tekstyliami, powinny charakteryzować się poniższymi właściwościami:

- wysoka elastyczność,
- lekkość,
- odporność na narażenia mechaniczne i eksploatacyjne,
- odporność na wilgoć (pot, pranie),
- odporność na warunki atmosferyczne (zmienna temperatura, deszcz, wilgotność) [12].

Istotnym problemem tekstroniki, nieodwracalnie wiążącym się z zaawansowanymi wyrobami high-tech, jest zapewnienie stabilnego systemu zasilania dołączanych urządzeń. W tym celu rozważa się stosowanie układów przetwarzających różnego typu energię, m.in. ogólnodostępną energię słoneczną, energię wykorzystującą zjawiska termoelektryczne oraz piezoelektryczne, na energię elektryczną. Dzięki bezpośredniej konwersji energii systemy tekstroniczne stają się coraz częściej samowystarczalnymi, autonomicznymi układami [13]. Kolejne dylematy, które stają przed projektantami układów tekstronicznych to wybór odpowiedniej procedury transmisji danych, a także dobór stosownej metody łączenia struktur elektronicznych z podłożem włóknistym, zapewnienie dobrej jakości połączeń oraz kontaktów pomiędzy aktywnymi układami elektronicznymi, a włóknami lub przędzami elektroprzewodzącymi, coraz częściej stosowanymi w tekstronice. Staje się to często nie lada wyzwaniem dla naukowców zajmujących się

tekstroniką [14]. Przed końcową aplikacją układu w strukturę tkaniny nie powinno zapominać się o zapewnieniu odpowiedniej hermetyzacji elektronicznego podzespołu, która powinna chronić go przed różnego typu narażeniami eksploatacyjnymi, wynikającymi z implementacji w odzież np. pranie, czyszczenie, rozciąganie. W przypadku wytwarzania ogólnodostępnej odzieży należy wziąć pod uwagę problem pojawiający się w momencie konieczności wyprania zintegrowanego z elektroniką ubioru. Wrażliwe stają się wtedy zarówno układy elektroniczne jak i połączenia między nimi, które poddane zostają nie tylko działaniu wody, ale i także naprężeniom mechanicznym i narażeniom chemicznym, które mogą uszkodzić system [15]. Wiele ośrodków badawczych zastanawiało się jak rozwiązać problem czyszczenia użytkowej odzieży tekstronicznej, nieopłacalnym byłoby produkowanie strojów jednorazowych, z których nie można by było usunąć zanieczyszczeń. Naukowcy z Wearable Computing Laboratory w Zurychu zaproponowali zastosowanie powleczonych specjalnym polimerem włókien miedzianych, dla których woda i detergenty nie są szkodliwe [16]. Polimerowa warstwa zabezpiecza włókna elektroprzewodzące przed zniszczeniem, zarówno w trakcie codziennego użytkowania jak i prania. Jednak problem odporności układów na mechaniczne narażenia jest wciąż nierozwiązany, projektowane są hybrydowe układy tekstroniczne, które w przypadku konieczności wyprania można odłączyć od ubioru, jednak ponowne ich łączenie jest kłopotliwe i czasochłonne, może także prowadzić do pojawienia się szkodliwych naprężeń mechanicznych złączy elektrycznych, a w ostateczności do niesprawności układu.

W przypadku spełnienia przez układ tekstroniczny powyższych cech zakres ich zastosowań jest bardzo szeroki, poczynając od systemów wykorzystywanych w odzieży przeznaczonej dla ochrony zdrowia, zwiększenia bezpieczeństwa, poprzez sporty ekstremalne, a kończąc na dodatkowych funkcjach rozrywkowych. W odzieży inteligentnej, wyposażonej w szereg czujników, bardzo istotną kwestią jest odpowiednie zaimplementowanie sensorów w wyrób tekstylny w taki sposób, by ich obecność w strukturze, była niezauważalna dla potencjalnych użytkowników, a pomiar był możliwie dokładny i szybki.

5.3.1 POŁĄCZENIA ELEKTRYCZNE POMIĘDZY UKŁADAMI TEKSTRONICZNYMI

Połączenia elektryczne pomiędzy podzespołami, stanowiącymi elementy składowe zaawansowanych systemów tekstronicznych, wykonywane mogą być w dwojaki sposób. Przeważnie stosowane są standardowe metalowe przewody (stalowe, miedziane), jednak coraz częściej spotykane są także rozwiązania z zastosowaniem tkanych lub szytych włókien elektroprzewodzących. W większości wypadków włókna tekstylne wytwarzane są z nieprzewodzących elektrycznie polimerów organicznych, których rezystywność powierzchniowa zawiera się w zakresie 10^{13} - 10^{16} Ω . W celu zwiększenia przewodności elektrycznej włókien dokonuje się syntezy polimerowych materiałów przewodzących, charakteryzujących się sprzężonym układem wiązań podwójnych w łańcuchu głównym (np. poliacetylen, polipirol, polifenylen). Kolejną metodą jest modyfikacja nieprzewodzących polimerów poprzez zastosowanie przy ich produkcji różnego typu dodatków zwiększających przewodność, którymi są sadza, grafit oraz różne związki metali [13]. W zależności od ich ilości oraz przeprowadzonej syntezy możliwe jest uzyskanie włókien, charakteryzujących się zróżnicowanymi wartościami oporności, kwalifikującymi je do rozmaitych zastosowań. Oprócz standardowej transmisji sygnału elektrycznego mogą być one wykorzystywane do produkcji włókien ekranujących pole elektromagnetyczne, tekstyliów grzewczych oraz wyrobów antystatycznych. Przykład realizacji włóknistej klawiatury w ramach projektu E-broidery, zrealizowanego przez MIT Media Laboratory został przedstawiony na Rysunku 1.



Rysunek 2. Włóknista klawiatura.
Źródło: Publikacja [17].

Zaprezentowana tekstylna klawiatura stanowi część systemu kurtki Musical Jacket, została wyhaftowana na dzinsowym podłożu przy użyciu nici wykonanej ze stali nierdzewnej i polimeru PES (polieterosulfon) Bekaert BK50/2. Haftowane ścieżki elektroprowadzące łączą się ze sztywną płytką PCB (Printed Circuit Board), na której znajduje się mikrokontroler, sterujący układem. Wykonano tylko pięćdziesiąt sztuk kurtek, dość istotną ich wadą była wrażliwość na narażenia mechaniczne, powstające w miejscu łączenia płytki ze ścieżkami, natomiast zaskoczeniem okazała się wysoka stabilność rezystancji nici w trakcie zginania [17].

Parametry przykładowych włókien elektroprowadzących zostały przedstawione w Tabeli 1 [18], [19], [20], [21], [22].

Tabela 1. Przykładowe parametry włókien elektroprowadzących.

Typ włókna	Producent/Nazwa handlowa	Materiał	Rezystywność liniowa [Ω/cm]
Metalowe	R-Stat/ R-Stat/S	Stal nierdzewna	$10^{-6} - 10^2$
	Bekaert / Bekintex	Stal nierdzewna	
Polimerowe z proszkiem węglowym	Soficar/ Torayca	Poliakrylonitryl + cząstki węglowe	$10 - 10^6$
	Carbone Lorraine/ Regilor	Np. żywica epoksydowa Araldite LY + cząstki węglowe	
	Formosa Taffeta Company's, DuPont/ Nega-Stat	Włókno węglowe + polimer Dacron®	
Polimerowe z warstwą	Shieldex®/ Conductive Twisted Yarn 117/17	Posrebrzany nylon	$10 - 10^3$

Źródło: Opracowanie autorskie na podstawie [18], [19], [20], [21], [22].

5.3.2. SPOSOBY ZASILANIA UKŁADÓW

Jednym z ważniejszych problemów dotyczących tekstroniki jest zapewnienie odpowiedniego poziomu zasilania dla dołączonych układów elektronicznych. W zależności od zastosowań systemu zapotrzebowanie na energię elektryczną może być różne. W układach pomiarowych są to zazwyczaj niewielkie wartości (np. 5 V, 50 mA), natomiast w przypadku użytkowania komunikacji bezprzewodowej wartość wymaganego prądu znacznie wzrasta, do ok. 500 mA, najbardziej energochłonne są jednak systemy sterujące z dodatkową funkcją grzania lub chłodzenia, w których wartości prądów i napięć mogą wynosić

odpowiednio 5 A, 12 V [23]. Jednostki naukowe na całym świecie, m.in. CSEM (Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique SA) ze Szwajcarii, IMEC (Interuniversity MicroElectronics Center) z Belgii oraz Holst Center z Holandii, pracują nad konstrukcjami niskoenergetycznych układów elektronicznych, które mogłyby znaleźć zastosowanie w tekstronice. Prowadzone badania dotyczą innowacji w dziedzinie sensoryki, metod zasilania jak również zmniejszenia zużycia energii dla układów wykorzystujących bezprzewodową transmisję danych.

Obecnie najczęściej stosowanymi źródłami energii w tekstronice są sztywne oraz dość ciężkie baterie lub akumulatory. Niestety nie istnieją na rynku elastyczne baterie, charakteryzujące się wystarczającą pojemnością oraz żywotnością, które mogłyby zastąpić swoich sztywnych poprzedników. W większości przypadków rozwiązań tekstronicznych stosuje się popularne i ogólnodostępne akumulatory litowo-jonowe (Li-Ion) oraz litowo-polimerowe (Li-Poly). Charakteryzują się one wysoką gęstością energii, ok. 150 Wh/kg, dzięki czemu już niewielkie gabaryty baterii wystarczą do uzyskania odpowiednio wysokiej pojemności przy stosunkowo niskiej cenie. Trwałość akumulatorów Li-Ion pozwala na około 1 000-krotne ładowanie, natomiast samorozładowanie baterii jest niewielkie, ok. 8-10% na miesiąc. Kolejną ich zaletą jest niewystępowanie w nich niekorzystnych efektów: pamięciowego oraz leniwej baterii, typowych dla wcześniejszych konstrukcji akumulatorów NiCd (niklowo-kadmowych) oraz NiMH (niklowo-metalowowodorkowych), które przyczyniały się do zmniejszenia nominalnej pojemności oraz napięcia akumulatora, co skutkowało krótszym czasem pracy urządzenia [24], [25].

W związku z rosnącymi wymaganiami użytkowników wyrobów tekstronicznych, dotyczącymi stabilności, autonomiczności oraz wydłużonego czasu działania dołączonych systemów elektronicznych, pojawiło się wiele koncepcji wykorzystujących alternatywne źródła energii w celu doładowania zintegrowanych akumulatorów. Zaletą takiego sprzężonego systemu jest możliwość doładowania wewnętrznego akumulatora w przypadku, gdy użytkownik nie ma dostępu do sieci elektroenergetycznej lub nie posiada zapasowej baterii, a nie chce stracić możliwości korzystania z elektronicznych udogodnień. Najczęściej autonomiczne systemy zasilania bazują na otaczających nas zjawiskach cieplnych (zjawisko Seebecka oraz Peltiera), fotoelektrycznych oraz piezoelektrycznych.



Rysunek 3. Zastosowanie alternatywnych źródeł energii w tekstronice.

Źródło: Publikacje[27], [28].

Badania nad zastosowaniem energii odnawialnej w przenośnych urządzeniach tekstronicznych prowadzone są od wielu lat, w ramach VI i VII Programu Ramowego zrealizowano m.in. takie projekty jak Vibration Energy Scavenging (VIBES) oraz E-Stars, którego celem było zaprojektowanie oraz wykonanie autonomicznego bezprzewodowego mikrosystemu pomiarowego, zintegrowanego z nowoczesnymi mikrobateriami, charakteryzującymi się wysoką pojemnością [26]. Naukowcy oczekują, że w ciągu najbliższych 10 lat, wraz z rozwojem mikro- i nanoelektroniki oraz technologii MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems), uda się stworzyć samowystarczalny energetycznie mikrosystem nadający się do łatwej integracji z odzieżą.

Na rysunku 3 przedstawione zostały przykładowe realizacje układów gwarantujących autonomiczność systemów przy wykorzystaniu zjawiska piezoelektrycznego oraz energii słonecznej. Naukowcy z InStep NanoPower zaprojektowali układ przekształcający powstającą w trakcie chodzenia energię mechaniczną w energię elektryczną, uzyskując w ten sposób do 20 W mocy.

Zaprezentowana torba solarna, wyposażona w elastyczny moduł fotowoltaiczny, umożliwia doładowanie wewnętrznej akumulatora przy wykorzystaniu darmowej i ogólnodostępnej energii słonecznej. Należy jednak pamiętać, że natężenie promieniowania słonecznego zależne jest od stopnia zachmurzenia i nie jest stałe, co powoduje wahania parametrów elektrycznych ogniw. Nominalna, katalogowa sprawność ogniw fotowoltaicznych podawana jest dla standardowych warunków STC (Standard Test Condition), czyli natężenia promieniowania słonecznego równego 1000 W/m^2 przy temperaturze 25°C . W przypadku wyższych temperatur oraz niższego natężenia promieniowania ich sprawność spada [29]. Przykładowo dla zastosowanego modułu o mocy 1 kW, taką wartość uzyskamy jedynie w bezchmurny dzień, natomiast przy całkowicie zachmurzonym niebie wartość ta może spaść nawet do 10 W.

Tabela 2. Porównanie parametrów wybranych elastycznych ogniw słonecznych.

Producent / Typ modułu		ISC [A]	VOC [V]	P _{MAX} [W]	Wymiary [cm]	P _{MAX} / S [mW/cm ²]
Uni-Solar	ePVL-68	5,1	23,1	68	277,1/ 37,3/ 0,3	6,58
	ePVL-136	5,1	46,2	136	541,2/ 37,3/ 0,3	6,74
	ePVL-144	5,3	46,2	144	541,2/ 37,3/ 0,3	7,13
Power Film	SP 3-37	30	4,1	0,07	6,4/ 3,7/ 0,02	2,96
	RC 7.2-75	120	10,5	0,72	27/ 9/ 0,02	2,96
	PT 15-300	240	19,0	3,08	32,5/ 27/ 0,11	3,51
Konarka	Power Plastic 120	194	11,3	1,2	340/ 273/-	11,29
	Power Plastic 720	1360	11,3	8,6	1553/ 340/-	1,63
	Power Plastic 1140	2,1	22,6	27,2	2407/ 676/-	1,67

Źródło: Opracowanie autorskie w oparciu o pozycje literaturowe [31], [32], [33].

Najczęściej stosowanymi ogniwami słonecznymi w tekstronice są elastyczne ogniwa cienkowarstwowe, wykonane z krzemu amorficznego, związków półprzewodnikowych CIGS (Copper Indium Gallium Selenide) lub związków organicznych, charakteryzujące się sprawnościami rzędu 5-20 % [30]. Zapotrzebowanie na energię elektryczną w przenośnych systemach tekstronicznych nie jest jeszcze aż tak bardzo wysokie, dlatego też stosowanie sztywnych ogniw słonecznych o wyższych sprawnościach konwersji, wykonanych

z krzemu mono- i polikrystalicznego, nie jest konieczne. Porównanie najważniejszych parametrów wybranych elastycznych ogniw słonecznych zostało przedstawione w Tabeli 3.2. Jako I_{sc} oznaczono prąd zwarcia, zależny od właściwości materiałowych półprzewodnika oraz konstrukcji ogniwa, V_{oc} napięcie obwodu otwartego, natomiast P_{MAX} maksymalna moc elektryczna ogniwa.

Uni-Solar jak i Power Film produkują ogniwa na bazie krzemu amorficznego, natomiast firma Konarka oferuje cienkowarstwowe ogniwa organiczne, charakteryzujące się jednak krótką żywotnością, rzędu 3-5 lat, ze względu na degradację związku bazowego, co jest niewątpliwie ich największą wadą.

5.3.3. RODZAJE TRANSMISJI DANYCH

Wybór odpowiedniej transmisji danych wewnątrz wyrobu tekstronicznego stanowi kolejny ważny problem tektroniki. Dylemat czy powinno stosować się przewodowy czy też bezprzewodowy przekaz danych powraca notorycznie poczynając od pierwszych układów smart textiles. Znane są wady jak i zalety każdego z rozwiązań, transmisja przewodowa jest znacznie prostsza w wykonaniu technologicznym, jednak przewody wbudowane w strukturę tkaniny, zwłaszcza przy rozbudowanych sieciach czujników, mogą wpływać na pogorszenie komfortu użytkownika wyrobu tekstronicznego. Objawiać się to może ograniczeniem ruchów użytkowników, większym narażeniem na różnego typu uszkodzenia mechaniczne zginanie, skręcanie. W celu usprawnienia komunikacji przewodowej wewnątrz wyrobu tekstronicznego stosuje się różne standardy transmisji danych, m.in. 1-wire oraz I2C, opracowane przez firmy Dallas Semiconductor oraz Philips. Komunikacja bezprzewodowa, w zależności od wymaganego zasięgu komunikacji między urządzeniami, regulacji prawnych w zakresie przydziału pasm częstotliwości, dopuszczalnej mocy sygnału, prędkości transmisji danych, rodzaju przesyłanych danych, zużycia mocy, a także i ceny, wykorzystuje standardy IrDA (ang. Infrared Data Association), Bluetooth, ZigBee, WiFi, GSM (Global System for Mobile Communications) i inne. W zależności od wymogów układu należy wybrać odpowiedni rodzaj transmisji [34]. Na Rysunku 4 została przedstawiona tekstylna antena, wykonana w Instytucie Elektroniki PŁ, pozwalająca na zastosowanie jej w nielicencjonowanym paśmie częstotliwości 2,4-2,5 GHz. Dzięki swoim małym wymiarom, wadze oraz bardzo dobrej elastyczności może być stosowana w wyrobach tekstronicznych, nie wywołując jednocześnie uczucia dyskomfortu.



Rysunek 4. Antena tekstylna.

Źródło: publikacja [35].

5.3.4. SPOSOBY ADAPTACJI ROZWIĄZAŃ ELEKTRONIKI DLA CELÓW TEKSTRONICZNYCH

W Tabeli 3 przedstawione zostały trzy najczęściej stosowane metody łączenia układów elektronicznych ze strukturami tekstronicznymi [36].

Tabela 3. Sposoby łączenia elementów elektronicznych z tekstyliami.

Rodzaj	Opis	Cechy
FE - Fibre Electronics (FS - Fibre Sensors, FA - Fibre Actuators, FPS - Fibrous Power Supply)	Układy elektroniczne wytwarzane na pojedynczych włóknach lub strukturach włóknistych (np. włókniste czujniki, siłowniki, źródła zasilania)	<ul style="list-style-type: none"> - Łatwość aplikacji w strukturę tkaniny - Elastyczność układów - Niedostatecznie opanowana technologia - Dość wysoka cena
ASIC - Application Specific Integrated Circuits	Wykorzystywanie układów ULSI (Ultra Large Scale Integration) do wytwarzania zminiaturyzowanych systemów tekstronicznych	<ul style="list-style-type: none"> - Wysoka jakość i dokładność układu - Możliwość samodzielnego zaprojektowania systemu - Wysoka cena - Obwody wykonywane na zamówienie - Niskie ceny - Wysoka jakość układów
FAE - Freely Available Electronics	Stosowanie ogólnodostępnych, miniaturowych elementów elektronicznych do umieszczenia wewnątrz wyrobów tekstylnych	<ul style="list-style-type: none"> - Dobrze opanowana technologia i produkcja - Szttywność konstrukcji - Dość duże gabaryty pojedynczych układów

Źródło: Publikacja[36].

Obecnie w nowoczesnych zastosowaniach tekstronicznych dąży się do stosowania innowacyjnych produktów typu FE. Przy wykorzystaniu tej technologii produkcji możliwe jest uzyskanie bardzo małych układów elektronicznych, całkowicie zintegrowanych ze strukturą tkaniny, które nie wpływają negatywnie na komfort użytkownika stroju. Jednak główne wady takich rozwiązań to niewielka dostępność włóknistych układów, nie w pełni opanowana technologia ich wytwarzania oraz niestabilność parametrów elektrycznych w czasie. Kolejnym problemem jest także ich niewielka wytrzymałość na narażenia powstające w trakcie użytkowania i konserwacji tego typu wyrobów, także ich dokładność oraz powtarzalność nie jest jeszcze dobrze poznana. Jednak wraz z intensywnie rosnącym postępem technologicznym popularność oraz dostępność układów włóknistych rośnie w szybkim tempie. Najprostszym oraz najbardziej popularnym sposobem łączenia elektroniki z tekstyliami jest metoda FAE, czyli stosowanie ogólnodostępnych układów elektronicznych, a następnie integrowanie ich z tekstyliami, najczęściej poprzez umieszczanie mikroukładów w odpowiednio zaprojektowanych dla nich kieszonkach. Wadami powyższego rozwiązania są sztywność oraz dość duże gabaryty układu, które mogą powodować dyskomfort u użytkownika takiego wyrobu, jednakże ogromna dostępność oraz różnorodność podzespołów elektronicznych powoduje, że metoda ta jest nadal często stosowana. Przy wytwarzaniu wyrobów tekstronicznych dla specjalistycznych zastosowań coraz częściej korzysta się z technologii ASIC, w której elementy wykonywane są zazwyczaj według indywidualnego projektu, na specjalne zamówienie, zatem cena ich produkcji jest dość wysoka, jednak dedykowane, zminiaturyzowane układy są dużo bardziej komfortowe dla adresata takiego urządzenia. Korzystanie z układów ASIC w produkcjach testowych lub małoseryjnych nie jest jeszcze opłacalne, ze względu na konieczność użycia zaawansowanych urządzeń technologicznych, a tym samym dość wysoki koszt wytworzenia pojedynczego układu.

5.4. ZASTOSOWANIA SYSTEMÓW TEKSTRONICZNYCH

Zaawansowane prace nad rozwojem inteligentnych materiałów oraz rosnąca miniaturyzacja elektroniki sprzyja realizacji coraz bardziej zaawansowanych projektów tekstronicznych. Na podstawie raportu, przygotowanego przez Global Industry Analyst, szacuje się, że rynek elektroniki noszonej, mogącej znaleźć zastosowanie w dziedzinie PPE - Personal Protective Equipment do 2015 roku osiągnie wartość 33 300 mln USD [37]. Zgodnie z przewidywaniami tekstronika będzie rozwijała się w takich dziedzinach jak:

- ratownictwo, ochrona osobista, bezpieczeństwo,
- ochrona zdrowia i medycyna,
- sport,
- wyroby sił zbrojnych,
- odzież użytkowa, rozrywka, materiały grzewcze, komunikacja,
- moda.

Obecne zastosowania układów tekstronicznych są bardzo szerokie. Wyroby elektroniki noszonej możemy zaobserwować w nowoczesnych ubiorach ratowniczych, gdzie odpowiedzialne są za monitorowanie parametrów fizjologicznych oraz środowiskowych ich użytkowników, zapewniając im w ten sposób bezpieczeństwo oraz wsparcie [38]. Ważną branżą, w której od lat istnieje ogromne zapotrzebowanie na wyroby najnowszych technologii jest wojsko. Realizowane tekstroniczne projekty militarne dotyczą inteligentnych materiałów, mikro i nanotechnologii, przenośnych układów czujników i autonomicznej komunikacji, które składają się na kompletny system pomiarowy wyposażenia munduru wojskowego. Kolejna branża, w której tekstronika bardzo szybko się rozwija to tzw. tekstylna elektronika użytkowa, której zadaniem jest poprawa funkcjonalności komercyjnie dostępnych wyrobów włókienniczych. Przykładowymi jej rozwiązaniami są kurtki zintegrowane z odtwarzaczami mp3, elastycznymi klawiaturami, oraz elastycznymi ogniwami słonecznymi wspomagającymi zasilanie całego układu, elastyczne telefony, odzież z zintegrowaną elektroniką medyczną itp. [39], [40]. Dzięki rosnącemu popytowi na tego typu produkty możemy być pewni, że tekstronika będzie się dalej błyskawicznie rozwijać.

5.4.1. WYROBY TEKSTRONIKI MEDYCZNEJ

Wraz z rosnącym postępem medycznym oraz cywilizacyjnym ludzie żyją coraz dłużej, jednak stan zdrowia osób w podeszłym wieku często jest niestabilny, dotyka ich wiele przewlekłych chorób, dlatego też monitoring odpowiednich parametrów fizjologicznych tej grupy społecznej może w dużym stopniu usprawnić ich leczenie. Wydatki państwa na ochronę zdrowia osób przewlekle chorych wynoszą w Europie około 60%, natomiast w USA 75%. Często hospitalizacja osób starszych nie jest konieczna, wystarczyłaby jedynie kontrola ich parametrów życiowych np. ciśnienia, pracy serca itp. Poprzez wykorzystanie przenośnych układów elektroniki medycznej, monitorujących te parametry, w które zostaliby wyposażeni pacjenci możliwe byłoby zmniejszenie nakładu finansowego niezbędnego do utrzymania szpitali. Jednostka ochrony zdrowia europejskiej komisji ICT (Information and Communication Technologies) w raporcie z 2010 roku oszacowała, że europejski rynek e-Zdrowia (eHealth) w 2008 r. wynosił 14,269 mln €, natomiast w 2012 ma osiągnąć wartość 15,619 mln €. Firmy, zaangażowane w rozwój rozwiązań przenośnej elektroniki medycznej to m.in. Equivalital (LifeMonitor) oraz Zephyr Technology Corporation (BioHarness BT) [37].

Pomiary, jakie dokonywane są przy użyciu przenośnych wyrobów elektroniki medycznej to m.in. rejestrowanie czynności oddechowej za pomocą aparatu zapisującego wychylenie klatki piersiowej, czyli pneumografia. Objętość powietrza w płucach jest różna w trakcie poszczególnych etapów oddychania, różnica ta wpływa na zmianę impedancji organizmu, która rejestrowana jest przy użyciu pary tekstylnych elektrod. Kolejnym istotnym parametrem fizjologicznym człowieka jest jego puls oraz wartość nasycenia krwi tlenem, pomiary tych właściwości mogą być dokonywane poprzez nieinwazyjną metodę, zwaną pulsoksymetrią. Polega ona na pomiarze absorpcji promieniowania elektromagnetycznego o dwóch różnych długościach fali (czerwonego 660 nm oraz podczerwonego 905, 910 lub 940 nm), co daje informację o poziomie nasycenia hemoglobiny tlenem. Jest ona istotna przy ocenie niewydolności oddechowej, w trakcie znieczulenia ogólnego oraz w trakcie akcji ratowniczych, gdzie monitoring serca jest wskazany [41]. Bardzo istotnym parametrem, który powinien być kontrolowany jest temperatura ciała człowieka oraz otoczenia, w którym się on znajduje. Na Rys. 4.1 przedstawione zostały przykładowe układy czujników stosowanych w medycznej elektronice noszonej, pozwalające na ciągły monitoring parametrów życiowych ich użytkowników. Pierwszym z nich jest pulsoksymetr, produkowany przez firmę Covidien, kontrolujący puls oraz utlenienie krwi, kolejny produkt to kamizelka LifeVest przenośny defibrylator projekt firmy Zoll. Urządzenie to stale monitoruje akcję serca pacjenta przy pomocy suchych elektrod. W przypadku wykrycia zagrażających życiu zaburzeń rytmu serca informuje o tym użytkownika i zaczyna akcję defibrylacji poprzez oddziaływanie na mięsień sercowy odpowiednim prądem. Ostatnia ilustracja przedstawia produkt firmy Electricfoxy przenośny czujnik pulsu oraz ciśnienia krwi. Jako grupę docelową producent wybrał aktywnych sportowców oraz użytkowników fitness. Urządzenie łączy się bezprzewodowo z dedykowanym oprogramowaniem zainstalowanym w telefonie komórkowym.



Rysunek 5. Pulsoksymetr, LifeVest, czujnik pulsu.

Źródło: publikacje [42], [43], [44].

5.4.2. WYROBY TEKSTRONIKI RATOWNICZEJ I WOJSKOWEJ

Inteligentne wyroby tekstroniczne, przeznaczone do zastosowań ratowniczych i wojskowych, wyposażone są najczęściej w inteligentne materiały oraz układy monitorujące parametry fizjologiczne oraz biomechaniczne człowieka. Czujniki, wykorzystywane do tych pomiarów, powinny być zintegrowane z tekstyliami w taki sposób by pomiar wykonywany był w sposób ciągły. Zaawansowane systemy wyposażone są dodatkowo w bezprzewodowy system transmisji danych, który umożliwia przekazywanie wyników pomiarów do centrum diagnostycznego. Na podstawie kompleksowej analizy tych sygnałów

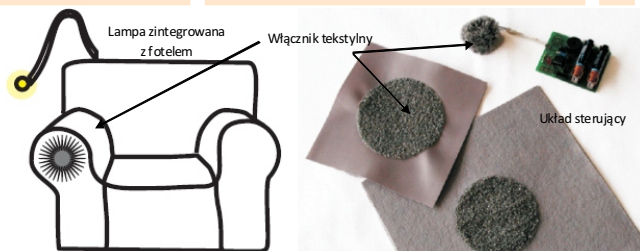
osoba nadzorująca akcję ratowniczą lub diagnostyczną może znać aktualny stan zdrowia użytkownika takiej odzieży, np. ratownika lub pacjenta.

Od wielu lat nakłady na rozwój inteligentnej odzieży w siłach zbrojnych utrzymują się na bardzo wysokim poziomie. Zaawansowane prace nad prototypami nowego umundurowania toczą się w USA, Francji, Południowej Korei oraz Wielkiej Brytanii. Od 2006 roku jednostki badawcze armii USA zaangażowane są w realizację projektu Future Force Warrior, mającego na celu stworzenie munduru przyszłości, zintegrowanego z osobistym komputerem, sensorami różnych wielkości fizycznych i fizjologicznych, źródłami energii, systemem komunikacji bezprzewodowej, wyświetlaczem oraz wbudowanym mikrofonem. Oprócz zintegrowanej elektroniki wyrób ten spełnia wszystkie wymogi dotyczące zapewnienia bezpieczeństwa oraz wygody użytkownika m.in. kuloodporność oraz niższą wagę. Mundury, w które byli wyposażeni żołnierze walczący w Iraku i Afganistanie, ważyły przy pełnym oprzyrządowaniu około 55 kg, natomiast nowy ubiór wojownika przyszłości ma być o ponad połowę lżejszy, dzięki zastosowaniu nowoczesnych materiałów [37], [45].

W latach 2005-2010 w ramach VI Programu Ramowego realizowany był projekt ProeTEX: MicroNanoStructured fibre systems for Emergency-Disaster Wear, którego celem było stworzenie inteligentnego stroju przeznaczonego dla służb ratunkowych uczestniczących w katastrofach, straży pożarnej i służb cywilnych. Konsorcjum naukowe składało się z dwudziestu trzech europejskich partnerów, głównie z Belgii, Francji i Włoch, będących liderami w dziedzinie zastosowania elektroniki zintegrowanej z tekstyliami. Jednym z partnerów był także zespół naukowców z Politechniki Łódzkiej. W ramach projektu opracowano kompleksowy ubiór, wyposażony m.in. w czujniki temperatury, oddechu, pulsu, stężenia substancji szkodliwych chemicznych [46].

5.4.3. WYROBY TEKSTRONIKI UŻYTKOWEJ I SPORTOWEJ

Doświadczenie zdobyte przez naukowców z MIT w trakcie realizacji projektów z tematyki zintegrowanej elektroniki noszonej zaowocowało w 2001 roku wyodrębnieniem się grupy badawczej i powstaniem firmy spin-out - Intelligent Fashion Machines, pod kierownictwem Maggie Orth. Firma ta stworzyła wiele praktycznych realizacji dotyczących elektronicznych tekstyliów, adaptując elektroprowadzące tkaniny oraz włókniny np. do nowoczesnych włączników Plush TouchTM, przedstawionych na Rys. 4.2. Ciągła współpraca ze znanymi i dynamicznie rozwijającymi się przedsiębiorstwami, takimi jak Dupont, Boeing, The North-Face, Motorola, pozwala firmie na realizację wielu ciekawych projektów [47].



Rysunek 6. Przykład rozwiązania z zastosowaniem układu Plush TouchTM Sensors.

Źródło: publikacje[47].

Miękkie, tekstylne włączniki Plush Touch™ montowane są w fotelach, lampach, dywanach, tapetach, poduszkach, a także w zabawkach dla dzieci, pozwalając na zrezygnowanie ze sztywnych i mniej komfortowych przełączników. Powyższe rozwiązanie okazało się przełomem, nie tylko w dziedzinie tekstyliów, ale i także rozwoju nowoczesnej elektroniki.

Pierwszym, komercyjnie dostępnym produktem tekstronicznym była powstała w 2000 roku kurtka Levis ICD+, przeznaczona dla młodych ludzi, korzystających z przenośnej elektroniki. Wyposażona ona była w specjalne kieszenie przeznaczone m.in. na telefon komórkowy Philips Xenium oraz odtwarzacz mp3, które połączone były ukrytymi kanałami kablowymi ze słuchawkami oraz modułem sterującym, pozwalającym na przełączanie się między urządzeniami oraz na kontrolowanie poszczególnych ich funkcji [11].



Rysunek 7. Pierwszy, komercyjny produkt elektroniki noszonej - kurtka Levis ICD+.
Źródło: publikacja[11].

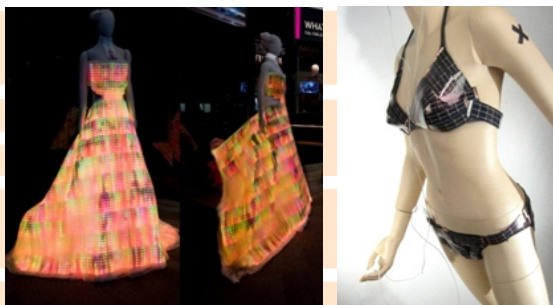
Kolejnymi firmami, które zaczęły inwestować w technologię elektroniki noszonej, były fińska Reima, powstała podczas współpracy Tampere University of Technology z Nokią, realizując w tym czasie wspólny projekt Smart Shout oraz utworzona w 2000 roku Softswitch zajmująca się realizacją tekstylnych przełączników w oparciu o elektroprzewodzące oraz rezystywne włókna i włókny. Efekt pracy firmy Softswitch można było obejrzyć w 2002 roku, kiedy to wspólnie z Burton Snowboards zaprezentowali kurtkę snowboardową Analog Clone MD, wyposażoną w tekstylne panele kontrolne do sterowania mini-odtwarzaczem Sony [48]. W grudniu 2002 do konsorcjum dołączyła kolejna firma Apple, która doprowadziła do powstania bardziej nowoczesnego produktu kurtki Amp, przeznaczonej do integracji z iPod'em [11].

W ostatnich czasach popularnymi stały się także wyroby służące ochronie użytkowników przed gwałtownie rozprzestrzeniającym się promieniowaniem elektromagnetycznym. Firma Silverell produkuje bluzy, kominiarki, spodnie oraz inne wyroby włókiennicze, które zgodnie z danymi umieszczonymi na stronie internetowej, chronią użytkownika przed falami EM. Udowodniona została 99-procentowa redukcja pola elektromagnetycznego w zakresie częstotliwości 800 MHz - 18 GHz [49]. Przykładowe wyroby zostały przedstawione na Rysunku 8.



Rysunek 8. Wyroby chroniące przed promieniowaniem elektromagnetycznym.
Źródło: publikacja [49].

Kolejną dziedziną, w której w ostatnich latach odnotowano znaczny wzrost zainteresowania inteligentnymi tekstyliami, jest moda. Stroje wyposażone w świecące diody LED są bardzo popularne wśród gwiazd show-biznesu. Firma CuteCircuit z Wielkiej Brytanii zaprojektowała suknię dla pewnej artystki, w którą zostało wkomponowanych 24 000 kolorowych diod LED sterowanych z iPoda [37]. Bardzo nowatorskim pomysłem jest także propozycja projektanta Andrew Schneidera, który przedstawił solarne bikini, umożliwiające doładowanie telefonu podczas wypoczynku na plaży. Wyroby zostały przedstawione na Rysunku 9.



Rysunek 9. Suknia z diodami LED oraz solarne bikini.
Źródło: publikacje [50], [51].

Nowoczesna odzież sportowa coraz częściej wykorzystuje inteligentne materiały, z których wykonywane są stroje dla zawodowych sportowców. Kostiumy kąpielowe, produkowane przez takie firmy jak Speedo (LZR Racer) oraz Arena (Powerskin), dzięki zaawansowanym technologiom produkcji materiałów, w znacznym stopniu poprawiły opływowość ich użytkowników, pomagając w ten sposób zredukować wyniki o około 2 procent, co wpłynęło na ustanawianie nowych rekordów m.in. w trakcie igrzysk olimpijskich w Pekinie w 2008 roku [37], [52]. Kolejną dyscypliną sportową, w której w ostatnich latach odnotowano wiele

rekordów sportowych jest łyżwiarstwo szybkie. Dzięki nowościom technologicznym możliwym stało się zaprojektowanie i wytworzenie zaawansowanych strojów dla zawodowych sportowców. Obecnie nie tylko sprawność zawodników wpływa na wyniki, istotne znaczenie ma także dostęp do nowoczesnych technologii. Kolejnym tekstronicznym wyrobem znajdującym zastosowanie w sporcie są tekstylia grzewcze, których produkcja w przeciągu ostatnich 4-5 lat wzrosła o ponad 50-procent. Standardowe produkty wyposażone w elementy grzejne to kurtki, kamizelki, spodnie oraz rękawiczki przeznaczone dla zamożnych pasjonatów sportów zimowych i motocyklowych, produkowane przez takie firmy jak Gerbing oraz Austrian Alpenheat [37].

5.5. PODSUMOWANIE

Obecnie koszt zaprojektowania oraz produkcji inteligentnej odzieży użytkowej jest jeszcze dość wysoki, jednak z roku na rok jej cena jednostkowa maleje. Zaawansowane wyroby od lat znajdują zastosowania w takich dziedzinach jak wojsko, medycyna, sport i moda, gdzie bardziej liczy się jakość i funkcjonalność, a czasem i oryginalność produktu niż jego cena. Idealny wyrób tekstroniczny zapewne nie powstanie w najbliższym czasie, jest jeszcze wiele problemów, które należy rozwiązać, jednak szybko rozwijająca się elektronika, włókiennictwo oraz technologia montażu, a także zaangażowanie w prace nad tekstroniką wielu ośrodków naukowych na świecie pozwala myśleć perspektywicznie o nadchodzących postępach na tej płaszczyźnie wiedzy. Dzięki postępującej technologii MEMS, pozwalającej na integrację w jednej strukturze kilku funkcji pomiarowych, możliwym staje się miniaturyzacja systemów tekstronicznych oraz ich łatwiejsza integracja w strukturę tkaniny.

Realizacja projektów Viking Life Saving Equipment, Globe Firefighter, Safe@Sea, My Heart, Wealthy, Context, Myotel, RAE Systems, Proetex i innych wpłynęła w bardzo dużym stopniu na postęp w dziedzinie tekstroniki, poprzez wprowadzenie nowych rozwiązań produktów tekstronicznych do zastosowań medycznych, ochrony zdrowia i poprawy bezpieczeństwa [37].

Zgodnie z opinią prof. Gnietka z Politechniki Łódzkiej oraz prof. Jakubowskiej z Politechniki Warszawskiej duży potencjał dla rozwoju tekstroniki stanowi coraz szybciej rozwijająca się elektronika drukowana, która umożliwia nadruk organicznych jak i nieorganicznych warstw na elastycznych podłożach [23], [53]. Efektem takiego procesu są niedrogie produkty o stosunkowo łatwej i opanowanej technologii produkcji. Dzięki możliwości nadruku na różnego typu podłożach, takich jak elastyczne folie, papier, tkaniny, możemy uzyskać lekkie elementy elastyczne, które mogą być w prosty sposób zaimplementowane w strukturę ubioru [53]. Ogólnodostępne jak i autorskie pasty do sitodruku oraz tusze do technologii inkjet, bazujące zarówno na organicznych jak i nieorganicznych materiałach, umożliwiają obecnie wytwarzanie różnego rodzaju grubowarstwowych układów elektronicznych, sensorów, a nawet wyświetlaczy i ogniw słonecznych, co pozwala na wykonanie kompletnego systemu pomiarowego w jednej technologii wytwarzania. Najstarszą i największym stopniu opanowaną obecnie technologią wytwarzania drukowanych elementów elektronicznych jest sitodruk, który w porównaniu z innymi technikami druku jak inkjet, fleksografia, gravura jest najbardziej konkurencyjny. Zarówno materiały podłożowe, pasty jak i aparatura wykorzystywana w tej technologii jest niedroga i rozpowszechniona, dzięki czemu możliwe jest masowe produkowanie tanich układów [53]. W związku z powyższymi zaletami szacuje się, że technologia elektroniki drukowanej będzie coraz częściej wykorzystywana w układach, w których istotnymi są cena oraz szybkość

produkcji, a nie tylko skala integracji i miniaturyzacja. W zależności od zastosowania układu tekstronicznego powinniśmy zdecydować jaka metoda łączenia będzie dla konkretnego projektu najodpowiedniejsza. Należy uwzględnić wszystkie wady jak i zalety powyższych propozycji, tak by dobrać jak najbardziej optymalne rozwiązanie.

LITERATURA

1. Słownik Języka Polskiego PWN. [Online] [Zacytowano: 08 06 2012.] <http://sjp.pwn.pl>.
2. Materiały inteligentne. [Online] [Zacytowano: 08 06 2012.] <http://www.matint.pl/>.
3. Takagi T. Present State and Future of the Intelligent Materials and Systems in Japan. *Journal of Intelligent Materials syst. Struct.* 10/1999.
4. G. Bartkowiak. "Kierunki rozwoju odzieży inteligentnej". *Polska : Bezpieczeństwo Pracy - Nauka i Praktyka*, 2010. 0137-7043.
5. Billingham M. Starner T. Wearable devices: new way to manage information. *IEEE Computer*. 1999, Tom vol.32 (1), pp.57-64.
6. K. Gniotek Z. Stempień, J. Zięba. Tekstronika-nowy obszar wiedzy. *Przegląd Włókienniczy*. 2/2003, 1731-8645.
7. G. Owczarek K. Łęzak, G. Gralewicz. Koncepcja monitorowania wybranych parametrów fizjologicznych podczas pracy w odzieży strażackiej. *Bezpieczeństwo Pracy - Nauka i Praktyka*. 9/2007, 0137-7043.
8. M. Idzik. Nowatorskie zastosowania tekstyliów. *Przegląd - Włókno, Odzież, Skóra*. 7/2005, 1731-8645.
9. J. Healey R. Picard. StartleCam: A cybernetic wearable camera. *Proceedings of the 2nd ISWC*. 10/1998.
10. New nomads: An exploration of wearable electronics by Philips. Rotterdam : 010 Publishers, 2000. 90-6450-422-9.
11. Fibretronic. [Online] [Zacytowano: 12 07 2012.] <http://fibretronic.com/>.
12. M. Sibiński S. Walczak, E. Raj. Elastyczne czujniki temperatury w zastosowaniach tekstronicznych. [aut. książki] M. Jakubowska M. Sitek. *Drukowana elektronika w Polsce*. Warszawa : Tele & Radio Research Institute, 2010.
13. Bendkowska W. Tekstylna inteligentna - przegląd zastosowań, cz. II: Tekstylna elektroprowadząca i tekstylna zintegrowana z mikrosystemami elektronicznymi. *Przegląd Włókienniczy*. 9/2002, 1731-8645.
14. Gniotek K. Krucińska I. The basic problems of textronics. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2004, Tom vol.12, no.1 (45).
15. R. Kisiel A. Bajera. *Podstawy konstruowania urządzeń elektronicznych*. Warszawa : Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 1999. 83-7207-080-6.
16. IFE - Wearable Computing. [Online] ETH Zurich. [Zacytowano: 08 06 2012.] <http://www.wearable.ethz.ch/>.
17. al. E.R.Post et. E-broidery: Design and fabrication of textile based computing. *IBM Systems Journal*, NOS 3&4. 39/2000, 0018-8670.

18. R-Stat. [Online] [Zacytowano: 09 06 2012.] <http://www.r-stat.com>.
19. Bekaert. [Online] [Zacytowano: 09 06 2012.] <http://www.bekaert.com>.
20. Shieldex Trading - Yarns and Fillers. [Online] [Zacytowano: 09 06 2012.] http://www.shieldextrading.net/yarn_and_filler.html.
21. Fino H. Textiles con efectos de proteccion electromagnetica. Aitex Review. 2003.
22. al. F. Carmona et. Material having a resistivity with a positive temperature coefficient. 87 05781 Francja, 15 04 1987.
23. K. Gniotek I. Frydrych. Systemy tekstroniczne w mechatronice. [aut. książki] S. Wiak. Mechatronika - tom 2. Łódź : brak nazwiska, 2010.
24. Częstochowski J. Akumulatory w praktyce, cz. I. Elektronika dla Wszystkich. 08/2002.
25. Komputer Świat - Jak działa akumulator. [Online] [Zacytowano: 09 06 2012.] <http://www.komputerswiat.pl>.
26. E-STARS Project. [Online] [Zacytowano: 09 06 2012.] <http://www.estars-project.org>.
27. InStep Nano Power. [Online] [Zacytowano: 09 06 2012.] <http://www.instepnanopower.com/>.
28. Walczak S. fotografia własna. 2012.
29. S. Walczak M. Sibiński. Układ regulatora ładowania akumulatora Li-Ion, zwłaszcza dla zastosowań tekstronicznych. P-399044 Polska, 30 04 2012.
30. al. M. Green at. Solar cell efficiency tables (version 39). Progress in photovoltaics: Research and applications. 2012, Tom 20, doi:10.1002/pip.2163.
31. Uni-Solar. [Online] [Zacytowano: 11 06 2012.] www.uni-solar.com.
32. Power Film. [Online] [Zacytowano: 11 06 2012.] www.powerfilmsolar.com.
33. Konarka. [Online] [Zacytowano: 11 06 2012.] www.konarka.com.
34. Nawrocki W. Rozproszone systemy pomiarowe. Warszawa : Wydawnictwo Komunikacji i łączności, 2006.
35. Instytut Elektroniki PŁ. [Online] [Zacytowano: 10 06 2012.] http://eletel.p.lodz.pl/tp2009/strazak_w_akcji.pdf.
36. I. Krucińska. Diagnostyka potencjału jednostek badawczo-rozwojowych i procesu komercjalizacji badań. Łódź : Społeczna Wyższa Szkoła Przedsiębiorczości i Zarządzania w Łodzi, 2007. 978-83-60230-17-6.
37. C. Dalsgaard A. Jensen. White paper on Smart garments: a market overview of intelligent textile technologies in apparel. Dania : Ohmatex, 2011.
38. Gniotek K. Gołębiowski J., Leśnikowski J. Temperature measurements in a textronic fireman suit and visualization of the results. Fibres & Textiles in Eastern Europe. 2009, Tom vol.17, no.1 (72).
39. Masłowski E. Odziani w komputer. Przegląd - Włókno, Odzież, Skóra. 10/2004, 1731-8645.
40. M. Śmiałkowska-Opałka. Tekstylna łącznikiem z mobilnymi urządzeniami elektronicznymi. Techniczne Wroby Włókiennicze. 1-2/2008, 1230-7491.

41. MONTE - Monitoring Telemedyczny. [Online] [Zacytowano: 11 06 2012.] <http://www.monte.amu.edu.pl/pulsoksymetr.html>.
42. Covidien. [Online] [Zacytowano: 11 06 2012.] <http://www.covidien.com>.
43. Zoll - Life Vest. [Online] [Zacytowano: 10 06 2012.] <http://lifevest.zoll.com>.
44. Electricfoxy. [Online] [Zacytowano: 10 06 2012.] <http://www.electricfoxy.com>.
45. Gizmag. [Online] [Zacytowano: 11 06 2012.] <http://www.gizmag.com/go/3062/>.
46. Proetex. [Online] [Zacytowano: 08 06 2012.] http://www.proetex.org/first_prototypes.htm.
47. International Fashion Machines. [Online] [Zacytowano: 09 06 2012.] <http://www.ifmachines.com/tech.html>.
48. [Online] [Zacytowano: 11 06 2012.] <http://www.minidisc.org>.
49. Silver - World of Silver. [Online] [Zacytowano: 09 06 2012.] <http://www.fine-silver-productsnet.com/esmog4.html>.
50. CuteCircuit. [Online] [Zacytowano: 12 06 2012.] <http://www.cutecircuit.com/>.
51. [Online] [Zacytowano: 12 06 2012.] <http://www.gizmag.com/solar-bikini-goes-into-limited-production/18920/>.
52. SportFan. [Online] [Zacytowano: 13 06 2012.] <http://www.sportfan.pl/>.
53. Jakubowska M. Co to jest elektronika drukowana? [aut. książki] red. M. Jakubowska J. Sitek. Elektronika drukowana w Polsce. Warszawa : Tele & Radio Research Institute, 2010.

