

mgr inż. KRZYSZTOF ŁĘŻAK (ORCID: 0000-0002-5538-6276)
mgr inż. AGNIESZKA GRESZTA (ORCID: 0000-0003-0183-5301)
Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
Kontakt: krliez@ciop.lodz.pl
DOI: 10.5604/01.3001.0013.2409

Aktywne elementy świecące w odzieży ostrzegawczej a ocena zgodności UE

Fot. Poweredlightsafety.com



Niedostateczna indywidualna widzialność pracowników w różnych środowiskach pracy oraz uczestników ruchu drogowego (np. w warunkach nocnych, podczas złej pogody) jest wciąż jedną z głównych przyczyn wypadków na drogach z udziałem pieszych oraz kolizji ludzi z maszynami. Zarówno w działalności zawodowej, jak i pozazawodowej jedynym sposobem podniesienia indywidualnej widzialności człowieka pozostaje stosowanie odzieży o intensywnej widzialności (ostrzegawczej) i elementów odblaskowych.

Dynamicznie rozwijający się rynek wielu typów niezarowych źródeł światła, o małych rozmiarach, często elastycznych, emitujących światło o różnych barwach i parametrach fotometrycznych pozwala na aplikację tych elementów świecących do odzieży ostrzegawczej.

W artykule przedstawiono przykłady zastosowań elektroluminescencyjnych źródeł światła (diod LED, El wire, El tape, El panel) oraz światłowodów optycznych w odzieży ostrzegawczej.

Analiza obowiązujących normatywnych wymagań szczegółowych oraz stan prawny w zakresie stosowania odzieży ostrzegawczej z aktywnymi źródłami światła wskazuje, że nie są one wystarczające do przeprowadzania badań i oceny zgodności UE tego typu odzieży ochronnej.

Słowa kluczowe: odzież o intensywnej widzialności, odzież ochronna, odzież inteligentna

Active luminous elements in the high visibility clothing and EU conformity assessment

The insufficient, individual visibility of employees in various work environments and road traffic participants (e.g. in the night conditions, during bad weather), is still one of the main causes of road accidents involving pedestrians, and collisions between people and machines. Both in professional and non-professional activities, the use of high visibility (warning) clothing and reflective elements seems to be the only way to increase the individual visibility of a human.

A dynamically developing market of various types of non-incandescent light sources with small size, often flexible, emitting light with different colors and photometric parameters allows the application of these luminous elements to the warning clothing.

The article presents examples of electroluminescent light sources (LED diodes, El wire, El tape, El panel) and optical fibers applied in the warning clothing.

The analysis of the current detailed normative requirements and the legal status regarding the use of warning clothing with active light sources indicates that they are not sufficient to carry out the tests and EU conformity assessment of this type of protective clothing.

Keywords: high visibility clothing, protective clothing, intelligent clothing

Wstęp

Współczesne środowisko pracy to nierzadko wielozadaniowe obszary robocze, w których działają wspólnie ludzie, pojazdy i maszyny. W takich warunkach może się zdarzyć, że – na skutek braku lub słabego oświetlenia, bądź złych warunków atmosferycznych – widzialność¹ pracowników drastycznie spadnie. Może to być powodem poważnego zagrożenia, np. kolizji człowieka z maszynami. Szanse na uniknięcie urazów będących skutkiem takiej sytuacji są raczej niskie, a często bywają tragiczne.

Niedostateczna widzialność osób, tj. słaba ich wyróżnialność z tła obserwowanego obszaru, jest również jedną z głównych przyczyn wypadków z udziałem pieszych na drogach. W Polsce w 2017 r., podobnie jak w latach poprzednich, najwięcej wypadków z udziałem pieszych i najtragiczniejsze ich skutki zanotowano w miesiącach jesienno-zimowych (październik-grudzień), gdy wcześniej zapada zmrok, występują zamglenia i spada widoczność² [1]. W tym okresie doszło do 7911 zdarzeń najechania na pieszego – zginęło w nich 8861 osób, a 7473 zostało rannych.

Zarówno w działalności zawodowej, jak i pozazawodowej jedynym sposobem na poprawę indywidualnej widzialności człowieka pozostaje stosowanie odzieży (ostrzegawczej) o intensywnej barwie i wyposażonej w elementy odblaskowe.

Obecnie odzież ostrzegawcza wytwarzana jest z materiałów, które dzięki swoim właściwościom poprawiają widzialność jej użytkownika zarówno w dzień, jak i w nocy w sposób pasywny, tj. dzięki zjawisku fluorescencji barwników materiałów tła i odbiciu światła kierunkowego od elementów mikropryzmatycznych, naniesionych na taśmy i akcesoria odblaskowe. Jednak wobec coraz bardziej wzmożonego ruchu drogowego, stale wzrastającej liczby pojazdów i prędkości, z którymi się poruszają, wiele środowisk zawodo-

¹ Widzialność – możliwość widzenia oddalonych przedmiotów i warunki zapewniające tę możliwość (<https://sjp.pwn.pl/sjp/widzialnosc;2535786.html>).

² Widoczność – możliwość widzenia w danej przestrzeni, w danych warunkach (<https://sjp.pwn.pl/slovníki/widoczno%C5%9B%C4%87.html>).

Fot. 1. Przykłady diod typu LED SMD⁴

Photo 1. Examples of LED SMD diodes

wych, zwłaszcza pracownicy budowy i remontów dróg, obsługa autostrad, jak również Inspekcja Transportu Drogowego i policja sygnalizują potrzebę zwiększenia widzialności dzięki wyposażeniu pracowników w odzież ostrzegawczą z aktywnymi elementami świecącymi.

Sprzyja temu bardzo dynamicznie rozwijający się w ostatnim czasie rynek wyrobów elektronicznych, w tym wielu typów niezarowych źródeł światła o różnej mocy, barwie, małych rozmiarach, często elastycznych. Coraz częściej można spotkać wyroby tekstylne, odzieżowe i inne wyposażenie noszone na ciele, połączone z elementami świecącymi lub będące samodzielnym źródłem światła. Należą one do wyrobów określanych dziś jako tekstylia inteligentne bądź jako inteligentna odzież (ang. *smart textiles, e-textiles*).

Pailes-Friedman z Instytutu Pratta stwierdza, że „to, co sprawia, że inteligentne tekstylia są rewolucyjne, to fakt, że mają zdolność do robienia wielu rzeczy, których tradycyjne tekstylia nie potrafią, w tym komunikowania się, przekształcania, przewodzenia energii, świecenia i innych” [2].

Najnowszy raport Cientifica Research, dotyczący rynku wyrobów tekstylnych, firm produkujących odzież i technologii elektronicznych, identyfikuje trzy różne generacje inteligentnych wyrobów odzieżowych³.

- odzież z doczepionym urządzeniem
- odzież z urządzeniem wbudowanym w jej konstrukcję
- odzież będąca urządzeniem (np. odzież z pamięcią kształtu, dopasowująca się do użytkownika, zmieniająca właściwości w zależności od warunków otoczenia).

Analiza ofert rynkowych odzieży ostrzegawczej, wyposażonej w aktywne źródła światła, coraz częściej wskazuje, że wpisują się one w te kategorie, wychodzą poza sferę prototypów i stają się praktyką.

W artykule przedstawiono elektroluminescencyjne źródła światła oraz światłowody optyczne, mogące znaleźć zastosowanie jako aktywne elementy świecące w odzieży ostrzegawczej. Przybliżono także aktualny stan wymagań dla

tego typu odzieży ochronnej w kontekście badania typu UE.

Elektroluminescencyjne źródła światła w odzieży ostrzegawczej

Integracja elementów świecących z odzieżą prowadzona jest na dwa zasadnicze sposoby:

- zamocowanie na odzieży elementów świecących jako niezależnych urządzeń elektronicznych
- zamocowanie płaskich lub włóknistych elementów świecących na materiale włókienniczym lub wbudowanie ich w jego strukturę.

Obecnie bez względu na to, jaki sposób aplikacji zostanie zastosowany, najczęściej wykorzystywane są do tego celu różnego rodzaju elektroluminescencyjne źródła światła. Należą one do IV generacji sztucznych źródeł światła (po płomieniu, lampach żarowych i lampach wyładowczych) wykorzystywanych przez człowieka.

Elektroluminescencja to zjawisko emisji fal świetlnych – luminescencji (inaczej zimne świecenie, jarzenie) – w ciałach stałych i gazach (tzw. luminoforach) pod wpływem przepływu prądu elektrycznego (pola elektrycznego). Jej efektem jest promieniowanie widzialne o natężeniu większym niż promieniowanie cieplne w danej temperaturze, pod warunkiem, że czas trwania tego promieniowania znacznie przewyższa okres fali emitowanej. Tym samym jest to promieniowanie wywołane przyczynami innymi niż wzrost temperatury emitującego je źródła [3].

W pierwszych latach prób praktycznego zastosowania tego zjawiska elektroluminescencyjne (EL) źródła światła charakteryzowały się zbyt niską trwałością eksploatacyjną, a zwłaszcza słabą odpornością na wilgoć [4]. Od połowy lat 90. ub. w. nastąpił znaczny postęp w tej dziedzinie, a później dynamiczny wzrost komercyjnych zastosowań świecących struktur EL.

Obecnie najczęściej stosowanymi elektroluminescencyjnymi źródłami światła, które znajdują zastosowanie w płaskich materiałach tekstylnych i wyrobach odzieżowych, są:

- diody LED (ang. *Light Emitting Diode*)
- koaksjalne, elektroluminescencyjne przewody świecące (ang. *EL wire*)
- płaskie taśmy i panele z warstwą elektroluminescencyjną (ang. *EL tape, EL panel*).

Dual In-line Package (DIP)

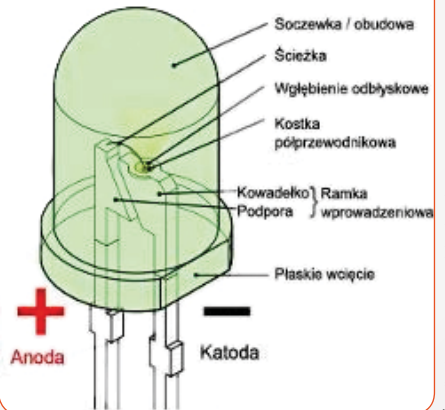
Rys. Przykład budowy diod typu LED DIP⁴

Fig. An example of LED DIP construction

Diody LED

Diody LED to źródła światła, w których świecenie jest wynikiem rekombinacji promienistej nośników (dziur i elektronów) w spolaryzowanym, pod wpływem prądu przepływającego w kierunku przewodzenia złącza p-n [5-6], czyli połączenia dwóch warstw materiałów półprzewodnikowych typu p i n. Przechodzenie elektronów z wyższego poziomu energetycznego na niższy na złączu p-n powoduje wydzielenie energii w postaci światła (fotonów). Dzięki wytwarzaniu półprzewodników o regulowanym udziale procentowym poszczególnych pierwiastków składowych, diody LED mogą emitować światło o praktycznie dowolnej barwie.

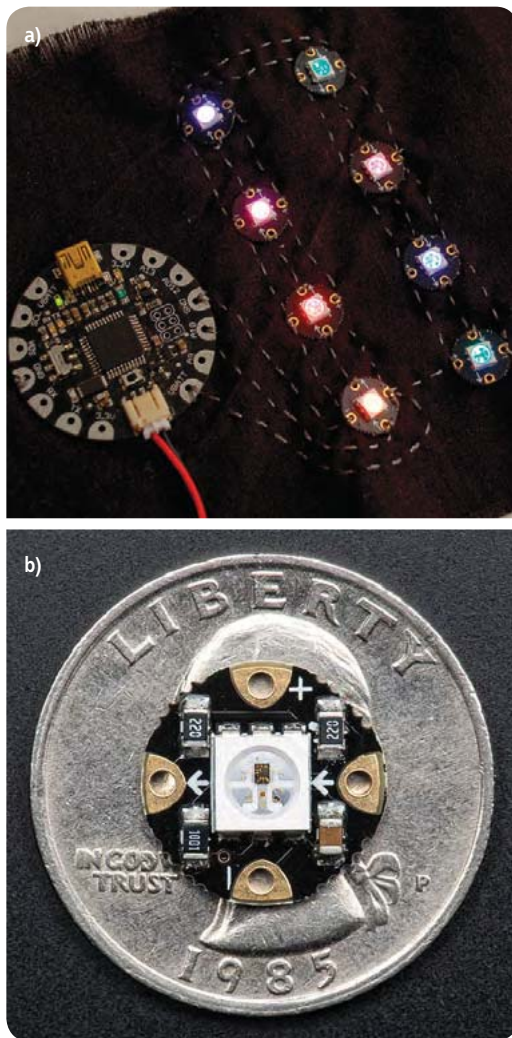
Istnieją dwie podstawowe konstrukcje diod LED. Różnice w nich wynikają ze sposobu, w który kostka półprzewodnikowa LED, analogiczna do żarnika w tradycyjnej żarówce, umieszczona jest w urządzeniu. Konstrukcja może być prosta, jak w przypadku diod typu LED DIP (ang. *Dual In-Line Package*, rys.), bądź złożona – w celu sprostania różnym celom, jak diody typu LED SMD (ang. *Surface Mounted Device*, fot. 1.).

Diody LED DIP były pierwszymi niezależnymi urządzeniami elektronicznymi, zastosowanymi w celu oświetlenia elementów odzieży. Wynikało to przede wszystkim z ich małych wymiarów, łatwego montażu, niskiego poboru mocy oraz masowej produkcji.

Do znacznie bardziej wszechstronnego zastosowania diod przyczyniło się wynalezienie

³ <http://www.innovationintextiles.com/new-report-smart-textiles-and-wearables-markets-applications-and-technologies> (dostęp 27.10.2017 r.).

⁴ Źródło: <https://www.gitmarket.pl/porownanie-i-roznicze-miedzy-technologiami-led-dip-vs-smd-vs-cob-vs-mcob.html> (dostęp z dnia 25.10.2017 r.).



Fot. 2. Moduły z szeregowo podłączonymi diodami typu LED SMD RGB (a) i sterownikiem wszytym w tkaninę za pomocą nici przewodzącej zastosowany w świecącym krawacie. Dioda na tle awersu monety (b) obrazuje skalę wielkości elementu świecącego⁵

Photo 2. The modules with serially connected diodes LED SMD RGB types (a) and a controller sewn into the woven fabric by means of the conductive thread used in a glowing tie. A diode on the obverse of coin (b) depicts the size scale of the luminous element

nie modelu LED SMD. Montowane na płasko w układzie scalonym (ang. *chip*) są znacznie mniejsze od modelu DIP, mogą emitować różne barwy światła w kombinacji kolorów czerwony-zielony-niebieski (*red – green – blue*) w obrębie jednego urządzenia, tj diody LED SMD RGB [7].

To właśnie te cechy oraz możliwość ich elastycznego łączenia przesądza o ich zastosowaniu w odzieży z zachowaniem jej układalności na ciele użytkownika na akceptowalnym przez niego poziomie.

Na fot. 2. przedstawiono przykład modułu z diodami typu LED SMD RGB, zaprojektowany specjalnie do stosowania w wyrobach odzieżowych. W module wykonanym na tkaninie zainstalowano szeregowo diody ze zintegrowanym sterownikiem, połączone nicią przewodzącą. Do obsługi diod (ustawienia barw światła i se-

⁵ Źródło: <https://botland.com.pl/466-inteligentne-ubrania> (dostęp z dnia 25.10.2017 r.).



Fot. 3. Model kamizelki ostrzegawczej z pojedynczymi diodami LED, umieszczonymi na taśmach odbłaskowych⁶
Photo 3. Model of warning vest with single LED diodes placed on reflective tapes

kwencji wyświetlania) dołączono jeden mikrokontroler (o średnicy 12,5 mm).

Takie rozwiązanie znalazło zastosowanie również w odzieży ostrzegawczej, m.in. w kamizelkach i kurtkach ostrzegawczych, gdzie diody LED zainstalowano na powierzchni taśm odbłaskowych (fot. 3 i 4).

W 2006 r. jeden z producentów źródeł światła zaprezentował na targach elektroniki użytkowej Internationale Funkausstellung (IFA) odzież z innowacyjną technologią systemów świecących, które zostały wykonane w formie matrycowego, elastycznego układu kolorowych diod, w pełni zintegrowanych z podłożem tekstylnym. Taki układ (podstawowa matryca miała wymiary 20 x 20 cm) umożliwił wyświetlanie wzorów w różnych kolorach i kształtach. Elektronika, baterie i matryce LED zostały w pełni zintegrowane i ukryte dla obserwatora oraz użytkownika odzieży⁷.

W 2015 r. na targach Society for Information Display w San Jose w Stanach Zjednoczonych naukowcy z Holst Center w laboratorium CMST na Uniwersytecie w Gandawie zaprezentowali pierwszą na świecie sprężystą – mechanicznie rozciągliwą matrycę cienkowarstwowych, tranzystorowych diod LED (ang. *LED active matrix*), zalaminowaną na dzianinie⁸. Rozwiązanie to uzyskano dzięki zastosowaniu nowej technologii meandrowego łączenia diod (ang. *meander wiring technology*). Diody LED są wytwarzane

⁶ Źródło: <http://www.wildsaver168.com/security-and-protection-system/led-safety-vest/working-uniform-for-workers.html> (dostęp z dnia 18.05.2018 r.).

⁷ <https://newatlas.com/go/6074/> (dostęp z dnia 26.10.2017 r.).

⁸ <http://www.eenewseurope.com/news/imec-laminates-stretchable-led-display-garments> (dostęp z dnia 26.10.2017 r.).



Fot. 4. Model kamizelki ostrzegawczej dla funkcjonariuszy Policji z diodami LED zalaminowanymi w taśmie odbłaskowej⁹

Photo 4. Model of warning vest for Police officers with LED diodes laminated in a reflective tape

na podłożu poliamidowym (TFT) i zakapsułkowane w silikonie, co pozwala na laminowanie wyświetlaczy na tkaninach i dzianinach, które można prać. Poszczególne diody w tej matrycy umieszczone zostały w odległości 1 mm. Jednostkowe połączenie między sąsiednimi diodami umożliwia rozciągnięcie dzianiny o 0,5 mm. Takie rozwiązanie jest potencjalnie bardzo korzystne pod kątem polepszenia właściwości użytkowych wyrobów odzieżowych z aplikacją urządzeń elektronicznych. Obecnie jest ono jeszcze na etapie badań możliwości zastosowania w gotowych wyrobach odzieżowych.

W ostatnim czasie postęp w technologii LED oraz miniaturyzacja połączeń elektrycznych umożliwiły wytwarzanie na skalę masową tzw. taśm ledowych. Są to szeregowo połączone na płaskim nośniku zestawy diod. Wśród wielu wariantów produkowane są m.in. taśmy ledowe zatopione w przezroczystej, szczelnej, elastomerowej obudowie, która zapewnia odporność na działanie czynników atmosferycznych, izolację elektryczną i wzmocnienie wytrzymałości na rozciąganie i tarcie. Ich elastyczność pozwala na łatwe i niemal dowolne przytwierdzenie do różnych powierzchni, w tym do odzieży i wyrobów tekstylnych. Na fot. 5. przedstawiono przykłady taśm ledowych.

Koaksjalne, elektroluminescencyjne przewody świecące (EL wire)

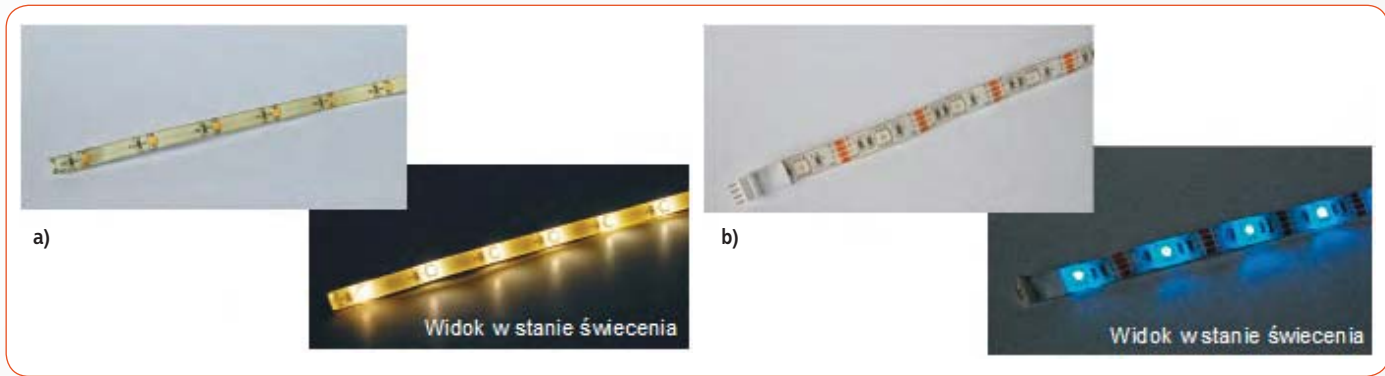
Koaksjalne, elektroluminescencyjne przewody świecące EL (ang. *electroluminescent wire/EL-wire*), nazywane również „głębokimi neonami”,

⁹ Źródło: <http://www.wildsaver168.com/security-and-protection-system/led-traffic-wear/flushing-led-police-safety-vest.html> (dostęp z dnia 18.05.2018 r.).

Źródło: <https://adafruit.com>

Źródło: <http://www.wildsaver168.com/>

Źródło: <http://www.wildsaver168.com/>



Fot. 5. Przykład taśmy z diodami typu LED SMD: a) LED SMD monochromatyczne, b) LED SMD RGB w silikonowej, transparentnej oprawie zapewniającej odporność na warunki atmosferyczne
 Photo 5. An example of a tape with LED SMD diodes: a) LED SMD monochrome, b) LED SMD RGB in a silicon, transparent cover providing resistance to weather conditions

Autor: Krzysztof Łęzak (fot. 5.-9.)

charakteryzują się świeceniem na całej swojej długości i wokół całego obwodu (360°), (fot. 6.). Przewody EL są koncentryczne i składają się z kilku warstw, pełniących różne funkcje. W przewodach zainstalowano dwie elektrody. Wewnętrzna, umiejscowiona w centralnej części przekroju, to miedziana, posrebrzana drut o małej średnicy, a na zewnętrzną składają się dwie cienkie żyły materiału przewodzącego, oplatające spiralnie warstwę elektroluminoforu. Elektroluminofor jest elementem kluczowym w przewodzie, gdyż od jego ilości, jakości i typu w dużej mierze zależy wydajność świetlna przy danej wielkości zasilania.

Rdzeń powlekany jest izolatorem oraz elektroluminoforem, świecącym na skutek wzbudzenia zmiennym polem elektrycznym [8]. Składy chemiczne luminoforu generują różne barwy światła. Całość zamknięta jest w cienkiej, polimerowej, transparentnej lub barwionej „koszulce” i grubszej, specjalnie barwionej otoczce z PVC, która filtruje ostateczny kolor i stanowi dodatkowe zabezpieczenie [9]. Taki układ przewodu stanowi rodzaj kondensatora osiowego, a jego przemienne, szybkie ładowanie i rozładowanie prądem zmiennym pobudza świecenie luminoforu.

Przewody EL były pierwszą formą struktur elektroluminescencyjnych, które znalazły zastosowanie jako komponenty tekstylne, początkowo do celów dekoracyjnych. Obecnie przewody o średnicach 2-3 mm i mniejszych coraz częściej stosowane są w wyrobach odzieżowych oraz jako elementy ostrzegawcze dla sportowców.

Taśmy i panele elektroluminescencyjne (ang. *EL tape, EL panel*)

Kolejnymi odmianami elektroluminescencyjnych źródeł światła są płaskie, świecące jednostronnie taśmy i panele (ang. *EL tape, EL panel*), nazywane też lampami elektroluminescencyjnymi (fot. 7.). W uproszczeniu można powiedzieć, że działają one jak wielkopowierzchniowy kondensator, utworzony z równoległych warstw elektroluminoforu (fosforu), znajdującego się pomiędzy warstwami tworzącymi elektrody. Jedna z elektrod jest przezroczysta, co pozwala na „opuszczenie” światła z warstwy elektroluminescencyjnej. Elektroluminofor nanoszony jest

na podłożu techniką napyłania lub sitodruku, co daje możliwość kształtowania powierzchni świecącej [10-11].

Dzięki zwiększeniu efektywnej powierzchni emisji światła w stosunku do przewodów *EL wire*, potencjalnie pozwalają one na wprowadzenie silniejszych akcentów świetlnych na powierzchni odzieży i wspomaganie ich funkcji ostrzegawczych. Najważniejszą cechą charakterystyczną paneli EL i taśm EL jest równomierność świecenia na całej powierzchni, bez względu na rozmiary (linearnie równomierny rozkład luminancji¹⁰). Ich zaletą jest najniższy pobór mocy elektrycznej spośród rozpatrywanych tu źródeł światła. Przykładowo zużycie mocy do zasilania taśmy EL o szer. 1,5 cm i długości 1 m to ok. 3,6 mW/cm². Luminancja takiej taśmy wynosi ok. 35 – 40 cd/m². W przypadku panelu EL o wymiarach arkusza A4 luminancja może się kształtować na poziomie 80-150 cd/m².

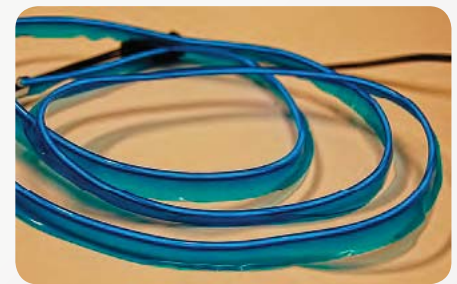
Dane producentów wskazują, że obecna technologia wytwarzania paneli i taśm elektroluminescencyjnych w porównaniu z innymi źródłami światła zapewnia stosunkowo niską światłość przy wartościach napięcia i częstotliwości prądu, które pozwalają osiągnąć względnie długą trwałość (rzędu 8-10 tys. godzin pracy). Zwiększanie napięcia zasilania poprawia światłość taśmy, ale w przebiegu logarytmicznym zmniejsza ich żywotność w czasie.

Światłowody optyczne

Jako elementy świecące w odzieży mogą być również stosowane światłowody. Światłowód to rodzaj falowodu, czyli ośrodka przesyłającego falę elektromagnetyczną w zakresie widzialnym dzięki zachodzącemu w nim zjawisku wielokrotnego, całkowitego, wewnętrznego odbicia. W ujęciu najbardziej ogólnym światłowód zbudowany jest z rdzenia oraz płaszczka. W rdzeniu rozchodzi się fala EM; jest on wytwarzany ze szkła kwarcowego lub organicznego o podobnych parametrach emisyjnych. Na płaszczkę nanoszona jest zewnętrzna warstwa ochronna.

W zależności od kierunku emisji propagowanego światła światłowody dzielą się na:

¹⁰ Luminancja – miara „jasności” świecących powierzchni (http://cmf.p.lodz.pl/iowczarek/materialy/fotometria/luminancja_wietlna.html).



Fot. 6. Elektroluminescencyjne przewody świecące z obrzeżem do mocowania

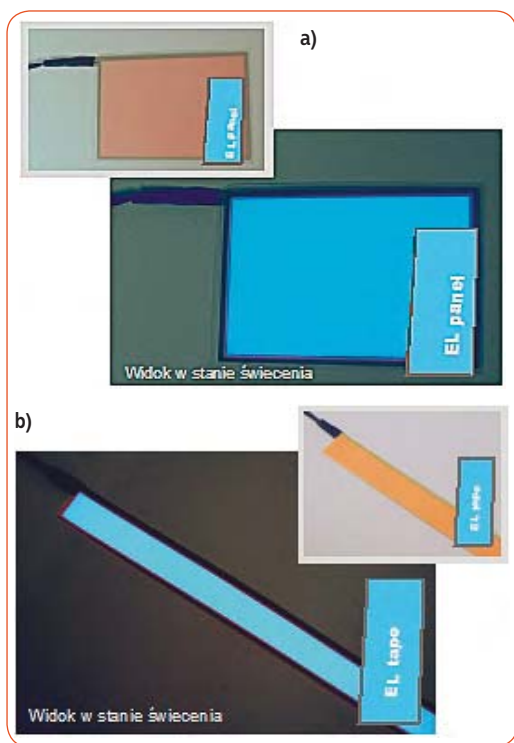
Photo 6. Electroluminescent wires with a rim for fastening

- optyczne świecące na końcach (ang. *end-emitting fiber*)
- optyczne świecące boczną powierzchnią (ang. *edge-emitting fiber*).

Światłowody świecące na końcach, z laserowym źródłem światła z rdzeniem ze szkła kwarcowego o średnicy kilkunastu mikrometrów, wykorzystywane są głównie do przesyłania danych na duże odległości. Obecnie coraz częściej znajdują one zastosowanie również w świecących tekstyliach dekoracyjnych i projektach awangardowych wyrobów odzieżowych, jako punktowe źródła światła lub jako propagatory światła do różnych elementów odzieży.

Drugim rodzajem światłowodów pod względem kierunku propagacji światła są światłowody świecące bokiem SEOF (ang. *Side Emitting Optical Fiber*). Z uwagi na to, że w większości mają one rdzeń z przezroczystych materiałów polimerowych, nazywane są również *Side Emitting Polymer Optical Fiber* (SEPOF). Zwykle rdzeń wykonany jest z plastyfikowanego polimetakrylanu metylu (o współczynniku załamania światła $n = 1,49$) a płaszcz z fluoropolimerów o współczynniku załamania $n \sim 1,35$ do 1,43 [12-13]. W odróżnieniu od światłowodów szklanych są one dużo bardziej plastyczne i tańsze. Nie nadają się jednak do transmisji danych na duże odległości z uwagi na dość duże straty w propagacji światła w kierunku wzdłużnym, za to świetnie się sprawdzają jako elementy świecące np. w odzieży.

Zagadnienia zastosowania światłowodów w wyrobach tekstylnych nie można jednak rozpatrywać bez uwzględnienia wystarczająco wydajnych źródeł światła „zaopatrujących”



Fot. 7. Przykłady świecących elementów EL: a) panelu EL, b) taśmy EL
Photo 7. Examples of EL luminous elements: a) EL panel, b) EL tape

je w odpowiednią porcję promieniowania, w celu uzyskania efektu świecenia na określonej długości światłowodu. Przełom w tej dziedzinie nastąpił po wynalezieniu miniaturowych, wysokowydajnych diod LED, w szczególności laserowych. Ich moc świetlna i niewielka budowa umożliwiła aplikację całych układów do materiałów tekstylnych i wyrobów odzieżowych.

W Technical University of Liberec od kilku lat prowadzone są liczne prace badawcze nad zastosowaniem różnych SEPOF w odzieży ostrzegawczej jako dodatkowych elementów świecących. Dotyczą one m.in. emisyjności, modyfikacji powierzchni i wytrzymałości mechanicznej światłowódów [14-16]. W efekcie zespół opracował oryginalną konstrukcję hybrydowego, liniowego elementu świecącego (ang. *Line Illumination Hybrid Structure, LIHS*), składającego się z włókna SEPOF umieszczonego w tunelu z materiału tekstylnego, fluorescencyjnego (fot. 8.). Opracowany LIHS zwiększa intensywność oświetlenia poprzez odpowiedni dobór składu warstwy tekstylnej i domieszek powierzchniowych SEPOF. Warstwa tekstylna chroni LIHS przed wpływem warunków atmosferycznych, w tym promieniowania UV, temperatury i wilgoci oraz oddziaływań mechanicznych i deformacji. Można go prać i mocować do odzieży standardowymi technikami szwalniczymi.

Właściwe źródło światła stanowią tu wysokowydajne diody LED SMD o mocy w przedziale 1-3 W, z przezroczystą oprawą soczewkową, skupiającą światło do światłowodu centralnie wzdłuż jego osi. Mocowanie dioda-swiatłowód oraz przewód zasilający diodę umieszczone są na stałe w sztywnej, plastikowej, wodo-



Fot. 8. Widok światłowódów SCILIF w oplotach: a) w stanie wyłączonym i b) włączonym
Photo 8. A view of SCILIF optical fibers in braids: a) turned off b) turned on

szczelnej obudowie. Dioda LED (na jednym końcu światłowodu) zapewnia natężenie światła w przedziale 40-120 lux/m.

Przykład odzieży ostrzegawczej ze światłowodami optycznymi typu SEPOF przedstawiono na fot. 9.

Badanie typu UE – obecne wymagania zasadnicze i szczegółowe w odniesieniu do odzieży o intensywnej widzialności

W praktyce odzież ochronna o zaawansowanej konstrukcji będzie coraz częściej połączeniem nowoczesnych materiałów włókienniczych, kompozytów polimerowych, elementów elektronicznych i elektrycznych, aktywnie wspomagających lub modyfikujących właściwości ochronne. Jej złożona budowa pociąga za sobą naturalnie różnicowanie wymagań, które dziś nie są określone ze względu na ich nowe, wielozadaniowe funkcje ochronne i użytkowe, zastosowane materiały i ich właściwości.

Odzież o intensywnej widzialności do użytku zawodowego i pozazawodowego, zgodnie z dyrektywą do dyrektywy 89/686/EWG, została zakwalifikowana do II kategorii środków ochrony indywidualnej (pkt. 15: High visibility clothing and accessories), [17]. Zgodnie z rozporządzeniem Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) z dnia 9 marca 2016 r. w sprawie środków ochrony indywidualnej, zastępującym dyrektywę 89/686/EWG, ŚOI sygnalizujące wizualnie obecność użytkownika to środki przeznaczone do przewidywalnych warunków użytkowania, w których: obecność użytkownika musi być sygnalizowana w sposób widoczny i indywidualnie; właściwie umieszczono element lub urządzenie (bądź ich większą liczbę), emitujące bezpośrednie lub odbite promieniowanie widzialne o odpowiednim natężeniu światła i odpowiednich właściwościach fotometrycznych i kolorymetrycznych [18].

Aktualne wymagania szczegółowe w odniesieniu do odzieży ostrzegawczej w zakresie konstrukcji, właściwości materiałów tła i materiałów odbaskowych oraz metod badań, określone są w normach zharmonizowanych: PN-EN ISO 20471:2013-07 (dotyczy odzieży do użytku zawodowego) [19] i PN-EN 1150:2001 (dotyczy odzieży

do użytku pozazawodowego), [20]. Z kolei w PN-EN 13356:2004 określono wymagania techniczne w stosunku do akcesoriów odbaskowych [21]. Zgodnie z tą normą, po przytwierdzeniu elementu odbaskowego do odzieży, powinien on odbijać światła reflektorów samochodu. W żadnej z tych norm nie ma jednak wymagań wobec odzieży ostrzegawczej z aktywnymi źródłami światła.

W 2015 r. komitet techniczny CEN/TC 162/WG 7 N 245 opublikował specyfikację (PAS-Publicly Available Specification) nr BS PAS 10412:2015 – Intelligent clothing – LED active high visibility clothing – Specification, opracowaną przez British Standards Institution na zlecenie Tajwan Textile Research Institute (TTRI) i na potrzeby policji w Tajwanie [22]. Zakres tego dokumentu określa wymagania w odniesieniu do odzieży o intensywnej widzialności (zgodnej z PN-EN ISO 20471:2013-07), z przymocowanymi na stałe modułami, zawierającymi diody LED, połączone z włącznikiem i zasobnikiem na wymienny zestaw baterii.

W dokumencie opisano metodę badania i wymagania, dotyczące natężenia światła z modułu diod LED zainstalowanego na wyrobie odzieżowym, np. kurtce, kamizelce, ale nie uwzględnia ona wymagań co do sposobu konfiguracji i rozmieszczania diod lub ich systemów na odzieży.

Wymienione dokumenty normatywne są obecnie jedynymi na świecie, odnoszącymi się do odzieży o intensywnej widzialności w zakresie wymagań zasadniczych i szczegółowych.

Stan prawny w zakresie stosowania odzieży ostrzegawczej z aktywnymi źródłami

Jedynym obowiązującym dziś w Polsce dokumentem prawnym, odnoszącym się wprost do możliwości stosowania odzieży ostrzegawczej z elementami świecącymi, jest wspomniane już rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) z dnia 9 marca 2016 r. [18]. Wskazuje ono m.in., że odzież o intensywnej widzialności, sygnalizująca wizualnie obecność użytkownika, to środki ochrony indywidualnej o złożonej konstrukcji, podlegające badaniu typu UE. Stanowi to warunek wprowadzania ŚOI do obrotu.



Fot. 9. Widok bluzy ostrzegawczej z wszytymi światłowodami optycznymi typu SEPOF (SCILIF): a) przód, b) tył
 Photo 9. A view of warning jacket with sewn SEPOF (SCILIF) type optical fibers: a) front, b) back

Kwestia bezpieczeństwa osób wykonujących roboty budowlane lub inne czynności na drodze, została uwzględniona w Ustawie Prawo o ruchu drogowym – Kodeks drogowy w dziale II (rozdz. 5., art. 41.), w którym zawarto wymaganie tylko co do stosowania elementów odblaskowych odpowiadających „właściwym wymaganiom technicznym” bez uszczegółowienia tych wymagań [23]. Analogicznie, jeżeli chodzi o zabezpieczenie pieszych na drodze w warunkach złej widoczności (po zmierzchu), ta sama ustawa w art. 11., p. 4a nakłada obowiązek używania tylko elementów odblaskowych, z zastrzeżeniem, aby zawsze były widoczne dla innych uczestników ruchu. Nakaz ten nie dotyczy poruszania się po drodze przeznaczonej wyłącznie dla pieszych oraz chodnika.

W odniesieniu do bezpieczeństwa elektrycznego instalacji wyrobów przeznaczonych do noszenia na ciele z obecnie stosowanymi do tego celu aktywnymi źródłami światła, wymagania sprecyzowano w Specyfikacjach Technicznych serii IEC TS 60479 – Międzynarodowej Komisji Elektrotechnicznej (IEC), [24]. Zgodnie z tymi dokumentami, instalacje elektryczne zasilane ze źródeł energii o napięciu poniżej 25 V z możliwością wystąpienia prądu zwarciovego poniżej 3 mA i pojemności energii elektrycznej poniżej 350 mJ, nie stanowią zagrożenia dla żadnych funkcji fizjologicznych człowieka.

Podsumowanie

Aby odzież ochronną można było wprowadzić na rynek, powinna ona spełnić wymagania zasadnicze rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/425 z dnia 9 marca 2016 r. (dawniej dyrektywy Rady 89/686/EWG) i szczegółowe (wg norm zharmonizowanych i/ bądź innych dokumentów normatywnych lub kryterialnych).

W odniesieniu do odzieży ostrzegawczej wyposażonej w aktywne źródła światła nie ma obecnie norm, które w sposób kompleksowy formułowałyby wymagania. Uzasadnione jest zatem opracowanie odpowiedniej metodyki badań i wymagań, gdyż ich brak blokuje możliwości przeprowadzenia badań typu UE oceny zgodności i możliwość wprowadzenia na rynek nowatorskiej odzieży ostrzegawczej, skuteczniejszej poprawiającej bezpieczeństwo zarówno w środowisku pracy, jak i poza nim.

W związku z tym, w CIOP-PIB podjęto w ramach programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” (IV etap, lata 2017-2019) realizację zadania, którego celem jest ograniczenie ryzyka i poprawa bezpieczeństwa osób pracujących w warunkach braku lub niedostatecznego oświetlenia, poprzez opracowanie metod badań i wymagań w odniesieniu do odzieży o intensywnej widzialności z elementami emitującymi bezpośrednie promieniowanie widzialne.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Wypadki drogowe w Polsce w 2017 roku, Komenda Główna Policji, Warszawa 2018 <http://statystyka.policja.pl/st/ruch-drogowy/76562,Wypadki-drogowe-raporty-roczne.html> dostęp z dnia 06.03.2019 r.
- [2] GADDIS, R. What is the future of fabric? These smart textiles will blow your mind. *Forbes* 2014.
- [3] PORADA, Z. Elektroluminescencja – wybrane zagadnienia związane z zastosowaniami. Politechnika Krakowska, Kraków 2013.
- [4] HART J.A., LENWAY S.A., MURTHA T., 1999. *A History of Electroluminescent Display*. (www.indiana.edu/~high-tech/fpd/papers/ELDs.html) dostęp 04.09.2017.
- [5] STRZAŁKA-GOŁUSZKA, K. LEDowa rewolucja w oświetleniu wewnętrznym. *Spektrum* 2012, 11-12: I-VII.
- [6] WILANOWSKI A., 2016. *LED Know – How*. (<http://www.instalacjebudowlane.pl/3788-29-62-led-knowhow--czesc-4-obecne-i-przyszle-parametry-diod-led.html>) dostęp 20.09.2017.

[7] SAWICKI S., GOŁĘBIEWSKI R., 2017. Porównanie i różnice między technologiami LED: DIP vs. SMD vs. COB vs. MCOB. (<https://www.gitmarket.pl/porownanie-i-roznicze-miedzy-technologiami-led-dip-vs-smd-vs-cob-vs-mcob.html>) dostęp 13.10.2017.

[8] BURGESS, J. How Electroluminescent (EL) Wire Works (<https://science.howstuffworks.com/electroluminescent-wire5.htm>) dostęp 20.10.2017.

[9] Glow yarn for special effect textiles. (http://www.technicaltextile.net/articles/clothing-textiles/detail.aspx?article_id=3114) dostęp 25.10.2017.

[10] DE VOS, M., RUSSEL TORAH, R., TUDOR, J. A Novel Pneumatic Dispenser Fabrication Technique for Digitally Printing Electroluminescent Lamps on Fabric. Symposium on Design Test Integration and Packaging of MEMS and MOEMS. Southampton: 27-30 April 2015.

[11] YANG, K. et al. Waterproof and durable screen printed silver conductive tracks on textiles. *Textile Research Journal* 2013, 83, 19:2023-2031.

[12] ZUBIA, J., ARRUE, J. Plastic optical fibers: an introduction to their technological processes and applications. *Optical Fiber Technology*, 2001, 7, 2:101-140.

[13] HARLIN, A., MAKINEN, M., VUORIVIRTA, A. Development of polymeric optical fiber fabrics as illumination elements and textile displays. *AUTEX Research Journal*, 2003, 3, 1:1-8.

[14] KŘEMENÁKOVÁ, D. MILITKÝ, J. MERYOVÁ, B. LÉDL, V. Characterization of side emitting plastic optical fibers light intensity loss. *World Journal of Engineering* 2013, 10, 3:223-228.

[15] MISHRA, R. SHUKLA, A. KREMENAKOVA, D., MILITKY, J. Surface modification of polymer optical fibers for enhanced side emission behavior. *Fibers and Polymers*, 2013, 14, 9:1468-1471.

[16] HUANG, J., KŘEMENÁKOVÁ, D., MILITKÝ, J. Flex Fatigue of Side Emitting Optical Fiber. *Advanced Materials Research* 2013, 683:425-430.

[17] Guide to application of the PPE Directive 89/686/EEC. European Commission, 24 August 2017 (<http://ec.europa.eu/DocsRoom/documents/13241/attachments/1/translations/en/renditions/native>) dostęp 12.09.2017.

[18] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/425 z dnia 9 marca 2016 r. (<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016R0425&from=PL>) dostęp 12.09.2017.

[19] PN-EN ISO 20471:2013-07 Odzież o intensywnej widzialności – Metody badania i wymagania.

[20] PN-EN 1150:2001 Odzież ochronna – Odzież o intensywnej widzialności do użytku pozazawodowego – Metody badań i wymagania.

[21] PN-EN 13356:2004 Akcesoria zapewniające widzialność, przeznaczone do użytku pozazawodowego – Metody badań i wymagania.

[22] BS PAS 10412:2015 Intelligent clothing – LED active high visibility clothing – Specification.

[23] Ustawa Prawo o ruchu drogowym (tekst jedn.: Dz.U. z 2017 r., poz. 1260.).

[24] IEC TS 60479 Effects of current on human beings and livestock.

Publikacja opracowana w ramach IV etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2017-2019 w zakresie zadań służb państwowych przez Ministerstwo Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej. Główny koordynator: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.