

Grzegorz OW CZAREK, Adam PO ŚCIK

CENTRALNY INSTYTUT OCHRONY PRACY – PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY,
Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa

Koncepcja sensorów rozciągania i kondycjonowania w zmiennych temperaturach na bazie polimerów barwionych barwnikiem luminescencyjnym

Dr inż. Grzegorz OW CZAREK

Absolwent Wydziału Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej Politechniki Łódzkiej. Obecnie pracownik CIOP-PIB – Kierownik Pracowni Ochrony Oczu i Twarzy. Aktualnie zajmuje się zagadnieniami z zakresu konstrukcji środków ochrony indywidualnej oraz zastosowania technik rzeczywistości wzbogaczonej w ochronach oczu oraz urządzeniach wspomagających widzenie osób z dysfunkcją narządu wzroku.



e-mail: growc@ciop.lodz.pl

Dr inż. Adam PO ŚCIK

Absolwent Wydziału Chemii Ogólnej Politechniki Łódzkiej. Obecnie pracownik CIOP-PIB. Aktualnie zajmuje się zagadnieniami z zakresu konstrukcji środków ochrony indywidualnej, w szczególności zastosowaniem aktywnych polimerów do konstrukcji odzieży ochronnej.



e-mail: adposc@ciop.lodz.pl

Streszczenie

Przedstawiono koncepcję sensorów rozciągania i kondycjonowania w zmiennych temperaturach wykonanych z polimerów barwionych barwnikiem luminescencyjnym o strukturze stilbenu (4,4'-Bis(2-benzoxazoly)stilben). Dla sensorów rozciągania wyznaczono eksperymentalnie warunki odnoszące się do parametrów wymiarowych, jakie muszą być spełnione, aby paski sensorów mogły stanowić element detekcyjny. Dla sensorów kondycjonowania określono zakres temperatur, przy którym możliwa jest wzrokowa identyfikacja zmian barwy sensora oświetlonego promieniowaniem nadfioletowym.

Słowa kluczowe: sensory rozciągania, sensory kondycjonowania, polimery, luminescencja.

The conception of stretch and storage in variable temperature sensors based on polymers with luminescence dye

Abstract

The conception of stretch sensors made of polyethylene with luminescence dye with stilben structure (4,4'-Bis(2-benzoxazoly)stilben) is presented in the paper. The sensor models are made as stripes which are mounted to the so called basic material for which the stretch process or the temperature change process is monitored. As a result of external forces on the basic material (stretching) or temperature changes there are irreversible changes in the structure of an integrated with it sensor as a dyed polymer belt/strip. It also causes change in the spectrum of visible radiation emitted as a result of lighting the dye polymer with ultraviolet radiation. Potential use of the designed stretch polymer sensors are elements of personal protective equipment for which, as a result of external factors, there are irreversible changes that cause reduction or total loss of the required protective properties. That element of equipment that protects against fall from height (stretch sensor) or protective clothes (temperature sensor) should be classified to this group. For stretch sensors the methods of mounting dyed polymer stripes to the basic material (which is stretched) were determined. As a result of the performed research there were determined the experimental conditions concerning the dimensional parameters which should be met to use dyed polymer stripes as one of the detect elements for stretch processes in a basic material. For storage sensors the range of temperature changes, recognizable during visual inspection, was determined.

Keywords: stretch sensors, storage sensors, polymers, luminescence.

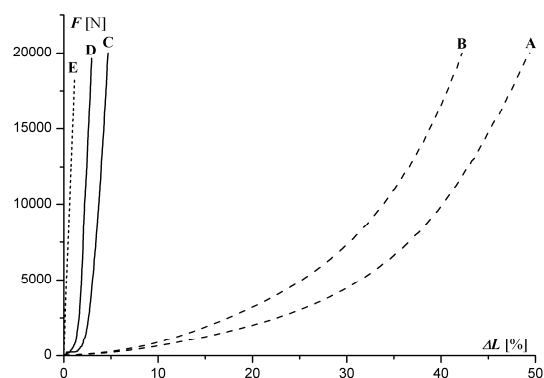
1. Wstęp

Polimery reagujące na bodźce zewnętrzne znajdują coraz szersze zastosowanie w wielu gałęziach medycyny, biotechnologii i przemysłu [1]. Wśród polimerów i kompozytów określanych jako *inteligentne* wyróżnia się polimery piezoelektryczne [2], polimery z pamięcią kształtu [3], polimerowe żele jonowe [4],

polimery elektroaktywne [5], oraz kompozyty złożone z piezoelektrycznej ceramiki lub magnetycznych cząstek i osnowy polimerowej. Bodźcami, na które mogą reagować polimery to m.in. temperatura, pH, siła jonowa, pola magnetyczne i elektryczne, siły powodujące odkształcenie zewnętrzne oraz światło [1]. Te cechy sprawiają, że polimery są doskonałym materiałem do budowy różnego rodzaju czujników. Po dodaniu do polimeru barwników reagujących na promieniowanie nadfioletowe (reakcja polegająca na wzbudzeniu promieniowania w zakresie widzialnym) można uzyskać materiał do budowy sensora fluorescencyjnego [6-9].

2. Założenia do budowy sensorów

Potencjalnym zastosowaniem projektowanych polimerowych sensorów rozciągania i kondycjonowania wykonanych na bazie polimerów barwionych barwnikiem luminescencyjnym są elementy środków ochrony indywidualnej, dla których pod wpływem działania takich czynników, jak siły zewnętrzne powodujące rozciąganie lub warunki przechowywania w podwyższonych / obniżonych temperaturach zachodzą nieodwracalne zmiany skutkujące obniżeniem lub całkowitą utratą wymaganych właściwości ochronnych. Jednym z zastosowań sensorów opisanych w niniejszej pracy jest ich wykorzystanie do elementów sprzętu chroniącego przed upadkiem z wysokości.

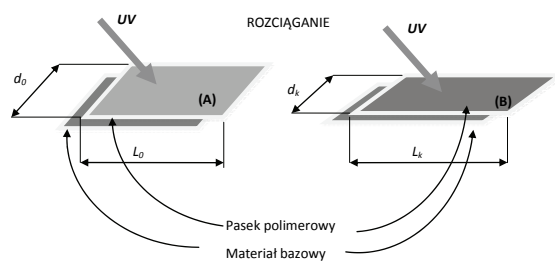


Rys. 1. Charakterystyki siła – wydłużenie wybranych rodzajów lin. (A) – linia poliamidowa trójżyłowa skręcana o średnicy 14 mm, (B) – linia poliamidowa trójżyłowa skręcana o średnicy 18 mm, (C) – linia kewlarowa o średnicy 10 mm, (D) – linia kewlarowa o średnicy 12 mm, (E) – linia stalowa o średnicy 8 mm [10]

Fig. 1. Force as a function of length change for selected types of ropes. (A) – polyamide rope, nominal diameter 14 mm, (B) – polyamide rope, nominal diameter 18 mm, (C) – Kevlar rope nominal diameter 10 mm, (D) – Kevlar rope nominal diameter 12 mm, (E) – steel rope 8 mm [10]

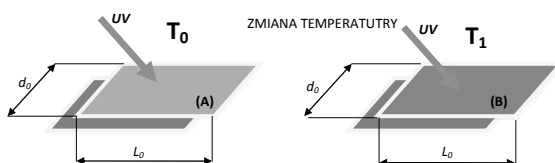
Stosowanie różnorodnych materiałów (lin i taśm) do produkcji linek będących elementami sprzętu chroniącego przed upadkiem z wysokości powoduje, że oprócz różnych odporności na działanie czynników zewnętrznych posiadają one również znacząco różne charakterystyki, czyli zależności siły zewnętrznej powodującej rozciąganie od wydłużenie linki. Przykładowe porównanie charakterystyk siła – wydłużenie lin przedstawiono na rysunku 1 [10].

Wykres przedstawiony na rysunku 1 jest również potwierdzeniem podstawowego założenia przyjętego do konstrukcji sensorów rozciągania wykonanych na bazie polimerów barwionych barwnikiem luminescencyjnym w elementach sprzętu chroniącego przed upadkiem z wysokości. W dalszej części pracy poświęconej badaniom rozciągania barwionych pasków polimerowych określono sposoby mocowania oraz wymiary, jakie powinny posiadać paski barwionego polimeru, aby sensor wskazywał, że materiał bazowy podlegał rozciąganiu. Schematycznie działanie modeli sensorów rozciągania i kondycjonowania przedstawiono na rys. 2 i 3.



Rys. 2. Schemat działania sensora rozciągania. (A) – przed rozciąganiem, (B) – po rozciąganiu. (d_0) – szerokość paska polimerowego przed rozciąganiem, (L_0) długość paska polimerowego przed rozciąganiem, (d_k) – szerokość paska polimerowego po rozciąganiu, (L_k) – długość paska polimerowego po rozciąganiu

Fig. 2. Scheme of the stretch sensor operation. (A) – before stretch, (B) – after stretch. (d_0) – width of polymer strip before strength, (L_0) length of polymer strip before strength, (d_k) – width of polymer strip after strength, (L_k) – length of polymer strip after strength

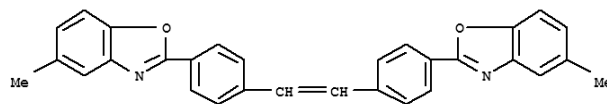


Rys. 3. Schemat działania sensora kondycjonowania. (A) – przed kondycjonowaniem, (B) – po przechowywaniu w podwyższonej / obniżonej temperaturze. (d_0) – szerokość paska polimerowego przed i po przechowywaniu w podwyższonej / obniżonej temperaturze, (L_0) długość paska polimerowego przed i po przechowywaniu w podwyższonej / obniżonej temperaturze

Fig. 3. Scheme of the storage sensor operation. (A) – before, (B) – after storage with increase or decrease temperature. (d_0) – width of polymer strip before storage with increase or decrease temperature, (L_0) length of polymer strip before with increase or decrease temperature

3. Część doświadczalna. Surowce i próbki do badań

Modele sensorów rozciągania wykonano z metodą barwienia w masie poprzez wytłaczanie sproszkowanego barwnika z granulatem polimerowym. Stężenie procentowe barwnika c_p wyniosło 0,5%w. Wykorzystano polietylen PE-LD (ang. low density PE) firmy Basell Orlen / Polska. Cechami charakteryzującymi ten rodzaj polietylenu jest m.in. wysoka elastyczność, która jest zachowana nawet przy niskich temperaturach (do około -60°C). Jest to również materiał całkowicie obojętny fizjologicznie i podatny na zgrzewanie. Jako barwnik zastosowano 4,4'-Bis(2-benzoxazoly)stilben (patrz rysunek 3). Barwnik ten posiada właściwości luminescencyjne [11].



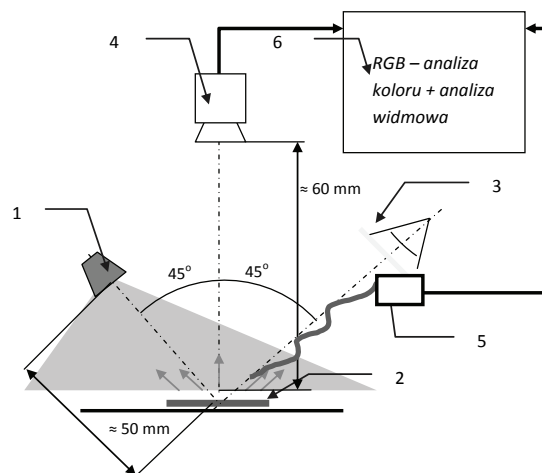
Rys. 4. Wzór barwnika luminescencyjnego wykorzystanego do wykonania modeli sensorów rozciągania i kondycjonowania (4,4'-Bis(2-benzoxazoly)stilben)

Fig. 4. Formula of luminescence dye used to make the model of stretch and storage sensors (4,4'-Bis(2-benzoxazoly)stilbene)

Wytworzono folię o grubość ($0,150\pm 0,01$) mm. Z tak przygotowanego materiału wycinano paski o szerokości ($2,0\pm 0,1$) mm i ($5,0\pm 0,1$) mm. Modele sensorów kondycjonowania wykonano metodą zanurzania pasków folii polipropylenowej o grubości ($0,04\pm 0,01$) mm w roztworze barwnika luminescencyjnego (4,4'-Bis(2-benzoxazoly)stilben)) o stężeniu procentowym $c_p = 5\%$ w. Barwienie przeprowadzono w temperaturze pokojowej (22 ± 2) $^{\circ}\text{C}$. Paski o polimerowe o wymiarach zanurzano na czas (10 ± 1)s. Przedstawiony sposób barwienia został wybrany na drodze eksperymentu. Największą czułość na kondycjonowanie z podwyższonych / obniżonych temperaturach wykazywały cienkie paski ($0,04\pm 0,01$) mm paski polimerowe barwione *na zimno* (w temperaturze pokojowej).

4. Aparatura

W procesie produkcji barwionej folii polietylenowej przeznaczonej do wykonania modeli sensorów rozciągania wykorzystano stanowisko do wytłaczania folii płaskich typu Plasti-Corder PLV 151 Brabender. Parametry wytłaczania były dobierane eksperymentalnie w procesie technologicznym, tak aby otrzymać równomierne rozprowadzenie barwnika w polimerze. Barwienie folii polimerowej przeznaczonej na sensory kondycjonowania zostało przeprowadzone w warunkach laboratoryjnych. Paski z barwionej folii polimerowej rozciągano na specjalnie do tego celu przygotowanym stanowisku (ramce ze śrubą o skoku $P=2$ mm) pozwalającym na rozciąganie i pomiar długości. Kondycjonowanie sensorów temperatury zostało przeprowadzone w komorze klimatycznej (obniżone temperatury) oraz suszarce laboratoryjnej. Temperatura kondycjonowania była monitorowana z dokładnością $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$. Zmiana barwy sensora poddanego procesowi rozciągania lub kondycjonowania w podwyższonych / obniżonych temperaturach musi być widoczna w ocenie organoleptycznej.



Rys. 5. Schemat stanowiska do obserwacji sensorów rozciągania. (1) Źródło UV, (2) – Sensor rozciągania, (3) – Obserwacja wzrokowa, (4) – Kamera, (5) – spektrometr – charakterystyka natężenia emitowanego promieniowania widzialnego w funkcji długości fali, (6) – Komputer – analiza RGB i analiza widmowa

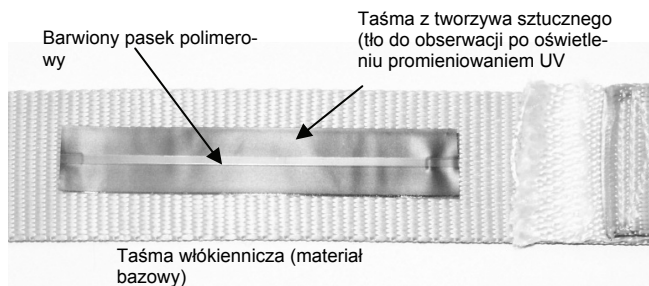
Fig. 5. Scheme of a stand for observing stretch sensors. (1) – UV source, (2) – Stretch sensor, (3) – Visual observation, (4) – Camera, (5) – Spectroradiometer – characteristic of intensity of emitted light as a function of wavelength, (6) – Computer – RGB and spectral analysis

W badaniach modeli sensorów konieczne jest jednak zweryfikowanie oceny organoleptycznej w metodzie pozwalającej na określenie obiektywnych charakterystyk promieniowania widzialnego emitowanego przez sensor po jego oświetleniu promieniowaniem nadfioletowym. W tym celu zaprojektowano i wykonano stanowisko umożliwiające pomiar natężenia emitowanego promieniowania widzialnego w funkcji długości fali oraz komputerową analizę barwy obserwowanego sensora. Schemat tego stanowiska przedstawiono na rys. 5.

Stanowisko składa się ze źródła promieniowania UV (dioda LED UV – 380 nm), kamery cyfrowej, komputera PC z oprogramowaniem pozwalającym na przeprowadzenie analizy koloru oraz spektrometri HR 2000 firmy Ocean Optics.

5. Mocowanie pasków polimerowych do materiału bazowego

W przypadku rozciągania materiał bazowy może podlegać zasadniczo dwóm rodzajom odkształceń: sprężystym i plastycznym. Projektowany sensor rozciągania przymocowany do materiału bazowego podlega odkształceniu wraz z tym materiałem. Jeśli materiał bazowy po zaprzestaniu działania sił rozciągających powraca do stanu pierwotnego pasek polimerowy może być przymocowany jedynie dwoma końcami. W przypadku odkształcenia trwałego pasek polimerowy może być zespolony z materiałem bazowym na całej swojej długości. długość dla liny lub taśmy lecz jest to niewielki fragment na powierzchni tych elementów. Na Rys. 6. przedstawiono przykład zastosowania paska polimerowego z barwnikiem luminescencyjnym, jako sensora rozciągania zamontowanego do taśmy włókienniczej będącej elementem sprzętu chroniącego przed upadkiem z wysokości.



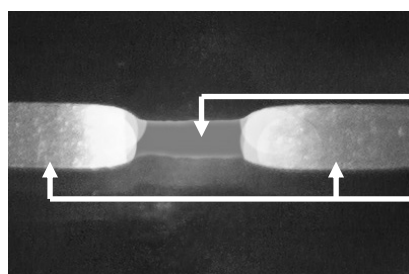
Rys. 6. Model sensora rozciągania przymocowany do taśmy włókienniczej
Fig. 6. The model of a stretch sensor mounted to the textile belt

W przypadku wykorzystania barwionych pasków polimerowych do zastosowania w sensorach kondycjonowania ich powierzchnia i miejsce umieszczenia odpowiada obszarom, dla których zmiany temperatury mają być monitorowane.

6. Rozciąganie pasków polimerowych

Dla pasków polimerowych, które są sensorami rozciągania bardzo istotne jest określenie stosunku długości (L) do szerokości paska (d). Wytworzone barwione paski polimerowe podczas rozciągania podlegają w pierwszej kolejności odkształceniom sprężystym, dla których obowiązuje prawo Hooke'a, zgodnie z którym wydłużenie elementu poddanego działaniu siły rozciągającej jest wprost proporcjonalne do długości początkowej i odwrotnie proporcjonalne do przekroju rozciąganego elementu. Rozciągany pasek polimerowy, rozciągnięty do wartości granicznej, przy której przestaje obowiązywać prawo Hooke'a, zostaje następnie poddany procesowi odkształcenia plastycznego. W procesie odkształcenia plastycznego zachodzą nieodwracalne zmiany w strukturze barwionego polimeru, których skutkiem jest m.in. zmiana barwy i intensywności promieniowania emitowanego w wyniku oświetlenia takiego rozciągniętego miejsca promieniowaniem nadfioletowym. Na zmiany te nie wpływa nieznaczny

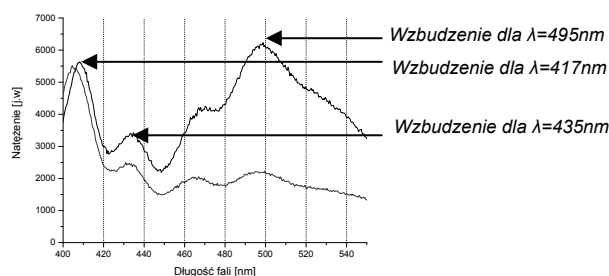
wzrost temperatury polimeru w wyniku rozciągania. Do przeprowadzenia eksperymentu przygotowano paski polimerowe o wymiarach (114×2) mm oraz (114×5) mm. Rozciągając paski polimerowe stwierdzono, że powierzchnia paska, na której można zaobserwować zmianę koloru charakteryzuje się niewielkim przewężeniem. Przewężenie to jest wynikiem trwałego odkształcenia polimeru. Fotografii przedstawiającą fragment rozciągniętego paska polimerowego z charakterystycznym przewężeniem, na powierzchni którego występują widoczne gołym okiem zmiany barwy przedstawiono na rys. 7.



Obszar przewężenia paska polimerowego, w którym obserwowana jest zmiana koloru (po oświetleniu promieniowaniem UV)
Obszar paska polimerowego, który nie uległ odkształceniu trwałemu

Rys. 7. Fragment rozciągniętego paska polimerowego
Fig. 7. Fragment of a stretched polymer strip

Widmo promieniowania dla obszaru rozciągniętego (w którym obserwowana jest zmiana koloru) oraz obszaru, który nie uległ odkształceniu przedstawiono na rys. 8.



Rys. 8. Widmo dla: (A) – dla obszaru nierozciągniętego, (B) – dla obszaru rozciągniętego
Fig. 8. Spectrum for: (A) – non stretched area, (B) – stretched area

Widmo promieniowania z rozciągniętego obszaru jest przesunięte w kierunku fal krótszych (kolor niebieski). Jest to wynikiem znacznie mniejszego piku wzbudzenia luminescencji dla długości fali $\lambda=495$ nm w rozciągniętym obszarze dla zastosowanego barwnika (4,4'-Bis(2-benzoxazolyl)stilbenu).

W badaniach polegających na rozciąganiu paska polimerowego zdefiniowano cztery parametry podlegające pomiarom:

- L_0 – długość początkowa paska polimerowego poddanego rozciąganiu,
- L_{min} – długość paska, przy której pojawia się przewężenie (w wyniku odkształcenia plastycznego),
- L_{sr} – długość przy której przewężenie na pasku przestaje być widoczne (przewężenie praktycznie na całej długości rozciąganego paska),
- L_{max} – długość przy której następuje rozerwanie paska polimerowego.

W tab. 1 przedstawiono wyniki badań wydłużenia. Z tab. 1 widać, że dla pasków wykonanych z polietylenu o szerokości 2 mm minimalne wydłużenie, jakie może być zarejestrowane wynosi 0,25 cm. Obserwacja wydłużenia przestaje być widoczna przy wykorzystaniu paska o tej grubości dla wydłużenia wynoszącego około 4 cm. Dla paska o szerokości 5 mm zakres ten wynosi od 0,5 cm do około 6,5 cm. Zmieniając stosunek długości do szerokości paska można otrzymać sensor, który będzie wskazywał wartość wydłużenia, dla której przekroczenie może być krytyczne z uwagą na wymagane właściwości ochronne. Cechą charakterystyczną dla proponowanej koncepcji sensorów rozciągania jest to,

że do ich zastosowania w elementach sprzętu chroniącego przed upadkiem z wysokości nie jest istotne, jaka jest wytrzymałość na zerwanie samego paska polimerowego. Istotne jest jedynie to, jakiemu wydłużeniu podlega pasek poddany rozciąganiu wraz z materiałem bazowym, na który do którego został przymocowany. Sensory o takiej konstrukcji nie wprowadzają żadnych zmian w konstrukcji samej liny lub taśmy, które mogłyby skutkować obniżeniem ich właściwości ochronnych.

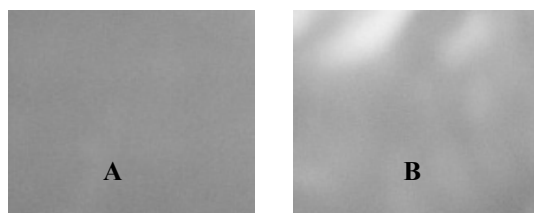
Tab. 1. Wyniki badań rozciągania badanych pasków polimerowych
Tab. 1. Results of stretch of the tested polymer belts

Długość paska polimerowego	Szerokość paska polimerowego*)	
	d = 2 mm	d = 5 mm
L _o (długość początkowa)	14,00 ± 0,01 cm	14 ± 0,01 cm
L _{min} (długość przy której pojawia się przewężenie)	14,25 ± 0,40 cm	14,50 ± 0,51 cm
L _{gr} (długość przy której przewężenie na pasku przestaje być widoczne)	18,46 ± 0,42 cm	20,51 ± 1,55 cm
L _{max} (długość przy której następuje rozzerwanie paska)	38,90 ± 2,18 cm	25,46 ± 1,95 cm

*)Wynik dwudziestu pomiarów ± odchylenie standardowe

7. Kondycjonowanie pasków polimerowych

Celem badania było sprawdzenie, czy w próbki modelu sensora reagują trwałym odbarwieniem na kondycjonowanie w zmiennych temperaturach. W badaniach użyto sześciu próbek wykonanych zgodnie z opisem przedstawionym w rozdziale 3. Próbkę kondycjonowano przez (20±1) minut w następujących temperaturach: (-5±1)°C, (50±1)°C, (70±1)°C, (90±1)°C, (120±1)°C. Po oświetleniu promieniowaniem nadfioletowym zaobserwowano, że próbki kondycjonowane w podwyższonych mają zmienioną barwę w zależności od temperatury kondycjonowania. Nie zaobserwowano różnic pomiędzy próbką kondycjonowaną w temperaturze pokojowej i (-5±1)°C. Zmiany barwy były na wystarczające, aby podczas obserwacji wzrokowej łatwo można było ustawić próbki sensorów w kolejności odzwierciedlającej temperaturę kondycjonowania. Na rys. 9 przedstawiono fotografię fragmentów badanych próbek, dla których występują największe obserwowane różnice w kolorze i intensywności po oświetleniu promieniowaniem nadfioletowym.



Rys. 9. Porównanie kolorów fragmentów obrazów przedstawiających powierzchnie sensorów kondycjonowania w temperaturach: (A) dla (-5±1)°C i (B) dla (+120±1)°C

Fig. 9. Comparison of the picture parts showing the surfaces of the storage sensors at temperatures: (A) for (-5±1)°C and (B) for (+120±1)°C

8. Podsumowanie

Z wykorzystaniem folii barwionej barwnikiem luminescencyjnej można wskazać miejsca, które były lokalnie poddane działaniu sił zewnętrznych (rozciąganie) lub przechowywaniu w podwyższonej temperaturze powyżej 50°C do około 120 °C. Dla sensorów rozciągania do zastosowania w elementach sprzętu chroniącego przed upadkiem z wysokości, takimi jak liny, pasy, itp., sensor może mieć postać paska. W wyniku przeprowadzonych badań zaobserwowano, że w przypadku zastosowania sensorów rozcią-

gania w postaci pasków polimerowych występuje charakterystyczne przewężenie, które jest w bardzo dobry sposób widoczne (zmiana barwy w ocenie organoleptycznej) po oświetleniu paska sensora promieniowaniem nadfioletowym. Oceniając, czy poddany weryfikacji element sprzętu chroniącego przed upadkiem z wysokości został poddany rozciąganiu należy oświetlić promieniowaniem nadfioletowym miejsce, w którym sensor jest zamocowany.

W przypadku oceny zmiany barwy polimerowych sensorów rozciągania i kondycjonowania, jednym z kryteriów uznania wyniku oceny za prawidłowy jest możliwość jej przeprowadzenia w określonych warunkach oświetlenia zewnętrznego. Z oczywistych względów obserwacja zmiana barwy w obszarze przewężenia charakteryzuje się większym kontrastem w ciemnym miejscu.

W ocenie kryteriów warunkujących pozytywny wynik oceny wykonane sensory rozciągania i kondycjonowania badano (ocena organoleptyczna) w warunkach światła naturalnego i źródeł sztucznych, dla których natężenie oświetlenia było na poziomie 500 lx (warunki pracy wzrokowej). W takich warunkach oświetlenia uzyskano pozytywny wynik oceny. W przypadku oceny zmiany barwy sensora rozciągania nie ma ponad to konieczności użycia osobnej próbki odniesienia. Odniesieniem są obszary paska, które nie ulegają trwałemu uszkodzeniu.

Praca wykonana na podstawie wyników badań zadania badawczego V.B.07 realizowanego w ramach Programu Wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, etap II, okres realizacji 2011-2013.

9. Literatura

- [1] El Fray M.: Multiblokowane elastomery termoplastyczne i żele polimerowe reagujące na bodźce zewnętrzne, *Elastomery* Nr 4, 2005.
- [2] Boczkowska A.: Inteligentne polimery i kompozyty polimerowe, *Inżynieria Materiałowa* Nr 2, 2004.
- [3] Lendlein A., Klech S.: Shape – Memory Polymers *Angew. Chem. Int. Ed.* 2002 No 41, pp 2034-2057.
- [4] Olejnik M.: Nanokompozyty polimerowe – rola nanododatków, *Techniczne Wyroby Włókiennicze* Nr 3-4. 2008.
- [5] Bar-Cohen Y.: Transition of EAP material from novelty to practical applications – are we there yet? *Proceedings of EA-PAD, SPIE's 8th Annual International Symposium on Smart Structures and Materials*, 5-8 March, 2001, Newport, CA. Pa-per No. 4329-02 SPIE.
- [6] Cho Sung-Youl, Kim Joong-Gon, Chung Chan-Moon: A fluorescent crack sensor based on cyclobutane-containing crosslinked polymers of tricinnamates, *Sensors & Actuators: B. Chemical* Volume: 134, Issue: 2, September 25, 2008, pp. 822-825.
- [7] Stevens Nathan, Akins Daniel L.: Dye-doped inorganic/organic composite films as fluorescence sensors for methanol vapor, *Sensors & Actuators: B. Chemical* Volume: 123, Issue: 1, April 10, 2007, pp. 59-64.
- [8] Ng Sing Muk, Narayanaswamy R.: Fluorescence sensor using a molecularly imprinted polymer as a recognition receptor for the detection of aluminium ions in aqueous media, *Analytical and Bioanalytical Chemistry* Volume: 386, Issue: 5, November 2006, pp. 1235 – 1244.
- [9] Wang Xu, Zeng Hui, Wei Yanlin, Lin Jin-Ming: A reversible fluorescence sensor based on insoluble b-cyclodextrin polymer for direct determination of bisphenol A (BPA), *Sensors & Actuators: B. Chemical* Volume: 114, Issue: 2, April 26, 2006, pp. 565-572.
- [10] Baszczyński K.: Dynamic Strength Tests for Low Elongation Lanyards, *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics (JOSE)* 2007, Vol. 13, No. 1.
- [11] Pucci A., Bertoldo M, Bronco S.: Luminescent Bis(benzoxazoly) stilbene as a Molecular Probe for Poly(propylene) Film Deformation, *Macromol, Rapid Commun.* 2005, 26, 1043–1048.

otrzymano / received: 11.06.2013

przyjęto do druku / accepted: 01.08.2013

artykuł recenzowany / revised paper