

Jacek KUSZNIER

POLITECHNIKA BIAŁOSTOCKA, WYDZIAŁ ELEKTRYCZNY, KATEDRA PROMIENIOWANIA OPTYCZNEGO, ul. Wiejska 45 D, 15-351 Białystok

Sieci równoległe i szeregowe światłowodowych czujników progowych

Dr inż. Jacek KUSZNIER

Absolwent Wydziału Elektrycznego Politechniki Białostockiej (1994). W roku 2004 uzyskał stopień doktora nauk technicznych na Wydziale Elektrycznym Politechniki Białostockiej. Obecnie pracownik naukowo-dydaktyczny w Katedrze Promieniowania Optycznego Politechniki Białostockiej. Zainteresowania naukowe obejmują światłowody, w tym w szczególności czujniki światłowodowe.



e-mail: j.kuszniér@pb.edu.pl

Streszczenie

W artykule przedstawiono budowę oraz wyniki pomiarów sieci równoległych i szeregowych światłowodowych czujników progowych do pomiaru nacisku, poziomu cieczy, temperatury i zadymienia. Głowice pomiarowe zastosowanych czujników wykorzystują zjawiska: strat zgięciowych, naruszenia całkowitego wewnętrznego odbicia oraz zmian transmisji w złączach światłowodowych.

Słowa kluczowe: czujniki światłowodowe, sieć czujników światłowodowych, światłowodowe czujniki progowe.

Parallel and series networks of setpoint sensors**Abstract**

Fibre sensors, mainly due to their numerous advantages (including among the others, small dimension and weight) allow for carrying out measurements in areas with limited accessibility. They do not generate and are not sensitive to external electromagnetic fields and support distributed, multi-point and multi-quantity measurements. They find increasingly common applications in everyday life. Fibre sensors allow for construction of sensor networks and while they do not cause scintillation, they are ideal for operation in the flammable and explosive environments. Measuring heads of the sensors use the following phenomena: bending losses, the disturbance of total internal reflection and changes in the transmission in optical fibre connector. Such networks enable the measurement of the same parameter in many points or different parameters in one fibre optic path. This work elaborates on the construction, the principle of operation and research results for micro bend fibre loop measuring heads manufactured in two versions with changes in the bend radius as well as for a two-state head, along with a sensor network realized with the use of the two-state heads. The remainder of this work presents the construction and the research results for fibre optic fire alarm network and level liquid sensor.

Keywords: optical fibre sensor, multipoint sensor, setpoint sensors.

1. Wstęp

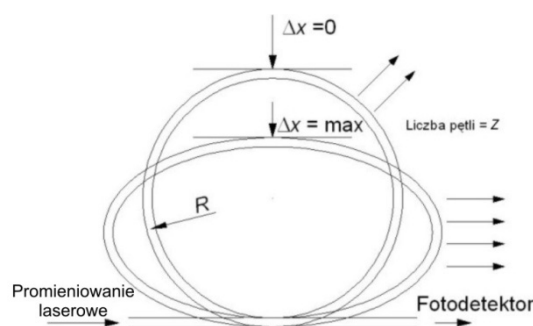
Połączenie wielu głowic pomiarowych w jeden układ, pracujący często z wykorzystaniem jednego źródła i jednego detektora do zasilania i kontroli wszystkich czujników nazywamy siecią. Wśród wielu możliwych topologii sieci można wyróżnić magistralę szeregową i równoległą, których przykładowe realizacje zostaną przedstawione w dalszej części artykułu.

W wielu procesach wymagane jest jedynie zasygnalizowanie osiągnięcia stanu krytycznego (np. wzbudzenie systemów alarmowych przez naruszenie strefy chronionej lub pożar, napełnianie i opróżnianie zbiorników). W takich przypadkach celowe jest zastosowanie czujników progowych.

Czujniki światłowodowe pozwalają na budowę sieci, a ponieważ nie występuje zagrożenie iskreniem, mogą bezpiecznie pracować w środowisku łatwopalnym i wybuchowym. Światłowody są wykonywane z materiałów nieagresywnych chemicznie i biologicznie i z tego powodu mogą być stosowane w medycynie, przemyśle chemicznym i spożywcym.

2. Szeregowe, wielopunktowe, światłowodowe czujniki nacisku

Pierwszy z omawianych czujników wykorzystuje głowice pomiarowe wykonane ze zwiniętego w pętlę włókna typu PCS (włókno ze szklanym rdzeniem) lub POF (włókno z PMMA – polimetakrylan metylu) o średnicach 200 do 1000 μm (rys. 1). Zmiana kształtu pętli światłowodowej w wyniku nacisku powoduje powstanie strat mikrozgięciowych i wyciekanie części prowadzonej mocy z rdzenia do płaszczki i na zewnątrz włókna. Wykonane zostały głowice pomiarowe dwu typów: mikrozgięciowa i mikrozgięciowa – dwustanowa.



Rys. 1. Zasada działania głowicy pętlowego światłowodowego czujnika mikrozgięciowego

Fig. 1. The principle of operation of the loop microbend optical fibre sensor

W celu wybrania odpowiedniego typu włókna, liczby pętli (z), oraz promienia gięcia, zostały przeprowadzone obliczenia promienia gięcia (R_k), przy którym zostają naruszone warunki całkowitego wewnętrznego odbicia wszystkich prowadzonych modów rdzeniowych. W przypadku światłowodów POF, krytyczny promień gięcia wynosi od 4 mm (przy średnicy włókna 250 μm) do 16 mm (przy średnicy włókna 1 mm). Dla włókna PCS 200/250 μm wymagane jest zgięcie włókna z promieniem 5,6 mm.

W zginanym włóknie światłowodowym powstają naprężenia, które mogą doprowadzić do ich trwałego odkształcenia (POF), lub pęknięcia (PCS, szklane). Przeprowadzono więc badania promienia gięcia światłowodu (R_{od}), przy którym ulegały one trwałemu odkształceniu lub pęknięciu. Włókna polimerowe (POF) ulegały trwałym odkształceniom przy promieniach gięcia równych 2 mm (przy średnicy włókna 250 μm) do 7 mm (przy średnicy włókna 1 mm). Światłowód PCS 200/250 μm pękał przy zginaniu z promieniem 1 mm.

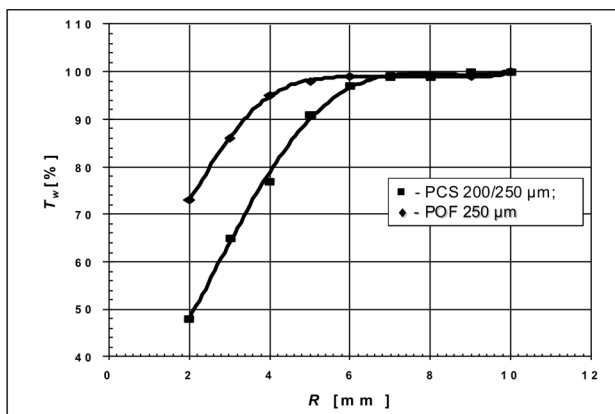
Promień gięcia włókna w głowicy pomiarowej nie może być mniejszy od promienia gięcia, przy którym następuje uszkodzenie włókna i jednocześnie powinien być bliski wartości promienia R_k w celu wymuszenia powstania strat mikrozgięciowych. Należy podkreślić, że w badanych włóknach naruszenie warunków całkowitego wewnętrznego odbicia zachodzi przy promieniach gięcia znacznie większych niż te, które prowadzą do trwałego uszkodzenia światłowodu.

Porównanie zależności transmisji względnej (poziom sygnału pomiarowego względem poziomu sygnału zarejestrowanego w torze pomiarowym nie poddanym badanemu oddziaływaniu) od promienia gięcia w pętli światłowodowej wykonanej z włókna typu POF i PCS przedstawia wykres z rys. 2. Ze względu na większe zmiany transmisji w badanym zakresie, dopuszczalne mniejsze promienie gięcia bez uszkodzenia światłowodu oraz większą sprężystość stwierdzono, że światłowód PCS 200/250 μm będzie najlepszy do budowy głowicy pomiarowej.

Na podstawie przeprowadzonych badań do budowy głowicy pomiarowej zostało wybrane włókno typu PCS 200/250 μm , zwinięte w pętlę o promieniu 5 mm. Wpływ liczby pętli na pracę czujnika przedstawiono na rys. 3. Zwiększenie liczby pętli powoduje zwiększenie czułości czujnika na odkształcenie (ściskanie pętli światłowodowej). W przypadku, gdy występuje potrzeba zbudowania sieci czujników korzystniejsze jest użycie głowic o mniejszej liczbie pętli, gdyż umożliwia to wykonanie sieci o większej liczbie węzłów.

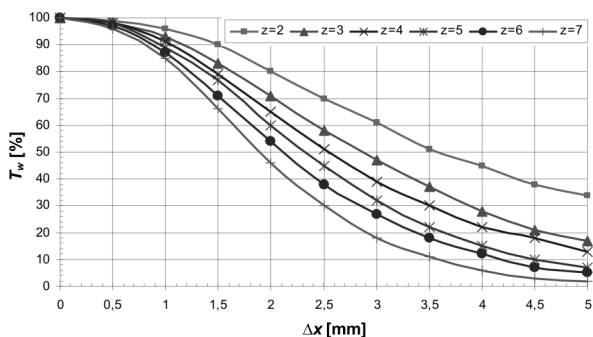
Następnie zostały wykonane sieci szeregowe światłowodowych progowych czujników nacisku. Głowice pomiarowe miały jednakową liczbę pętli ($z_a = z_b = z_c$) lub różne liczby pętli w każdej z głowic pomiarowych ($z_a = 2, z_b = 3, z_c = 4$) (rys. 4).

Zasilanie i detekcja całej sieci czujników (wszystkich głowic pomiarowych) odbywa się z udziałem jednego źródła i jednego detektora.



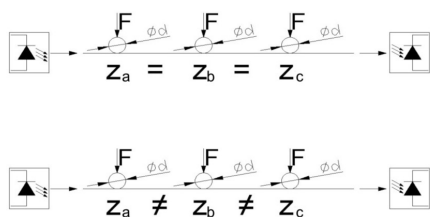
Rys. 2. Zmiany transmisji względnej w pętli światłowodowej w funkcji promienia gięcia włókien POF i PCS

Fig. 2. Changes in the relative transmission in loop against the radius bend POF and PCS



Rys. 3. Zmiany transmisji względnej w funkcji głębokości ugięcia pętli światłowodowej dla liczby od 2 do 7 pętli z włókna PCS 200/250 μm

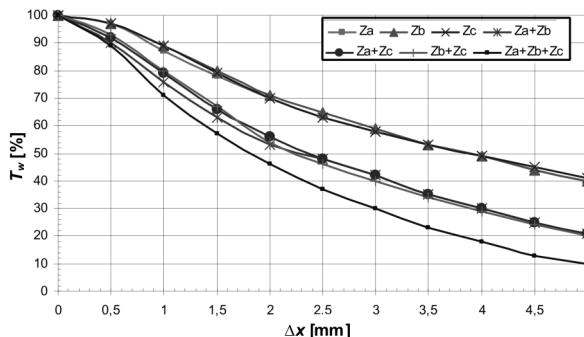
Fig. 3. Changes in the relative transmission in PCS 200/250 μm loop against the loop fibre deflection value with 2 up to 7 loops



Rys. 4. Badane konfiguracje sieci szeregowych światłowodowych czujników progowych

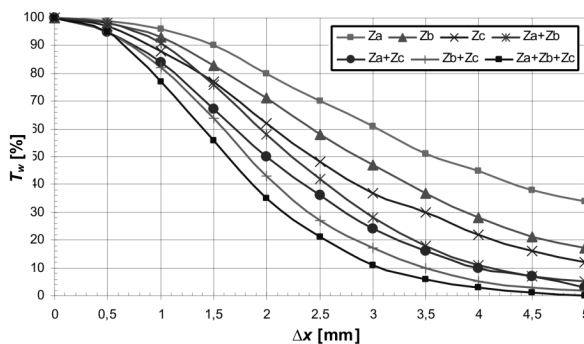
Fig. 4. Examined configurations of series networks of setpoint sensor

Charakterystyki zmian transmisji względnej wielopunktowego pętlowego czujnika mikrogięciowego w funkcji głębokości ugięcia w przypadku jednakowej liczby pętli ($z_a = z_b = z_c = 2$) w każdej głowicy przedstawiają wykresy z rys. 5. W przypadku różnej liczby pętli w każdej z głowic pomiarowych ($z_a = 2, z_b = 3, z_c = 4$), charakterystyki mają przebieg jak na rys. 6. Zbudowanie sieci z czujników o jednakowych liczbach pętli pozwala jedynie na określenie liczby zamkniętych głowic, bez określenia miejsca zdarzenia. Natomiast wykonanie sieci, w której każdy z czujników ma inną liczbę pętli pozwala na równoczesne określenie liczby głowic i wskazanie, które z nich zostały zamknięte.



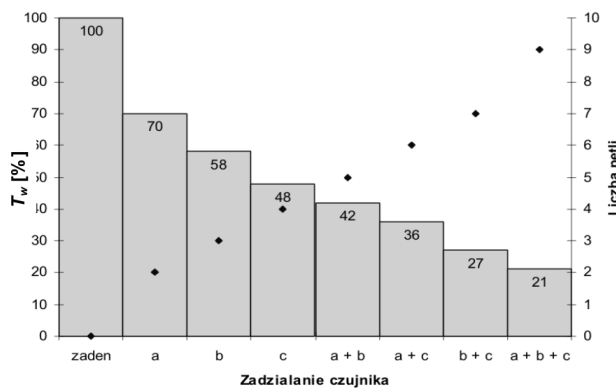
Rys. 5. Zmiany transmisji względnej wielopunktowego pętlowego czujnika mikrogięciowego w funkcji głębokości ugięcia ($z_a = z_b = z_c = 2$)

Fig. 5. Changes in the relative transmission of multipoint microbend sensor against the loop fibre deflection value ($z_a = z_b = z_c = 2$)



Rys. 6. Zmiany transmisji względnej wielopunktowego pętlowego czujnika mikrogięciowego w funkcji głębokości ugięcia ($z_a = 2, z_b = 3, z_c = 4$)

Fig. 6. Changes in the relative transmission of multipoint microbend sensor against the loop fibre deflection value ($z_a = 2, z_b = 3, z_c = 4$)



Rys. 7. Transmisja względna z sieci czujników ($z_a = 2, z_b = 3, z_c = 4, \Delta x = 2,5 \text{ mm}$)

Fig. 7. The relative transmission in multipoint sensor network ($z_a = 2, z_b = 3, z_c = 4, \Delta x = 2,5 \text{ mm}$)

Wartości transmisji względnej w sieci czujników dwustanowych (przy ugięciu zamykającym głowicę $\Delta x = 2,5$ mm) w zależności od tego, które głowice zostały zamknięte oraz odpowiadająca im łączna liczba pętli (w zamkniętych głowicach), przedstawiono na rys. 7.

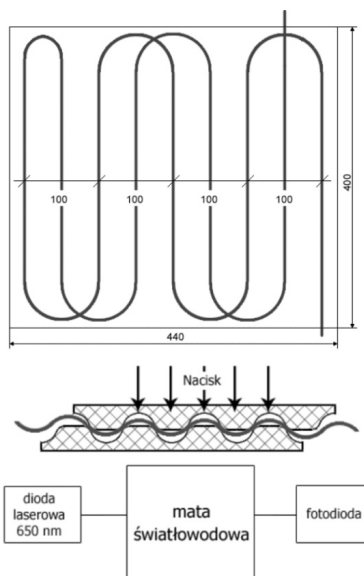
3. Mata światłowodowa do wykrywania nacisku

Mata światłowodowa została wykonana, z użyciem włókien typu POF (PMMA 500 μ m). Skonstruowana mata ma za zadanie wykrywanie nacisku dorosłego człowieka, dlatego powinna wykrywać nacisk masą większą od 40 kg.

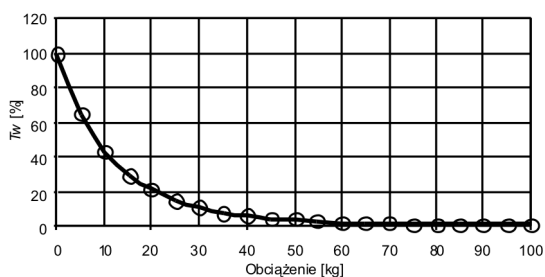
Do wykonania maty zostały użyte płyty o wymiarach 40x44 cm z gumy ryflowanej. Mają one postać kształtek zginających włókno światłowodowe i równocześnie zapewniają zabezpieczenie włókna przed zgnieceniem pod wpływem nadmiernego nacisku. Światłowód został ułożony w macie w sposób przedstawiony na rys. 8, w celu zapewnienia podobnej reakcji maty bez względu na miejsce wywierania nacisku.

Transmisję względną maty w funkcji obciążenia przedstawiono na rys. 9. Średnia wartość transmisji maty poddanej naciskowi testowemu (90 kg) wynosiła 10%. Różnice względnej transmisji maty wynoszą przy tym $\pm 4\%$. Zastosowanie płyty wyrównującej rozkład nacisku pozwala na ich obniżenie do $\pm 1\%$.

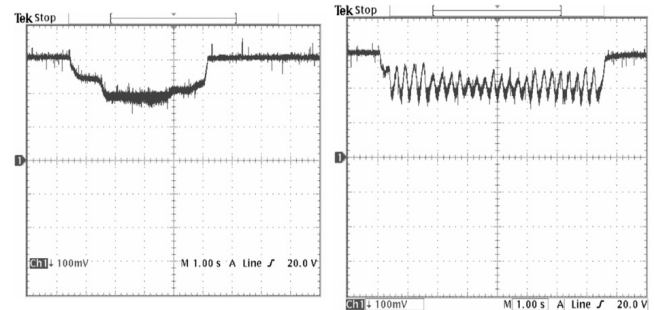
Odpowiedź maty światłowodowej na nadeptanie obunóż i reakcję na zmiany obciążenia przedstawiono rys. 10.



Rys. 8. Sposób ułożenia włókien światłowodowych w wykonanej macie
Fig. 8. The configuration of optical fibre in the examined mat



Rys. 9. Zmiany transmisji względnej maty w funkcji obciążenia
Fig. 9. Changes in the transmission in mat against pressure



Rys. 10. Odpowiedź maty w dziedzinie czasu na nadeptanie oraz na balansowanie ciałem (masa testowa 90 kg)

Fig. 10. Mat answers for treading on and swinging (test mass 90 kg)

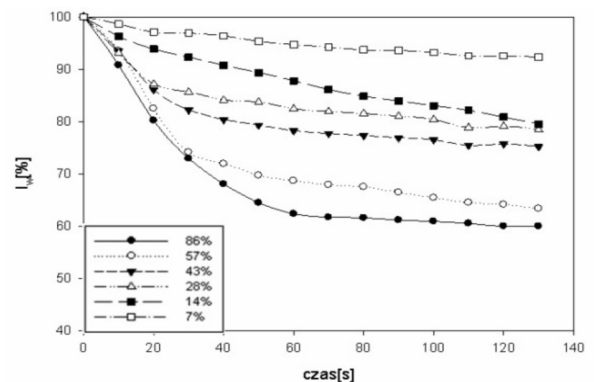
4. Sieć światłowodowa czujników przeciwpożarowych

Pożar stanowi wielkie zagrożenie dla życia i zdrowia osób jak również prowadzi do zniszczenia mienia. Rozwój pożaru możemy podzielić na trzy fazy: wzrostu, rozwiniętego pożaru i gaśnięcia. Celem systemów sygnalizacji jest szybkie i bezbłędne wykrycie pożaru w pierwszej fazie. Detekcji pożaru możemy dokonać poprzez wykrycie: wzrostu temperatury, stężenia gazów powstających w wyniku spalania, zadymienia oraz wykrycie płomienia. Pożary rozwijają się w bardzo różny sposób w zależności od rodzaju paliwa, dostępu powietrza i sposobu zapłonu, w związku z czym celowe jest równoczesne monitorowanie dwu wielkości (np. zadymienia i temperatury). Technika światłowodowa pozwala na umieszczenie w jednym torze dwu głowic do pomiaru różnych wielkości. Czujniki pracujące w takiej sieci zapewniają znacznie większą pewność zadziałania układu bez względu na rodzaj i sposób rozwoju pożaru. Należy również pamiętać, że światłowody zapewniają również zachowanie wysokiego bezpieczeństwa w środowiskach łatwopalnych i wybuchowych.

Zaproponowana sieć przeciwpożarowa zawiera szeregowo połączone czujniki dymu i temperatury, które pracują w trybie progowym (wykrywają przekroczenie wartości krytycznej).

Czujnik temperatury został wykonany w wersji transmisyjnej z włókien POF (0,5 mm) z zastosowaniem elementu bimetalicznego, natomiast czujnik dymu został wykonany w wersji odbiciowej również z włókien POF (1 mm).

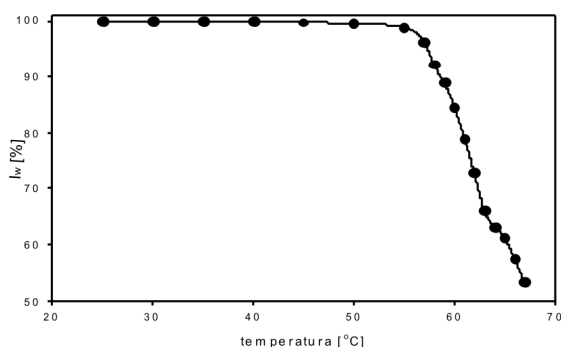
Oba czujniki, w wyniku oddziaływania pożaru powodują zmniejszenie transmisji w torze światłowodowym. Nie jest istotne w tym przypadku, który czujnik zadziała jako pierwszy. Charakterystyka czasowa czujnika zadymienia przy różnych stężeniach wytworzonego dymu została przedstawiona na rys. 11.



Rys. 11. Charakterystyka czasowa dla czujnika zadymienia przy różnych stężeniach dymu wytworzonego z propanotriolu w komorze pomiarowej

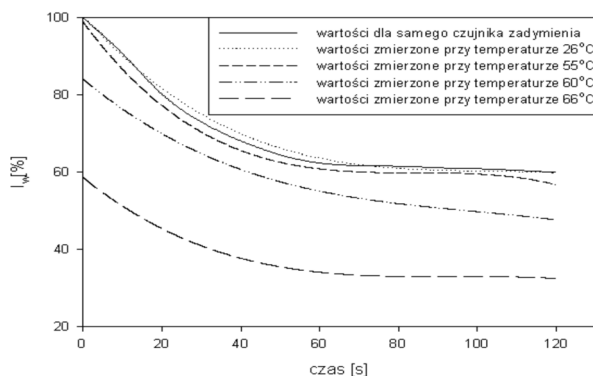
Fig. 11. Time characteristic of smoke sensor at different smoke concentration (propantriol) in measurement chamber

Progowy czujnik temperatury został zaprojektowany i wykonany w taki sposób, by próg reakcji występował po przekroczeniu 55°C (rys. 12). Jest to korzystne, ponieważ taka temperatura nie występuje w pomieszczeniach w normalnych warunkach, ale jest osiągnięta we wczesnej fazie pożaru. Obie głowice zostały umieszczone szeregowo w jednym torze światłowodowym. W wyniku tego sieć reaguje na przekroczenie wartości krytycznej jednego ze wskaźników pożaru (dym, temperatura), gdy nie występują równocześnie, jak również obu wskaźników, występujących jednocześnie. Charakterystyka sieci dwu głowic kształtem przypomina charakterystykę czujnika zadymienia odpowiednio obniżoną w zależności od rejestrowanej temperatury (rys. 13).



Rys. 12. Charakterystyka światłowodowego czujnika temperatury zawierającego element bimetaliczny

Fig. 12. Characteristic of temperature sensor (bimetallic)



Rys. 13. Charakterystyka czasowa światłowodowej sieci przeciwpożarowej

Fig. 13. Time characteristic fibre optic fire alarm network

Przedstawiona sieć wykrywała pojawienie się dymu w komorze pomiarowej w czasie krótszym niż 40 sekund (jest to zależne od wielkości pomieszczenia i systemu wentylacji) oraz temperatury powietrza wyższej niż 55°C.

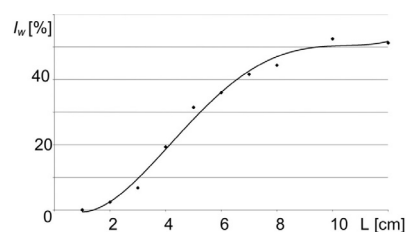
5. Sieć równoległa czujników progowych do kontroli stanu napełnienia zbiornika

W celu kontroli stanu napełnienia zbiornika cieczy została wykonana sieć równoległa ze zwielokrotnieniem czasowym. Głowice pomiarowe wykorzystują zjawisko naruszenia warunków całkowitego wewnętrznego odbicia w pętach światłowodowych, wykonanych z włókna PCS 200/250 μm z odsłoniętym rdzeniem. Opóźnienie czasowe w poszczególnych gałęziach sieci uzyskano przez wykorzystanie torów pomiarowych o różnych długościach (4; 27 i 65 m). Pozwoliło to na osiągnięcie opóźnień równych 160 i 360 ns. W wyniku badań stwierdzono, że dla badanego włókna

odpowiednia będzie pętla o promieniu gięcia 4 cm (rys. 14) oraz długości odsłoniętego rdzenia zawartej w przedziale od 6 do 8 cm.

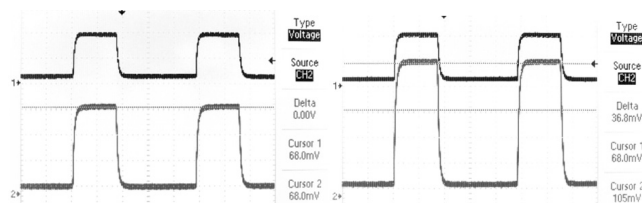
Wykonane głowice zawierały pętle o promieniu gięcia 4 cm i 7 cm odsłoniętego rdzenia. Badane czujniki zapewniają 40% zmianę transmisji w głowicy zalanej wodą i prawie całkowity zanik transmisji w głowicy zalanej olejem. Przedstawione na rys. 15 oscylogramy przedstawiają zmiany poziomu sygnału w jednej z badanych głowic pomiarowych.

Zmiana poziomu sygnału przy zalewaniu głowicy była natychmiastowa, natomiast obniżanie poziomu cieczy wymagało około 40 sekund, w celu stabilizacji wskazań ze względu na proces osuszania włókna. Nie stwierdzono w badanych głowicach wpływu zmętnienia cieczy na wskazania czujnika.



Rys. 14. Zmiany transmisji czujnika poziomu cieczy w funkcji długości odsłoniętego rdzenia

Fig. 14. Changes in the transmission in level liquid sensor against length uncovered core



Rys. 15. Zmiany sygnału w czujniku poziomu cieczy podczas zmiany rejestrowanego stanu

Fig. 15. Signal changes in level liquid sensor during measurement

6. Podsumowanie

Czujniki światłowodowe doskonale nadają się do pomiarów wielopunktowych, rozłożonych oraz do budowy sieci pomiarowych. Pozwalają przy tym na pracę w środowisku łatwopalnym lub wybuchowym, z zachowaniem wysokiego bezpieczeństwa, oraz równoczesny pomiar kilku wielkości. Dzięki swej budowie światłowody pozwalają jednocześnie na pomiar w miejscach trudnodostępnych (niewielkie wymiary poprzeczne) i znacznie oddalonych od elektronicznego układu obróbki sygnału.

Pracę wykonano w Politechnice Białostockiej w ramach tematu W/WE/5/2010.

7. Literatura

- [1] Yu Francis T.S., Yin Shizhuo: Fiber Optic Sensors. Marcel Dekker Inc., New York 2002.
- [2] Krohn D.A.: Fiber Optic Sensors Fundamentals and Applications. ISA, NC 2000.
- [3] Kuszniar J.: Wielopunktowe czujniki światłowodowe do wykrywania nacisku. Przegląd Elektrotechniczny 6/2009, str. 54-57.