

**STUDIA I MONOGRAFIE**

z. 293

**NAUKA I PRAKTYKA –  
STAŻE ZAWODOWE  
W PRZEDSIĘBIORSTWACH  
EDYCJA II**

Pod redakcją naukową  
Artura Olejnika  
Marka Wasilewskiego



**POLITECHNIKA OPOLSKA**

ISSN 1429-6063

Opole 2011 ISBN 978-83-62736-26-3

**POLITECHNIKA OPOLSKA  
AKADEMICKI INKUBATOR PRZEDSIĘBIORCZOŚCI**

**KOMITET REDAKCYJNY**

Andrzej KNAPIK, Jan KUBIK,  
Tadeusz ŁAGODA – przewodniczący,  
Mariusz MIGAŁA, Iwona MULICKA,  
Jan SADECKI, Małgorzata WRÓBLEWSKA

**RECENZENCI:**

prof. dr hab. inż. Janusz Skorek  
prof. dr hab. inż. Janusz Mysłowski  
prof. dr hab. inż. Janusz Mroczka  
prof. dr hab. inż. Stanisław Januszewski  
prof. dr hab. inż. Stanisław Legutko  
dr hab. inż. Ryszard Wójcik  
dr hab. inż. Waldemar Kwaśny  
dr hab. inż. Mariusz Maślak  
dr hab. inż. Dariusz Skibicki  
dr hab. inż. Witold Elsner  
dr hab. inż. Adam Sokołowski  
dr hab. inż. Krzysztof Werner

Komitet Redakcyjny Wydawnictw Politechniki Opolskiej  
Akademicki Inkubator Przedsiębiorczości

Skład: Oficyna Wydawnicza Politechniki Opolskiej  
Nakład: 365 + 25 + 10 egz.  
Druk i oprawa: Sekcja Poligrafii Politechniki Opolskiej

**[www.bizneswnauce.po.opole.pl](http://www.bizneswnauce.po.opole.pl)**



**KAPITAŁ LUDZKI**  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

**UNIA EUROPEJSKA**  
EUROPEJSKI  
FUNDUSZ SPOŁECZNY



**Publikacja współfinansowana przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego**

Publikację wydano w ramach projektu: „Przedsiębiorczy naukowiec Plus”  
Egzemplarz bezpłatny

# Spis treści

	Wstęp	5
1.	<i>Karolczuk A.</i> Pola naprężeń w elementach zgrzewanych wybuchowo poddanych zginaniu	7
2.	<i>Niesłony A.</i> Specyfika testów wytrzymałościowych niszczących wykonywanych na platerach zgrzewanych metodą wybuchową	19
3.	<i>Rawska-Skotniczny A.</i> Metody oceny jakości wykonanych złączy przy spawaniu urządzeń w zakładach energetycznych	27
4.	<i>Królczyk G.</i> Zagadnienia projektowania form wtryskowych i ich wdrożenia do produkcji	41
5.	<i>Malecka J.</i> <i>Żok F.</i> Oznaczenie odporności na korozję międzykrystaliczną stali nierdzewnej	47
6.	<i>Mamala J.</i> Identyfikacja protokołu transmisji magistrali CAN w układzie napędowym samochodu osobowego	55
7.	<i>Wydrych J.</i> Diagnostowanie zużycia erozyjnego instalacji transportu pneumatycznego w przemyśle cementowym	73
8.	<i>Górecki K.</i> Analiza jakości energii elektrycznej w Instalacji Odzysku Kwasu Siarkowego	83
9.	<i>Żak K.</i> Analiza możliwości racjonalizacji procesu obróbkowego na centrum obróbkowym HP5	91
10.	<i>Szmajda M.</i> <i>Jahn K.</i> Pomiary wybranych parametrów jakości energii elektrycznej w sieci elektroenergetycznej zakładu przemysłowego	97

11.	<i>Junga R.</i> <i>Bedlińska D.</i>	Wybrane aspekty funkcjonowania laboratorium badań paliw stałych	107
12.	<i>Guziałowska-Tic J.</i> <i>Hreczuch W.</i>	Analiza rynku olejów i tłuszczów dla przemysłu chemicznego	117
13.	<i>Marciniak Z.</i> <i>Fraszek H.</i> <i>Święch J.</i>	Proces wytwarzania ciężkich maszyn przeładunkowych na przykładzie przedsiębiorstwa FAMAK S.A	129
14.	<i>Zajac D.</i> <i>Maczurek S.</i> <i>Barzantny P.</i>	Konstrukcja stalowych wymienników ciepła z eliptycznymi rurami	135
15.	<i>Hepner W.</i>	Przekładnie cierne – „alternatywna” historia motoryzacji	145
		Fotorelacja ze staży	153



# Wstęp

Zachęcony sukcesem pierwszej edycji programu stażowego realizowanego w ramach projektu „Przedsiębiorczy naukowiec”, Akademicki Inkubator Przedsiębiorczości Politechniki Opolskiej postanowił kontynuować działanie w kolejnym projekcie pod nazwą „Przedsiębiorczy naukowiec Plus”. Jako główny cel projektu obraliśmy wzmocnienie współpracy PO i przedsiębiorstw dla uzyskania wzrostu gospodarczego Opolszczyzny. Realizację tego celu miały zapewnić m.in. staże w przedsiębiorstwach, dzięki którym przemysł mógł zapoznać się ze stanem wiedzy i badań naukowych realizowanych na uczelni, a pracownicy naukowcy i naukowo-dydaktyczni mogli zdobyć doświadczenie zawodowe zgodne z prowadzonymi badaniami i dydaktyką dla podniesienia jakości kształcenia na potrzeby gospodarki opartej na wiedzy.

Projekt zakładał trzymiesięczny staż, podczas którego stażysta zobowiązany był udokumentować obecność w miejscu odbywania stażu w wymiarze 80 godzin miesięcznie. W ten sposób równocześnie z odbywaniem stażu mógł prowadzić zajęcia dydaktyczne na uczelni. Za każdy miesiąc stażysta otrzymywał wynagrodzenie w kwocie ustalonej w umowie, a po zakończeniu stażu był zobowiązany dostarczyć raport końcowy oraz artykuł naukowy związany z wiedzą i zdobytym doświadczeniem.

Do programu stażowego zgłosiło się dwudziestu dwóch kandydatów, z których komisja rekrutacyjna wyłoniła grupę piętnastu stażystów. Stażyści reprezentowali cztery wydziały naszej uczelni, z czego najwięcej Wydział Mechaniczny, bo aż jedenaście osób. Pozostali kandydaci byli pracownikami: Wydziału Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki (dwie osoby), Wydziału Inżynierii Produkcji i Logistyki (jedna osoba) oraz Wydziału Budownictwa (jedna osoba). Wśród stażystów było dwunastu mężczyzn i trzy kobiety. Zostali oni podzieleni na cztery grupy rozpoczynające staż w miesiącach maj, sierpień i październik 2010 r. oraz luty 2011 r.

Do programu stażowego przystąpiło czternaście przedsiębiorstw reprezentujących branże: cementową, energetyczną, samochodową, chemiczną, metalową i konstrukcyjną z terenu naszego województwa.

Korzyści, jakie wymieniały stażyści po odbyciu stażu, to m.in.: opracowanie materiałów projektowych dla studentów, zwiększenie kompetencji zawodowych, wzrost aktywności naukowej oraz jakości wiedzy przekazywanej studentom, opracowanie wspólnych z przedsiębiorstwem potencjalnych obszarów dalszej współpracy naukowo-badawczej, nawiązanie nowych kontaktów zawodowych, zapoznanie się z praktycznymi zagadnieniami inżynierskimi. Jednym z wymiernych efektów stażu było zachęcenie dwóch pracowników firmy do podjęcia studiów na Wydziale Budownictwa.

Po zakończeniu programu stażowego wszyscy stażyści zadeklarowali chęć współpracy z przedsiębiorstwem w przyszłości.

Niniejsza publikacja jest już drugim tego typu wydawnictwem poświęconym stażom pracowników naukowo-dydaktycznych Politechniki Opolskiej w przedsiębiorstwach Opolszczyzny. Zawiera ona zbiór artykułów, do powstania których przyczyniła się wiedza i umiejętności zdobyte podczas stażu. Wszystkie przedstawione w niniejszej publikacji artykuły poddane zostały recenzji, za co serdecznie dziękujemy wszystkim recenzentom. Mamy nadzieję, że staże będą początkiem trwalszej współpracy pomiędzy naukowcami politechniki a przemysłem, wpłyną znacząco na dalszą drogę rozwoju naukowego i przyniosą wymierny efekt w postaci licznych artykułów naukowych, grantów, rozwiązań innowacyjnych i wniosków patentowych, czego im serdecznie życzymy.

*Artur Olejnik,  
Marek Wasilewski*



# Rozdział 3

Anna Rawska-Skotniczny\*

## **Metody oceny jakości wykonanych złączy przy spawaniu urządzeń w zakładach energetycznych** *The review of the evaluations methods of quality of the connections at welding devices in power plants*

**Streszczenie:** W artykule omówiono metody badania złączy spawanych wysokiej jakości stosowanych w energetyce, na przykładzie próbek zakładowych spawanych metodą TIG, wykonanych dla uzyskania uprawnienia TÜV.

**Abstract:** Methods of inspection welded joints of the high quality used in energetics were discussed in paper, on the example of the industrial samples welded with method of TIG, made out for obtaining the TÜV qualifications.

### **1. WSTĘP**

Przedsiębiorstwa produkujące urządzenia dla potrzeb przemysłu energetycznego i ciepłowniczego muszą spełniać bardzo wysokie wymagania kontrahentów, dotyczące niezawodności złączy spawanych. Wynika to ze specyfiki warunków, w których użytkowane są wytwarzane elementy i konstrukcje stalowe, takie jak obudowy elektrofiltrów, kanały spalin czy elementy ciśnieniowe kotłów i rurociągów. Wytwarzane elementy są narażone na wysokie ciśnienie dochodzące do 240 atmosfer oraz podwyższone temperatury rzędu 600°C [1].

---

\* Politechnika Opolska, ul. Katowicka 48, 45-061 Opole, e-mail: a.rawska-skotniczny@po.opole.pl

Wymogi te muszą być również spełnione przy wykonywaniu remontów, modernizacji i montażu urządzeń energetycznych (kotłów energetycznych, sodowych,



Rys. 1. Montaż elementów ciśnieniowych w czynnych obiektach elektrowni Niederausen, fot. archiwum Remak SA

parowych i wodnych, instalacji odsiarczania spalin, rurociągów, urządzeń do nawęglania), ponieważ prace te są najczęściej prowadzone na czynnych obiektach (rys. 1.). Stwarza to szczególne wymagania zarówno w fazie tworzenia technologii remontowych, wykonywania dokumentacji, jak i w fazie realizacji przedsięwzięcia. Wymagania te wynikają również z konieczności precyzyjnego wprowadzenia nowych urządzeń do istniejących modernizowanych elementów.

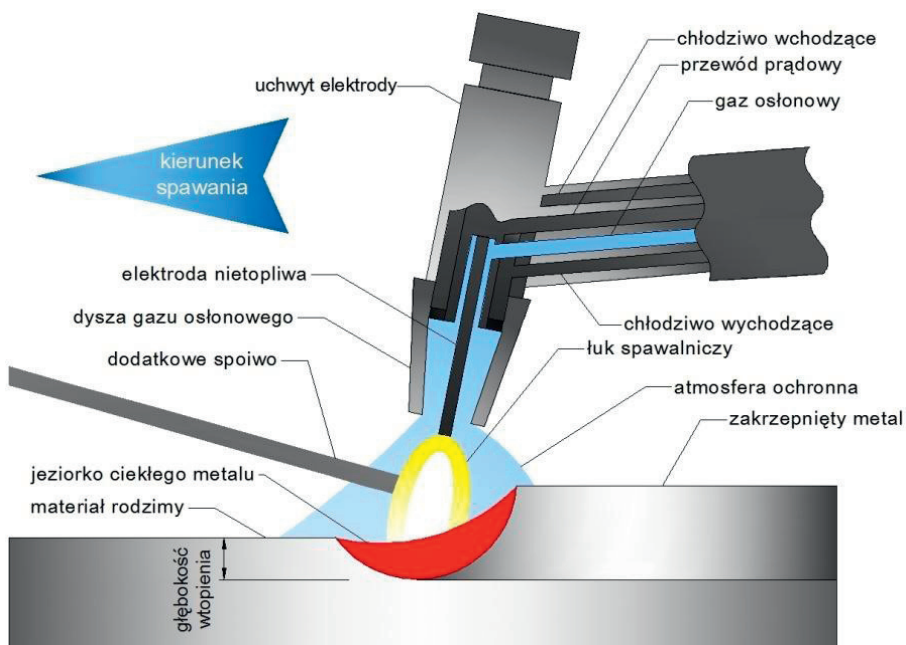
Przedsiębiorstwo wykonujące prace spawalnicze urządzeń ciśnieniowych, podlegających w Polsce Urzędowi Dozoru Technicznego, musi posiadać sprzęt pozwalający na stosowanie obecnie wymaganych technologii spawalniczych oraz wysoko wykwalifikowaną kadrę. Prace spawalnicze wykonywane dla kontrahentów zagranicznych muszą ponadto spełniać wymagania krajowych urzędów, przykładowo w Niemczech będą to uprawnienia TÜV, a w Stanach Zjednoczonych – ASME.

## 2. CHARAKTERYSTYKA FIRMY

Podstawowym przedmiotem działalności firmy Remak SA, w której autorka odbywała staż, są usługi remontowe, modernizacyjne kotłów parowych i wodnych oraz montaż urządzeń energetycznych, instalacji odsiarczania spalin, elektrofiltrów, instalacji przemysłowych, rurociągów [2]. Firma zaliczana jest do zakładów grupy 1 [1], obejmującej zakłady uprawnione do wykonywania konstrukcji klasy 1, 2, 3, zależnej od charakteru obciążeń i skutków ewentualnej awarii [3].

Ważną grupę zatrudnionych stanowią spawalnicy o wysokich kwalifikacjach. Posiadają oni uprawnienia zgodne z [4], świadectwa EWE, IWE oraz aktualny certyfikat kompetencji nadany przez autoryzowaną krajową organizację Europejskiej Federacji Spawalniczej EWF z siedzibą w Instytucie Spawalnictwa w Gliwicach. Firma posiada uznany przez Urząd Dozoru Technicznego Ośrodek Szkolenia Spawaczy oraz Laboratorium Kontroli Jakości. Spawacze posiadają również uprawnienia TÜV i ASME w zakresie gatunków stali stosowanych w energetyce jak 16Mo3, 13CrMo4-5, 10CrMo9-10, 14MoV6-3 (stale z dodatkami chromu, molibdenu, miedzi) [5]. Stale te najczęściej spawane są w zakładzie elektrodami nietopliwymi TIG, w osłonie gazu. Spoinę otrzymuje się ze stopnienia krawędzi metalu łączonego z dodatkiem spoiwa lub bez, jeziorko płynnego metalu i elektroda są chronione przed dostępem powietrza wpływającym z dyszy uchwytu elektrody gazem obojętnym chemicznie–argonem (rys. 2).





Rys. 2. Schemat obrazujący metodę spawania TIG, rysunek własny wg [6]

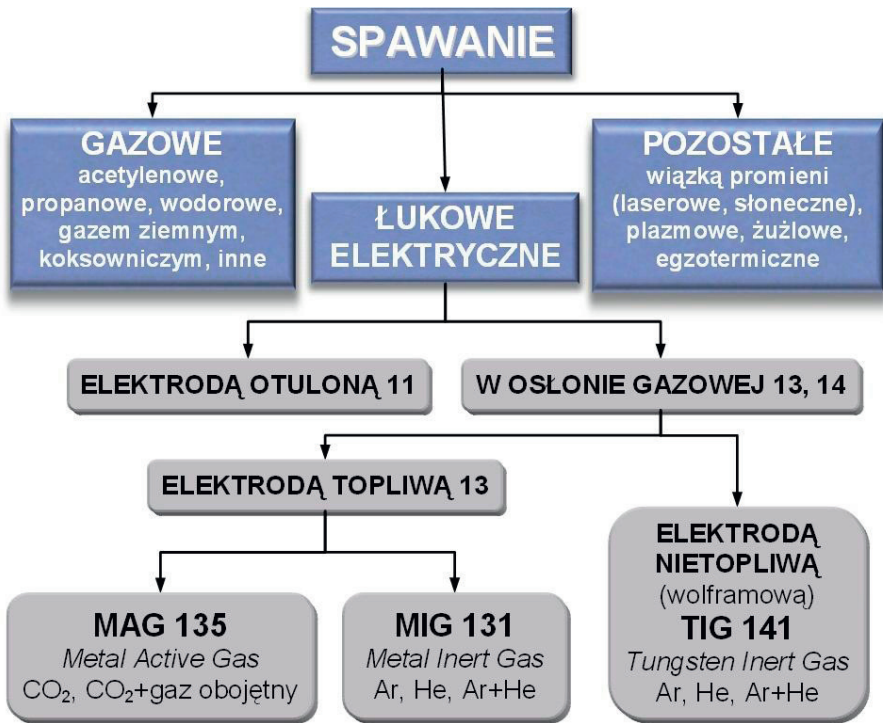
### 3. METODY SPAWANIA

Najpopularniejszą metodą spawania w budownictwie jest spawanie elektrodami otulonymi. Ma ona jednak poważną wadę, w wyniku stopienia otuliny elektrody powstaje bowiem żużel, który trzeba odbić młotkiem i oczyścić szczotką drucianą (rys. 3).



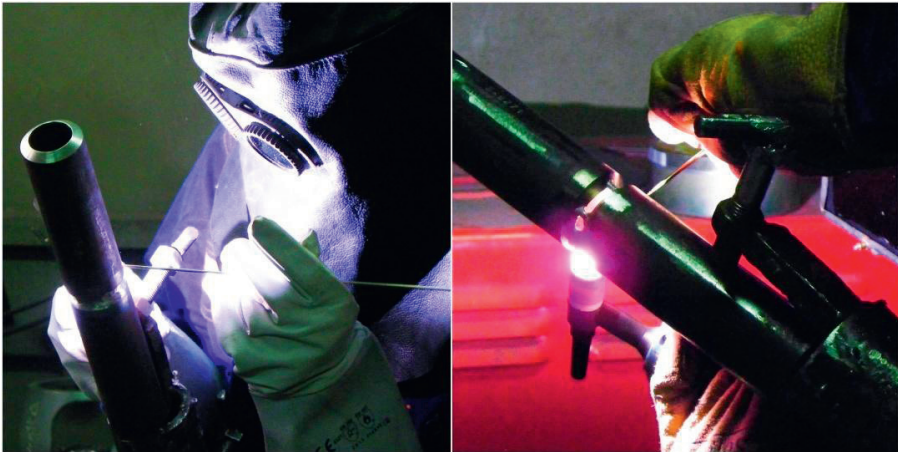
Rys. 3. Spawanie elektrodami otulonymi, oczyszczanie młotkiem i szczotką drucianą

Przy wykonywaniu grubszych spoin czasochłonna jest wymiana elektrod, w czasie spawania wydziela się dużo dymu, co wpływa na pogorszenie warunków pracy. Znacznie lepszej jakości spoiny można wykonać, spawając w osłonie gazowej w osłonie gazu aktywnego chemicznie lub obojętnego (rys. 5). Metodami tymi można spawać praktycznie w każdej pozycji, ponadto spawanie elektrodą nietopliwą umożliwia łączenie większości metali oraz ich stopów. Te zalety sprawiają, że spawanie w osłonie gazowej jest metodą znacznie częściej stosowaną w przemyśle energetycznym.



Rys. 4. Podział wybranych metod spawania wg [6]





Rys. 5. Spawanie w osłonie gazu obojętnego (argonu)

#### 4. METODY BADANIA ZŁĄCZY SPAWANYCH

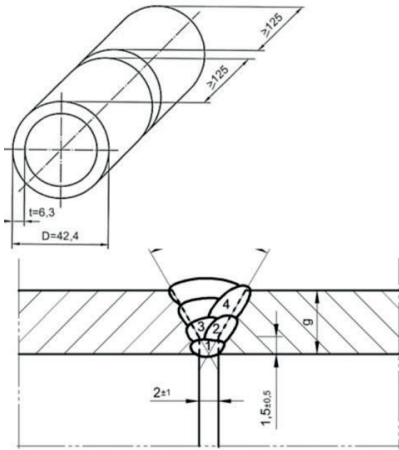
Przy sprawdzaniu jakości spawów stosuje się metody nieniszczące, takie jak oględziny zewnętrzne, badania radiograficzne lub ultradźwiękowe. Przepisy i normy odnośnie spawalnictwa określają szczegółowe wytyczne dla spawacza i osoby oceniającej jakość połączenia [4]. Przy wykonywaniu próbek zakładowych na uprawnienia wykonuje się ponadto badania niszczące pod nadzorem uprawnionego inspektora TÜV. W czasie trwania stażu autorka miała możliwość uczestniczenia w procesie kwalifikacyjnym dotyczącym złącza próbnego dla spoiny czołowej rur (rys. 6.), dla której wymagane są następujące metody badania wg tablicy 10 normy [4]:

- badanie wizualne zgodne z EN 970,
- badanie radiograficzne zgodne z EN 1435 lub
- badanie na zginanie zgodnie z EN 910 lub
- badanie na łamanie zgodnie z EN 1320.

Złącza próbne ocenia się zgodnie z wymaganiami dotyczącymi akceptacji dla odpowiednich typów niezgodności spawalniczych wg [7].

#### 5. NIEZGODNOŚCI SPAWALNICZE

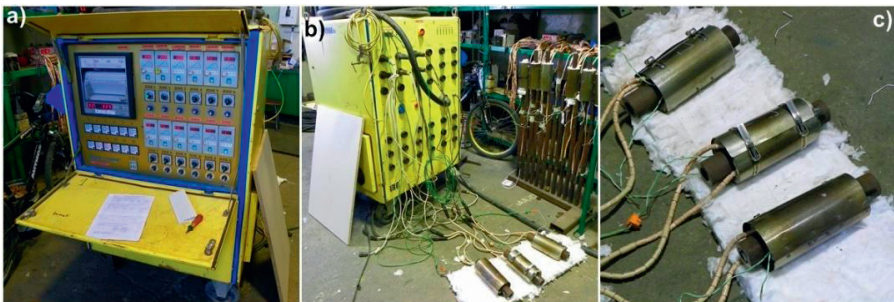
W tablicy 1 podano niezgodności spawalnicze wg [6, 8]. Jak widać, metodą nieniszczącą pozwalającą wykryć najwięcej typów niezgodności, jest badanie radiograficzne. Polega ono na wykorzystaniu zjawisk towarzyszących promieniowaniu jonizującemu (najczęściej rentgenowskiemu). Jest to badanie drogie, ale uniwersalne i skuteczne. W dalszej części artykułu omówione zostaną podstawowe metody badań z podziałem na nieniszczące i niszczące. Niektóre z nich są obligatoryjne, a niektóre można stosować zamiennie w zależności od możliwości.



Rys. 6. Próbką zakładowa do badania na uprawnienia TÜV, spawana metodą TIG

## 6. OBRÓBKA CIEPLNA

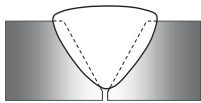



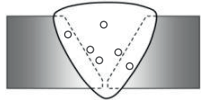



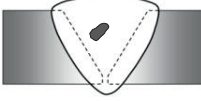



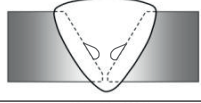



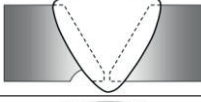



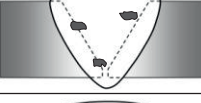



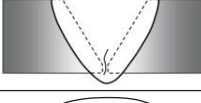



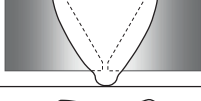



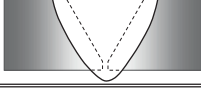






Przed rozpoczęciem cyklu badań często próbki poddaje się obróbce termicznej, ma ona na celu zmianę właściwości materiału. W przypadku połączeń spawanych najczęściej stosuje się wyżarzanie odpuszczające, polegające na nagraniu materiału do określonej temperatury, wygrzaniu (rys. 7) i ochłodzeniu z odpowiednią szybkością. Celem wyżarzania jest zmniejszenie naprężeń własnych bez wyraźnych zmian struktury i wcześniejszych właściwości.



Rys. 7. Obróbka cieplna próbek zakładowych, a, b) urządzenie kontrolujące temperaturę i czas procesu, c) próbki poddane obróbce cieplnej

Tablica 1.

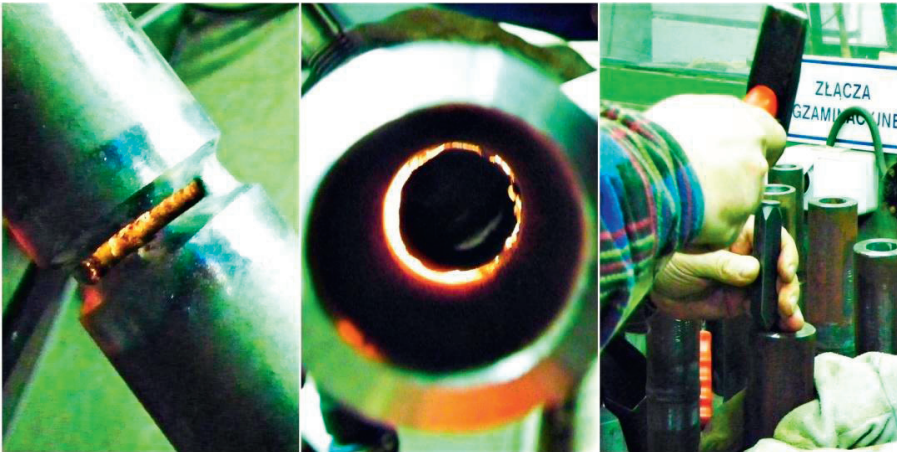
Rodzaje niezgodności spawalniczych i metody badań nieniszczących [6, 8]

RODZAJ	WYGLĄD	METODY BADANIA		
		W	R	U
brak przetopu				
pęcherze				
wtrącenia obcego metalu				
przyklejenia				
podtopienia				
wtrącenia żużła				
pęknięcia				
wyciek				
wgłębienia, nierówność lica				
 niezgodność da się wykryć zawsze,  niezgodność da się wykryć czasem,  niezgodność niewykrywalna			W – wizualne R – radiograficzne U – ultradźwiękowe	

## 7. BADANIA NIENISZCZĄCE

### Badanie wizualne

Badanie wizualne jest metodą obligatoryjną dla wszystkich złączy, jest bowiem tania, prostą i często skuteczną metodą kontroli złączy spawanych [9]. Przeprowadza się je przed wszystkimi innymi badaniami. Nie da się nim niestety wykryć wad wewnętrznych spoin, a jedynie występujące na ich powierzchni, jest też uzależnione od doświadczenia badającego. Badanie to wykonuje się gołym okiem, czasem przy pomocy prostych narzędzi (często latarki, rys. 8). Uprawniony inspektor po kontroli wizualnej zleca trwałe oznaczenie próbki swoim znakiem (rys. 8 c) i zostaje ona przekazana do dalszych badań.



Rys. 8. a, b) wizualna ocena częściowo pospawanego złącza z pomocą latarki,  
c) trwałe oznaczenie próbki znakiem inspektora

### Badanie ultradźwiękowe

Badanie ultradźwiękowe [10] polega na przepuszczeniu przez złącze fal akustycznych i odebraniu ich w postaci tzw. echa. Jest to badanie mobilne i niedrogie dzięki lekkiej i przenośnej aparaturze, ale czasem trudno je zinterpretować ze względu na trudno rozróżnialne wskazania. Jest niemożliwe do wykonania w przypadku elementów małych oraz tych, które posiadają niejednorodną strukturę (np. w przypadku stali austenitycznych).

### Badanie radiograficzne

Badanie radiograficzne polega na wykorzystaniu zjawisk przechodzenia promieniowania przez materiał. Wykorzystuje się w tym celu najczęściej promieniowanie rentgenowskie lub gamma [11]. Jako wynik badania otrzymuje się trwałe radiogram, będący płaskim dwuwymiarowym obrazem rzutu badanego

złącza. W warunkach laboratoryjnych badanie wykonuje się stałymi lampami rentgenowskimi, natomiast na placu budowy za pomocą tzw. „bomby izotopowej”. Badanie charakteryzuje się wysoką wykrywalnością niezgodności, jest uniwersalne, ale niestety kosztowne. Jest też mało mobilne, przewiezienie bowiem materiałów promieniotwórczych jest kłopotliwe i wymaga spełnienia wielu procedur bezpieczeństwa, szczególnie przy przekraczaniu granic państw.

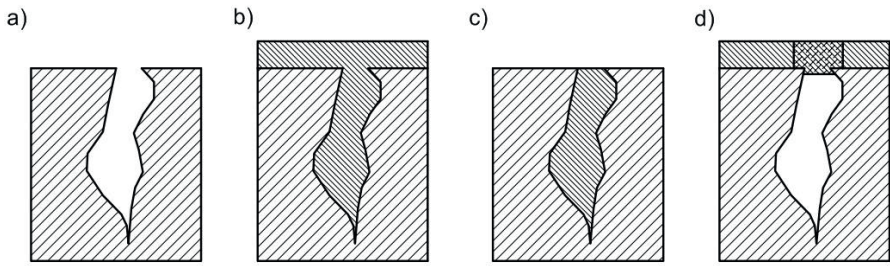
### Badanie penetracyjne

Kolejnym często stosowanym badaniem nieniszczącym jest badanie penetracyjne [12], wykonywane przy użyciu specjalnego zestawu preparatów. Badania te należą do najstarszych metod badań nieniszczących, wykorzystywane są do wykrywania nieciągłości materiałowych na powierzchni złączy spawanych [13]. Kontrolowane złącze oczyszcza się i na jego powierzchnię nanosi penetranty, które wnikają w nieciągłości powierzchniowe. Po upływie określonego czasu nadmiar penetrantu usuwa się zmywaczem i nanosi wywoływacz, który wchłania penetrant pozostały w nieciągłościach (rys. 9b). Zasada ich wykonania opiera się na wykorzystaniu zjawiska kapilarności, schemat faz badania penetracyjnego pokazano na rys. 10.



**Rys. 9.** a) podpora w czasie spawania, b) badanie penetracyjne spoin, naniesiony wywoływacz w postaci białego proszku, kolor różowy to penetrant ujawniający nieciągłość spoiny





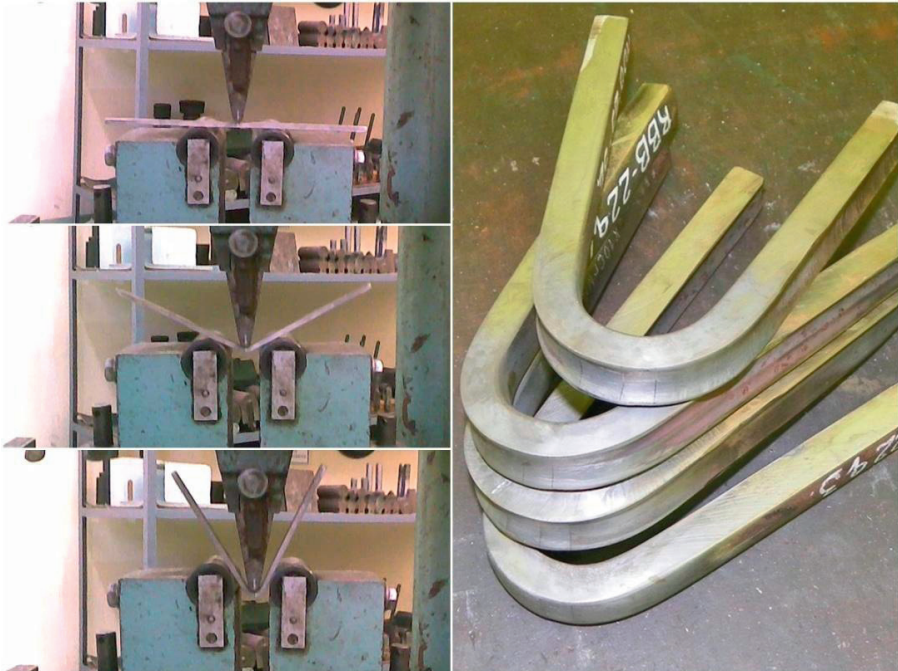
**Rys. 10.** Schemat podstawowych faz badania penetracyjnego wg [13];

a) przygotowanie i oczyszczenie, b) naniesienie i wnikanie penetrantu, c) usunięcie nadmiaru penetrantu, d) naniesienie wywoływacza – ujawnia się nieciągłość

## 8. BADANIA NISZCZĄCE

### Próba zginania

Ze złącza, które uzyskało pozytywną ocenę z badań nieniszczących, pobiera się próbki według procedur podanych w [14], na których wykonuje się badania niszczące.



**Rys. 11.** Próbką podczas próby zginania na podporach rolkowych

Jednym z nich jest próba gięcia, w zależności od grubości próbki wykonuje się próbę zginania bocznego lub próbę z rozciąganiem grani oraz lica. Umożliwia ona określenie własności plastycznych złącza. Próbę zginania przeprowadza się, umieszczając próbkę na dwóch rolkowych podporach, ze spoiną usytuowaną w środku między podporami (rys. 11). Próbkę zgina się obciążeniem ciągłym. Wynik próby uznaje się za pozytywny, jeżeli po zgięciu próbki po rozciągniętej stronie próbki nie występują pęknięcia o długości  $\geq 3$  mm [15].

### Próba udarności

Badanie udarności [17] ma na celu ocenę zachowania się złącza w warunkach sprzyjających kruchemu pękaniu pod wpływem dynamicznego działania siły. Na próbce wykonuje się karb za pomocą frezowania lub wiercenia i przecinania z zachowaniem wymaganych tolerancji wymiarowych, ma to na celu wywołanie spiętrzenia naprężeń powodującego pęknięcie próbki wykonanej z materiału plastycznego. Badanie wykonuje się urządzeniem nazywanym młotem Charpy'ego o stałym lub zmiennym zasobie energii potencjalnej (rys. 12).



Rys. 12. Próbkę podczas badania udarności młotem Charpy'ego

## 9. UWAGI KOŃCOWE

Ocenę jakości złączy przebadanych kilkoma niezależnymi metodami można zaliczyć do najbardziej obiektywnych. Wybór poszczególnych metod badawczych uzależniony jest od wielu czynników: miejsca wykonywania badań, urządzeń do przeprowadzenia badań, uprawnionego personelu, kosztów badania, itp. Decydować należy się na te metody badań, których użycie jest uzasadnione i wynika z analizy ich przydatności [8].

Ocena jakości wykonania omawianych złączy spawanych na podstawie badań wizualnych i niszczących wykazała, że spoiny zostały dobrze wykonane. Wynika z tego, że spawanie stali stosowanych w energetyce z zastosowaniem gazów ochronnych daje złącza spawane dobrej jakości, co powinno być uwzględnione przy projektowaniu procesów spawania.

Wraz z wejściem w życie eurokodów zmienić się musi również podejście do wykonawstwa i kontroli spoin w budownictwie. Ze względu na dokładniejsze metody analizy i konieczność uwzględniania w obliczeniach statyczno-wytrzymałościowych nieliniowej pracy złączy konstrukcji stalowych (tzw. złącza podatne) duże znaczenie będzie miała jakość wykonanych złączy i ocena, czy ich wykonanie odpowiada przyjętym założeniom obliczeniowym. Eurokod 3 [18] pozwala przyjmować do obliczeń pełną wytrzymałość obliczeniową spoiny czołowej bez redukcji, pod warunkiem wykonania jej z pełnym przetopem. Pojawia się w tym momencie problem kontroli, czy faktycznie spoina została wykonana prawidłowo.

Zakłady energetyczne mogą być doskonałym wzorem dla branży budowlanej jak należy szkolić i kontrolować spawaczy, wykonujących odpowiedzialne połączenia zarówno w wytwórniach, jak i na placu budowy.

## PODZIĘKOWANIA

Autorka składa serdeczne podziękowanie firmie REMAK SA z Prezesem Markiem Brejwo na czele, za pomoc i życzliwość okazane w czasie odbywania stażu. Szczególnie ciepłe podziękowania należą się zespołowi Działu Konstruktoryjnego i jego kierownikowi Janowi Pikowi.

## LITERATURA

- [1] PN-87/M-69009 Spawalnictwo. Zakłady stosujące procesy spawalnicze.
- [2] Materiały informacyjne, referencje oraz katalogi firmy REMAK SA.
- [3] PN-87/M-69008 Spawalnictwo. Klasyfikacja konstrukcji spawanych.
- [4] PN-EN 287-1 Egzamin kwalifikacyjny spawaczy. Spawanie. Część 1: Stale.
- [5] PN-EN 10216-2 Rury stalowe bez szwu do zastosowań ciśnieniowych - Warunki techniczne dostawy - Część 2: Rury ze stali niestopowych i stopowych z określonymi własnościami w temperaturze podwyższonej.
- [6] Technika spawalnicza w praktyce. Poradnik inżyniera, konstruktora i technologa. Pod redakcją K. Ferencza. Verlag Dashofer, Warszawa 2007.



- [7] PN-EN ISO 5817 Spawanie. Złącza spawane ze stali, niklu tytanu i ich stopów. Poziomy jakości według niezgodności spawalniczych.
- [8] CZUCHRYJ J., WALASEK-KONIOR K., KONDOSZEK S.: Problemy oceny jakości złączy próbných wykonywanych przez spawaczy podczas egzaminów kwalifikacyjnych, Biuletyn Instytutu Spawalnictwa w Gliwicach 2/2009.
- [9] PN EN 970 Spawalnictwo. Badania nieniszczące złączy spawanych. Badania wizualne.
- [10] PN-EN 583-1 Badania nieniszczące – Badania ultradźwiękowe – Część 1: Zasady ogólne.
- [11] PN-EN 1435 Badania nieniszczące złączy spawanych – Badania radiograficzne złączy spawanych.
- [12] PN-EN 571-1 Badania nieniszczące – Badania penetracyjne – Zasady ogólne.
- [13] CZUCHRAJ J., STACHURSKI M.: Badania złączy spawanych wg norm europejskich. Kontrola penetracyjna i magnetyczno-proszkowa. Biuro Gamma, Warszawa 2003.
- [14] PN-EN ISO 377 Stale i wyroby stalowe. Pobieranie i przygotowanie odinków próbných i próbek do badań własności mechanicznych.
- [15] PN-EN 910 Spawalnictwo. Badania niszczące spawanych złączy metali. Próby zginania.
- [16] PN-EN 895 Badania niszczące spawanych złączy metali. Próba rozciągania próbek poprzecznych.
- [17] PN-EN 875 Spawalnictwo. Badania niszczące spawanych złączy metali. Próba udarowości. Usytuowanie próbek, kierunek karbu i badanie.
- [18] PN-EN 1993-1-8 Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-8: Projektowanie węzłów.

# Rozdział 6

Jarosław Mamala\*

## **Identyfikacja protokołu transmisji magistrali CAN w układzie napędowym samochodu osobowego** *Identification of the can bus protocol in powertrain of passenger car*

**Streszczenie:** W pracy przedstawiono wybrane problemy związane z identyfikacją protokołu CAN w samochodach osobowych. Wyniki wstępnej identyfikacji porównano z odpowiadającymi sygnałami standardu OBDII. Zwrócono uwagę na różnorodność elementów elektronicznych, z których wykonano magistralę CAN, a które determinują fizyczną stronę transmisji. Rozpoznanie i identyfikacja transmisji daje nowe możliwości, nie tylko w zakresie kontroli parametrów pracy np. układu napędowego samochodu, ale również w procesie diagnostycznym w kwestii oceny poprawności jego pracy.

**Abstract:** This paper presents selected problems associated with the identification of CAN protocol in passenger cars. The results of initial identification are compared with signals in OBDII standard corresponding to them. An emphasis is placed on the variety of electronic elements that can form CAN bus and determine the physical nature of the transmission. The identification of transmission models offers new possibilities not only in terms of control of the operational parameters of a car powertrain but also in the diagnostics concerned with the assessment of its correct operating parameters.

---

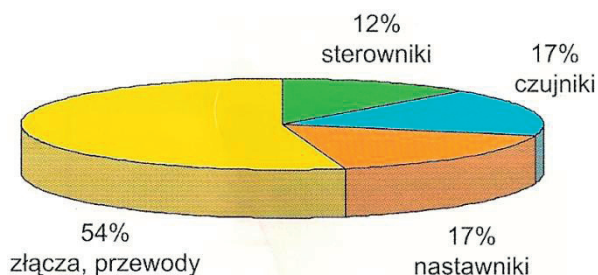
\* Politechnika Opolska, ul. S. Mikołajczyka 5, 45-271 Opole, e-mail: j.mamala@po.opole.pl

## 1. WPROWADZENIE

We współczesnych samochodach osobowych stosuje się najnowsze technologie elektroniczne i informacyjne, które zarządzają już nie tylko pracą samego silnika, ale również pracą pozostałych podzespołów, w tym na przykład układu napędowego. Pierwsze układy elektroniczne pojawiły się w samochodach w latach 60., jednak ich gwałtowny rozwój nastąpił pod koniec lat 80. ubiegłego wieku [7, 8]. Zastosowanie coraz większej liczby elektronicznych układów w samochodzie, z jednej strony umożliwiło poprawę bezpieczeństwa, komfortu jazdy, zwiększenie mocy silnika oraz zmniejszenia kosztów eksploatacji. Z drugiej strony doprowadziło to do wzrostu awaryjności całego samochodu spowodowanych wzrostem ilości sterowników, połączeń oraz długości przewodów instalacji elektrycznej, co zostało przedstawione na rysunku 1 [8, 10].

Dopiero nowe standardy transmisji dla pokładowych sieci wymiany danych opracowane w latach osiemdziesiątych, oparte na elektronicznych systemach przesyłu danych Databus (Binary Unit System) skutkowały powstaniem nowego protokołu transmisji CAN (Controller Area Network) [4, 8, 10]. Zaś już we wczesnych latach dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku istniała potrzeba opracowania jednolitego standardu, który sprecyzowałby i ujednolicił transmisje elektronicznego przesyłania danych. W wyniku tych prac opracowano standardy transmisji, które przedstawiono w różnych dokumentach np. dla:

- pojazdów rolniczych: ISO 11783 pt. An Electronic Communications Protocol for Agricultural Equipment, odpowiadający Niemieckiemu standardowi DIN 9684 oraz Amerykańskiemu SAE J1939;
- pojazdów drogowych: SAE J1850 (również norma DIN ISO 9141-2); SAE J1930, SAE J1939, ISO J2411, ISO 11519, ISO 11898-2.



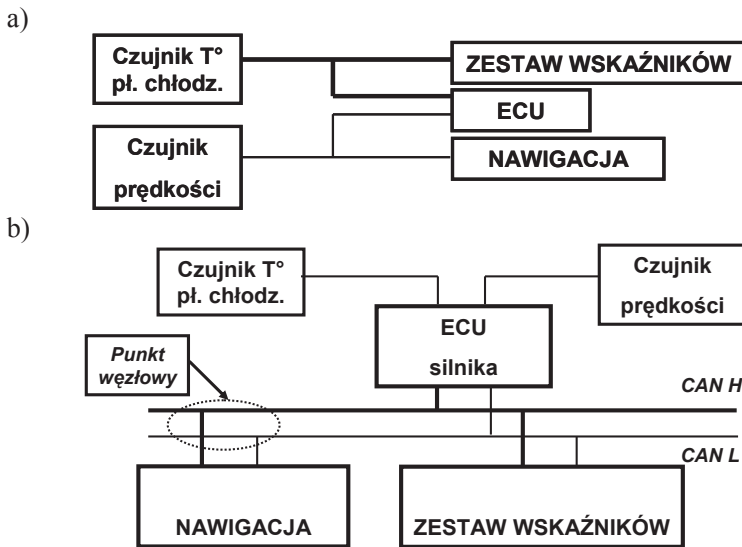
Rys. 1. Awaryjność komponentów elektronicznych w pojazdach drogowych [5]

Zostały określone nowe wymagania dla sterowników pokładowych sieci danych mające na celu udoskonalenie funkcjonowania samochodowej instalacji elektrycznej. Głównie przez połączenie kilku funkcji, realizowanych przez różne sterowniki, przez dany podzespół w obrębie jednego układu sterującego. Rozwiązanie takie pozwoliło na zmniejszenie ilości sterowników oraz dzięki takiemu rozwiązaniu, wiele informacji może być jednocześnie wykorzystywanych

przez kilka urządzeń sterujących. Dodatkową zaletą takiego rozwiązania jest eliminacja konieczności dublowania połączeń elektrycznych i instalowania niezrządowo kilku jednakowych czujników. Ponadto magistrale CAN to normowane magistrale czasu rzeczywistego.

## 2. BUDOWA MAGISTRALI CAN

Magistrala CAN zastępuje tradycyjną instalację, opartą na przepływie analogowych sygnałów szeregową transmisją cyfrową, w której informacje między sterownikami są wymieniane w czasie rzeczywistym, za pośrednictwem jednego wspólnego łącza elektrycznego (rys. 2)



Rys. 2. Zmiana systemu sterowania poszczególnych urządzeń samochodowych:  
a) instalacja tradycyjna, b) magistrala CAN

W ten sposób uzyskuje się fizyczne połączenie dwóch lub więcej sterowników, urządzeń zawierających układy mikroprocesorowe. Jedną z istotnych zalet magistrali CAN jest łatwość jej dalszego rozbudowywania, podłączenie nowego sterownika wymaga tylko jego odpowiednie oprogramowanie. Ważną cechą magistrali CAN jest jej odporność na zakłócenia od zewnętrznych pól elektromagnetycznych dzięki temu, że sygnał przesyłany przez magistralę oparty jest na dwóch poziomach napięć odpowiadających logicznemu 0 lub 1. Sygnał cyfrowy oparty na liczbach zerojedynkowych jest pozbawiony opóźnień, przekłamań w przekazywanych informacjach.

Z uwagi na różnorodność producentów samochodów na ich potrzeby opracowano kilka standardów transmisji [6, 7, 8]:

- VAN – Vehicle Area Network: protokół wykorzystywany przez koncern PSA (Peugeot, Citroën) – Europa,
- CAN – Controller Area Network: protokół wykorzystywany przez firmy PSA, VW, MERCEDES, BMW, VOLVO, RENAULT i inne opracowane przez firmę Robert Bosch – Europa,
- J1850: protokół wykorzystywany przez firmy CHRYSLER, GM, FORD – USA,
- BEAN: Body Electronic Area Network: protokół wykorzystywany przez firmę TOYOTA – Azja.

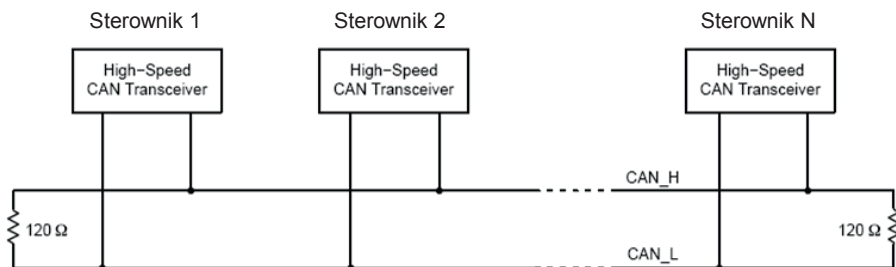
Różnorodność układów i protokołów transmisji pozwoliła na opracowanie kilku standardów, które obsługują wszystkie zastosowania pojazdowe. Zdefiniowano je w dokumencie SAE J1850 w następujący sposób:

- **Klasa A:** do przesyłu informacji między sterownikami typu Master/Slave przy wykorzystaniu jednej linii transmisyjnej, niskie transfery, niskie koszty, sieci typu LIN (Local Interconnect Network);
- **Klasa B:** pozwala na eliminację nadmiernej liczby czujników przy szybkości do 125 kbit/s, często określana jako CAN Low Speed, używana w samochodach ciężarowych;
- **Klasa C:** odmiana klasy B z dużą odpornością na błędy, niezawodna komunikacja, wykorzystywana do wysokich transferów 1 Mbit/s, często określana jako CAN High Speed. Wykorzystywana w układach pracujących w czasie rzeczywistym, takich jak: ABS, ESP, ECU silnika, PCM układu napędowego i inne;
- **Klasa D:** do światłowodowego przesyłania danych, wysokie transfery powyżej 1Mbit/s, wykorzystywana do komunikacji multimedialnej.

W jednym samochodzie mogą występować różne klasy, które współpracują ze sobą za pomocą tzw. mostków łączących (BSI – z fran. Boîtier de servitude intelligent, inteligentny moduł sterujący czy Geteway z ang. bramka). Zadaniem tego urządzenia, składającego się z mikroprocesora oraz zapisanego w pamięci programu do obsługi sieci pokładowej, często określanego jako sterownik magistrali CAN, jest zapewnienie wymiany informacji pomiędzy poszczególnymi sterownikami podłączonymi do magistrali. Zadaniem mostków łączących jest realizacja następujących funkcji [12]:

- **zamiana formatu kodu danych** przesyłanych pomiędzy podstawową i rozszerzoną magistralą CAN-Bus;
- **przetwarzanie** informacji napływających i wysyłanych magistralą CAN, niezbędnych do funkcjonowania sterownika sieci pokładowej;
- **konwerter danych**, zamieniając kod informacji przesyłanych magistralą CAN na kod, który jest wykorzystywany w przesyłaniu danych przewodem K (OBDII lub EOBD).

Najprostsza magistrala składa się przynajmniej z dwóch sterowników (rys. 3) wyposażonych w układ nadajnik/odbiornik (Transceiver), którego parametry muszą być zgodne z przyjętym standardem przesyłu danych i tworzą punkty węzłowe sieci CAN.



Rys. 3. Sposób podłączenia układu nadajnik/odbiornik do magistrali CAN [3]

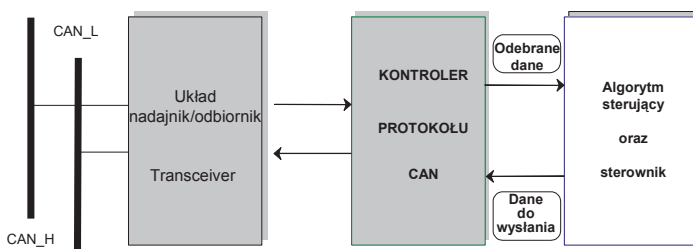
Przykładową charakterystykę układów nadajnik/odbiornik podano w tabeli nr 1, a więcej informacji można znaleźć na stronie internetowej pod adresem [www.can-cia.org](http://www.can-cia.org) [1, 2, 3].

Tabela 1.

Charakterystyka układu Transceiver zgodna z ISO 11898-2 [2]

Wytwórca	Bosch	Mietec	Philips Semiconductors	Philips Semiconductors	SGS-Thomson	Temic (Siliconix)	Unitrode
typ.	CF150B	MTC-3054	82C250	82C251	L9615	S19200EY	UC5350
max. częstotl. [Mbd]	0.5	1	1	1	0.5	1	1
short circuit [V]	-5...+36	-3...+65	-8...+18	-36...+36	-5...+36	GND...+16	-8...+36
transient [V]	-200...+200	-200...+200	-150...+100	-200...+200	-200...+200	-60...+60	-150...+100
ESD [kV]	2	2	2	2.5	2	2	2
zabezp. termiczne	(1,2)	b.d.	tak	tak	(1, 2)	tak	tak
slope control	zał/wył	zmiennie	zmiennie	zmiennie	zał/wył	nie	zmiennie
CMR [V]	-2...+7 (3)	-7...+12	-7...+12	-7...+12	-2...+7 (3)	-2...+7	-25...+18
opóźnienie [ns]	230	100	170	170	230	120 (4)	100 (4)
obciążalność wyj. (5)	32	32	64 (110)	110	32	32	n.a. (6)
prąd zasilania [mA]	<80	110	<70	<80	<80	70	70
prąd spoczynk. [µA]	b.d.	300	<170	<250	n.a.	n.a.	1000
obudowa	SOIC-8	SOP-16	SO-8, DIP-8	SO-8, DIP-8	SO-8	SO-8	SOIC-8, DIL-8

Sterownik podłączony jest do magistrali CAN, odpowiednio do przewodu oznaczonego jako CAN\_H (Can High) oraz CAN\_L (Can Low) tworzących parę przewodów zwaną skrętką. Układ nadajnik/odbiornik (rys. 4) jest odpowiedzialny za fizyczną stronę przesyłu informacji, tj. za dostosowanie poziomu napięć sygnałów i prędkości przesyłu sygnału. Wówczas informacja może być odczytana i przetworzona przez sterownik urządzenia.



Rys. 4. Sposób podłączenia układu nadajnik/odbiornik do magistrali CAN BUS [12]

Magistrala jest zakończona po obu brzegach odpowiednią impedancją za pomocą odpowiednich terminatorów najczęściej około  $124\Omega$  i jest zależna od długości skrętki i prędkości transmisji (tabela nr 2). Przyjmuje się, że iloczyn długości magistrali i szybkość transferu jest wielkością stałą:

$$\text{Maksymalna długość magistrali} \times \text{szybkość przesyłu} = \text{constans} \quad (1)$$

Tabela 2.

Dane techniczne przewodów magistrali CAN [1]

Długość magistrali	Przewód magistrali		Wartość rezyst. „transceivera”	Maksymalna szybkość transmisji
	rezystancja	przekrój		
0÷40 m	70 mΩ/m	0,25÷0,34 mm <sup>2</sup>	124 Ω	1 Mb/s przy 40 m
40÷300 m	<60 mΩ/m	0,34÷0,50 mm <sup>2</sup>	127 Ω	500 kb/s przy 100 m
300÷600 m	<40 mΩ/m	0,50÷0,60 mm <sup>2</sup>	150÷300 Ω	100 kb/s przy 500 m
600÷1000 m	<26 mΩ/m	0,75÷0,80 mm <sup>2</sup>	150÷300 Ω	50 kb/s przy 1 km

Ograniczenie te wynikają z następujących zjawisk fizycznych:

- opóźnienia w pętli połączonych węzłów sieci i opóźnienia na liniach magistrali,
- różnice w długości kwantów czasu związane z tolerancją częstotliwości oscylatorów między węzłami,
- spadek amplitudy sygnałów związany z rezystywnością przewodów oraz z rezystancjami wejściowymi węzłów.

Również spotyka się magistrale o regulowanej czy zmiennej oporności, wyposażone są one w element czynny w postaci tranzystora zabudowanego w sterowniku.

Warstwa fizyczna magistrali CAN określa prędkość transmisji danych między węzłami w sieci oraz wynikający czas trwania każdego bitu, który jest określony przez cztery nienakładające się segmenty. Każdy segment zbudowany jest z całkowitej wielokrotności kwantów czasu. Kwant czasu jest najmniejszym dyskretnym czasem, rozróżnianym przez węzeł sieci CAN, a jego długość jest określona przez programowany dzielnik częstotliwości oscylatora węzła CAN.



Wartość minimalna wynosi 8, a wartość maksymalna 25 kwantów czasu na bit. Czas trwania bitu określony jest przez zaprogramowanie szerokości kwantu czasu oraz ilości kwantów czasu w różnych segmentach. Odbywa to się w sterowniku sieci CAN.

Zasadniczo okres trwania bitu CAN może być podzielony na cztery segmenty, a każdy segment składa się z pewnej liczby kwantów czasu:

- SYNC\_SEG ma 1 kwant czasu. Jest używany do synchronizacji różnych węzłów magistrali.
- PROP\_SEG ma programowalną długość 1, 2,... 8 kwantów czasu. Jest on wykorzystywany do kompensacji opóźnień wzdłuż sieci.
- PHASE\_SEG1 programowalną długość 1, 2,... 8 kwantów czasu. Jest on wykorzystywany do kompensacji błędów fazowych z boczny i może być wydłużany podczas resynchronizacji.
- PHASE\_SEG2 równy jest maksimum PHASE\_SEG1 i czasu przetwarzania informacji. Jest on wykorzystywany do kompensacji błędów fazowych z boczny i może być skracany podczas resynchronizacji.

W warstwie fizycznej występują opóźnienia przesyłu sygnału na magistrali CAN, w sterownikach i punktach węzłowych sieci, dlatego konieczne jest kompensowanie tego czasu przez sterowniki sieci CAN. Suma czasów opóźnień w sterowniku, opcjonalnej izolacji galwanicznej, układach nadajnika/odbiornika i na magistrali musi być mniejsza od czasu segmentu propagacji (Prop\_Seg) w jednym bicie. Przekroczenie tego czasu jest określane jako stan braku synchronizacji sieci CAN, co stanowi o błędzie sieci.

Należy dodać następujące opóźnienia, zależnie od wybranych składników: sterownik CAN (50 ns do 62 ns), optoizolacja (40 ns do 140 ns), nadajnik/odbiornik (120 ns do 250 ns) i przewód magistrali (około 5 ns/m). Opóźnienia te należy uwzględnić podwójnie, ponieważ po synchronizacji najodleglejszy węzeł oczekuje na zbocze z opóźnieniem równym czasowi propagacji i nadajnik oczekuje przez drugi okres czasu propagacji, aby zagwarantować, że bity identyfikatora lub też bit potwierdzenia odbiornika są ważne. Wykorzystując te informacje oraz dane zawarte w tabelach nr 1 i 2 oraz szybkich układów optoizolacyjnych można obliczyć maksymalną długość magistrali przy prędkości 1 Mbit/s, która wynosi 9 m [2].

Czas propagacji można zapisać równaniem (2)

$$t_{\text{propagation}} = 2 ( t_{\text{cable}} + t_{\text{controler}} + t_{\text{otocoupler}} + t_{\text{transceiver}} ) \quad (2)$$

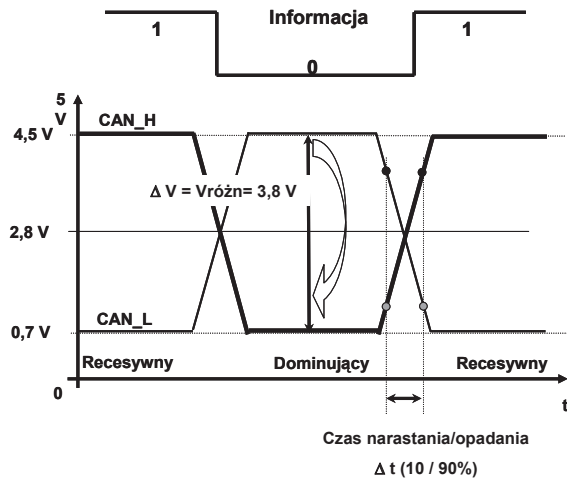
Ograniczeniu długości ulegają również boczne odgałęzienia magistrali i dla szybkich magistrali nie powinny wynosić więcej niż 1 m.

Przebieg transmisji w magistrali CAN można podglądać na oscyloskopie, obserwując zmianę napięcia linia CAN\_H lub CAN\_L, potocznie przebieg ten nazywany jest grzebieniem. Stąd podstawą przesyłu informacji w magistrali CAN jest różnica napięcia pomiędzy liniami magistrali CAN, wywoływana

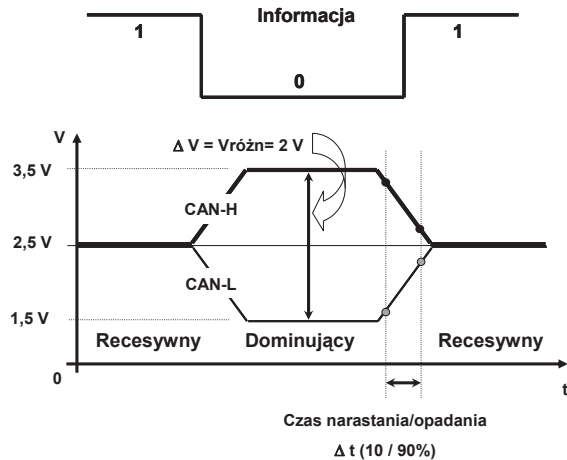


przez układ nadajnik/odbiornik. Napięcia te zależą od przyjętej klasy, prędkości transmisji i różnicy potencjałów (rys. 5).

a)



b)



**Rys. 5.** Różnice potencjałów w magistrali CAN: a) CAN Low Speed zgodny z ISO 11519, b) CAN High Speed zgodnej z ISO 11898-2

Stan recesywny magistrali CAN High Speed występuje, gdy napięcie na linii CAN\_H jest równe napięciu na linii CAN\_L i wynosi około 2,5 [V]. Gdy napięcie linii CAN\_H jest co najmniej o 2 [V] wyższe niż na linii CAN\_L wtedy powinien być rozpoznawany dominujący stan magistrali. Nominalne napięcie dla stanu dominującego wynosi 3.6 [V] dla linii CAN\_H oraz 1.4 [V] dla linii CAN\_L.

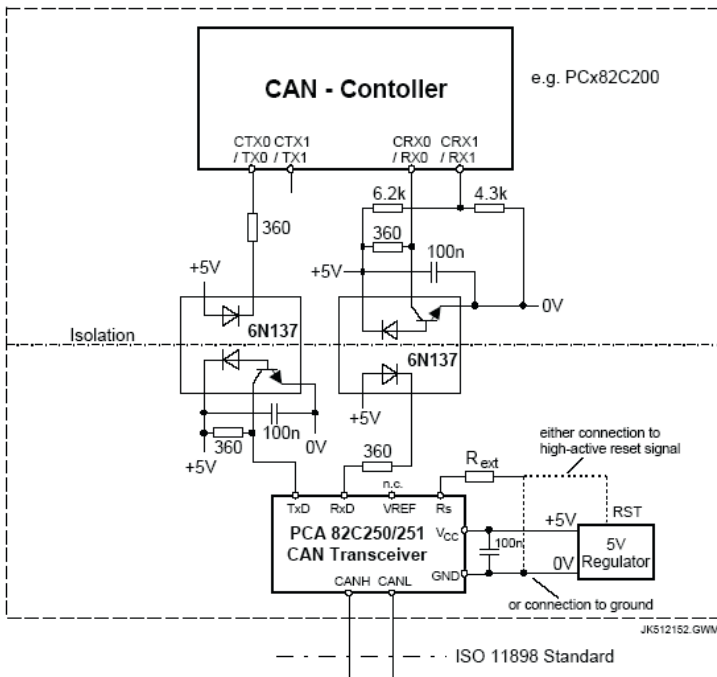
### 3. IDENTYFIKACJA PROTOKOŁU TRANSMISJI CAN

Pomimo obszernych dokumentacji serwisowych informacje na temat protokołów transmisji są lakoniczne lub pobieżne [12]. Szczegółowo są opisane procesy diagnostyczne w oparciu o standard transmisji danych OBDII. Polega to na tym, że informacje diagnostyczne są otrzymywane ze sterownika magistrali CAN w postaci sygnału analogowego przewodem K, który następnie w urządzeniu diagnostycznym OBDII jest dekodowany na odpowiedni kod usterki. Dostęp do bezpośrednich danych magistrali jest utrudniony. Wielu producentów, pomimo wyprowadzenia magistrali CAN do złącza diagnostycznego na piny 6 i 14, nie udostępnia informacji z magistrali dalej. Dzieje się to tak za sprawą sterowników magistrali CAN, za pośrednictwem których jest prowadzony ogólnodostępny proces diagnostyki OBDII. Zajmują się one przekazywaniem różnych informacji pochodzących z magistrali CAN na format akceptowany przez tester diagnostyczny podłączony do złącza diagnostycznego jak również przesyłaniem informacji w drugą stronę – tj. z testera diagnostycznego do odpowiednich sterowników poszczególnych urządzeń podłączonych do magistrali CAN.

Można wyróżnić trzy sposoby komunikacji pomiędzy sterownikami sieci CAN a testerami diagnostycznymi – albo bezpośredni dostęp do magistrali CAN, albo za pośrednictwem standardu OBDII. I tak, jeśli sterownik magistrali CAN stwierdzi, że tester diagnostyczny jest przystosowany do transmisji danych magistralą, uruchomiona zostanie specjalna procedura inicjująca takie połączenie. Procedura dostępna tylko dla firmowych testerów przystosowanych do współpracy z daną marką. W przeciwnym przypadku, gdy sterownik nie wykryje możliwości przekazywania danych magistralą, to dane do czytelnika zostaną przekazane przez standard OBDII. Trzeci sposób to wyprowadzenie magistrali bezpośrednio do złącza diagnostycznego jako wolny węzeł sieci CAN.

Prowadzenie diagnostyki za pośrednictwem magistrali CAN oferuje więcej możliwości niż standardowa diagnostyka OBDII. Najistotniejszymi zaletami tego rozwiązania są szybsza transmisja danych w czasie rzeczywistym oraz przewidywana do wykorzystania w przyszłości możliwość przeprogramowywania poszczególnych sterowników.

Do identyfikacji protokołu transmisji CAN wykorzystano urządzenie firmy SYS-TEC o numerze GW-002, które znajduje się na wyposażeniu Katedry Pojazdów Drogowych i Rolniczych Politechniki Opolskiej. Urządzenie to współpracuje z programem PCANVIEW, specjalistyczną nakładką programową CANbus Toolset firmy Expert Control pracującą w środowisku Matlab/Simulink [1] oraz programem LabViewu. Interfejs GW 002 jest przeznaczony do odczytu transmisji w standardzie klasy C. Posiada wbudowany układ nadajnik/odbiornik typu 82C250 od prędkości transferu 250 kbit/s.



Rys. 6. Sposób połączenia w magistrali CAN transceiwera'a 82C250/251 [2]

Wskazany układ 82C250 powinien być kompatybilny z tym, co występuje w sieci pokładowej pojazdu. Zatem ważnym elementem w procesie identyfikacji protokołu transmisji magistrali jest rozpoznanie marki i typu układu nadajnik/odbiornik. Zastosowany układ odpowiada określonym standardom, które są zgodne z normą ISO i przypisane są z reguły do odpowiedniego protokołu transmisji. Opisywany powyżej standard transmisji CAN High Speed posiada z reguły układ nadajnik/odbiornik (transceiver) typu 82C250/82C251. Fizyczne podłączenie układu 82C250 do magistrali CAN zostało przedstawione na rysunku 6 [2]. Informacje serwisowe nie podają takich szczegółów jak np. typ układu nadajnik/odbiornik. Można go natomiast zidentyfikować na elemencie wykonawczym urządzenia po jego demontażu.

Różnorodność producentów samochodów oraz stosowanych układów, z których zbudowano magistralę CAN BUS, powoduje, iż pomimo standaryzacji, różnią się one szczegółami wykonania i nie są w pełni kompatybilne np. co do poziomu napięcia czy formowania ramki transmisji. Dlatego w ofercie firmy SYS-TEC są urządzenia do konwersji różnych poziomów napięć, dostosowujące je do oferowanych interfejsów. Podobne rozwiązanie proponuje firma Vector CAN.

### 3.1. Obiekt identyfikacji

Proces identyfikacji przeprowadzono w samochodzie osobowym Mercedes-Benz, serii B180 (rys. 7). Samochód był wyposażony w silnik o zapłonie samoczynnym o mocy 80 kW oraz 6-biegową manualną skrzynię biegów, jego data produkcji określona została na rok 2009. Ponadto był wyposażony w liczne urządzenia wspomagające pracę kierowcy, takie jak ABS, ESP, BAS, Tempomat, Climatronic, układ komfortu, elektromechaniczny parametryczny układ kierowniczy - Steer Control. Ilość urządzeń dodatkowych mogła wskazywać na rozbudowaną transmisję przepływających informacji na magistrali CAN.



Rys. 7. Auto testowe Mercedes-Benz B180

Samochód posiadał standardowe złącze diagnostyczne 16-pinowe z wyprowadzoną magistralą CAN na piny 6 i 14. Po podłączeniu jednak diagnostyki nie zaobserwowano zmiany napięcia na linii CAN\_H oraz CAN\_L. Natomiast specjalistyczny tester diagnostyczny podłączony do tego złącza komunikował się ze sterownikiem magistrali CAN w pojeździe prawidłowo. Również prawidłowo przebiegał proces diagnostyki w oparciu o standardowy protokół OBDII za pomocą interfejsu wyposażonego w mikrokontroler PIC opracowany przez firmę CarCodeMueller o nazwie ELM327.

Dopiero podłączenie interfejsu GW 002 bezpośrednio w linię magistrali CAN przed mostkiem łączącym sieci, pozwoliło na monitorowanie transmisji.

Getaway znajduje się na słupku drzwi przednich prawych, pod tapicerką w miejscu, gdzie zaczyna się deska rozdzielcza samochodu (rys. 8).



Rys. 8. Miejsce występowania mostka łączącego w samochodzie Mercedes – Benz B180

Po podłączeniu interfejsu do magistrali CAN, przed jej skanowaniem za pomocą programu PCANVIEW należy wybrać typ Magistrali – Standard lub Extended oraz określić prędkość transmisji. W testowym aucie zastosowano standardową magistralę przy prędkości 500 kbit/s. Po uzyskaniu połączenia zaobserwowano 31 ramek transmisyjnych. Odczytywane dane są sortowane i wyświetlane od wartości najmniejszej do największej względem pierwszej kolumny (rys. 9).

Message	Length	Data	Period	Count	RTR-Per.	RTR-Cnt.
101h	8	41 48 00 00 00 00 00 00	20	21		0
111h	8	03 F2 3E 6B 00 00 00 00	20	2		0
200h	8	02 0C 00 00 00 00 00 00	20	164		0
208h	8	00 20 60 00 00 00 00 00	20	164		0
210h	8	00 00 00 00 40 00 7F 00	20	159		0
212h	8	03 84 47 24 27 24 87 24	20	159		0
232h	4	47 FF 00 FF	10	435		0
236h	8	0D 9F 10 00 14 FF FF E8	10	435		0
238h	8	00 00 8A 61 FF 00 00 00	21	217		0
240h	8	00 12 00 00 00 00 00 00	20	166		0
248h	8	00 03 00 00 57 00 00 00	20	166		0
24Ch	8	00 00 80 00 00 7D 00 00	100	33		0
268h	8	05 FE 00 05 00 00 FF FF	20	639		0
270h	8	00 00 00 FF FF 00 30 1E	20	164		0
2F3h	8	FF 00 00 00 00 FF 00 00	200	16		0
300h	8	80 88 9F FF 80 00 80 00	20	164		0
308h	8	80 FF FF 00 00 4A 32 3C	20	640		0
312h	8	07 A3 07 A3 09 66 07 24	20	159		0

Rys. 9. Okno dialogowe programu PCANVIEW – dla samochodu z silnikiem o zapłonie samoczynnym

Pole odczytu podzielone jest na 7 kolumn:

**1 kolumna – *Message*** – identyfikator, czyli adres, każde urządzenie podłączone do magistrali CAN ma swój identyfikator, na tej podstawie można wysyłać informacje na dany identyfikator urządzenia, np. światła stop, kierunkowskaz, drzwi, radio czy sterownik szyb itd. W części Receive są dostępne następujące informacje o sygnałach odbieranych, począwszy od identyfikatora 101h, gdzie h – oznacza, że jest to zapis hexadecymalny;

**2 kolumna – *Length*** – oznacza, ile w kolumnie *Data* pojawi się danych, maksymalnie 8 bajtów danych;

**3 kolumna – *Data*** – tutaj przedstawiane są transmitowane paczki danych, czyli informacja, jaką wysyła dane urządzenie o znanym identyfikatorze. Niestety nie ma opisów magistrali CAN i proces identyfikacji polega na obserwacji danej paczki przy wykonaniu danej akcji np. włączenie i wyłączenie kierunkowskazu. Przesyłane dane są w zapisie hexadecymalny, co wskazuje, że np. prędkość obrotowa silnika (930 obr/min) zajmuje dwa bajty 03 A2.

Czynność bardzo czasochłonna;

**4 kolumna – *Period*** – wskazuje okres czasu, co ile dane urządzenie o znanym identyfikatorze wysyła dane. Czas ten zmienia się od 8ms do 999 ms;

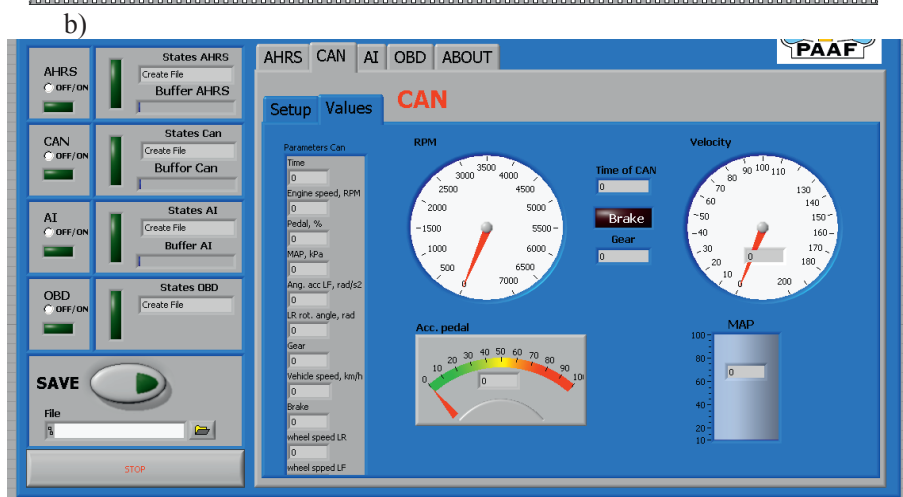
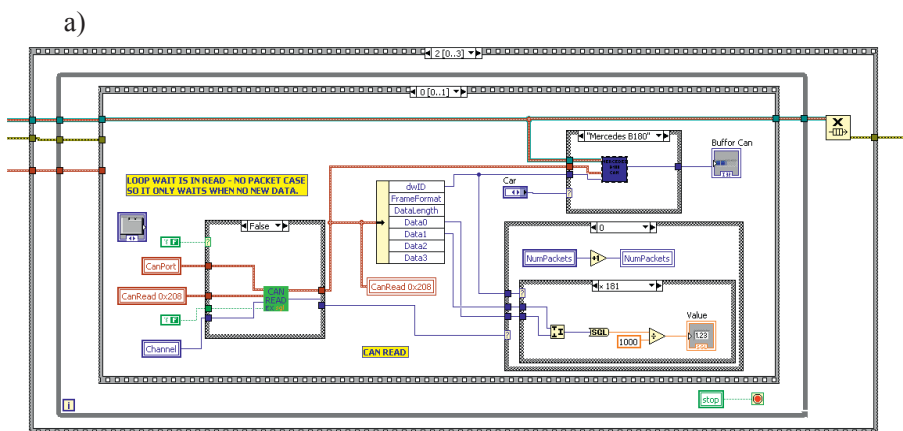
**5 kolumna – *Count*** – wskazuje licznik ilości przesłanych ramek z danego urządzenia, wskazuje, czy urządzenie wysyła dane;

**6 kolumna – *RTR-Per*** – czas pomiędzy otrzymaniem dwóch ostatnich zdalnych ramek;

**7 kolumna – *RTR-Cnt*** – numer zdalnych ramek z tym samym identyfikatorem otrzymanych od ostatniego seretu.

Należy podkreślić, iż paczki danych przesyłane magistralą CAN są różne dla różnych marek. Zmienia się zarówno identyfikator urządzenia, jak również zakres przesyłanych danych. Ramka transmisyjna danych jest bardziej rozbudowana, za pomocą interfejsu GW 002 odczytujemy tzw. transmisję netto, która jest przedstawiona w kolumnie 3. Interfejs umożliwia również wysyłanie informacji na magistralę CAN w pojeździe.

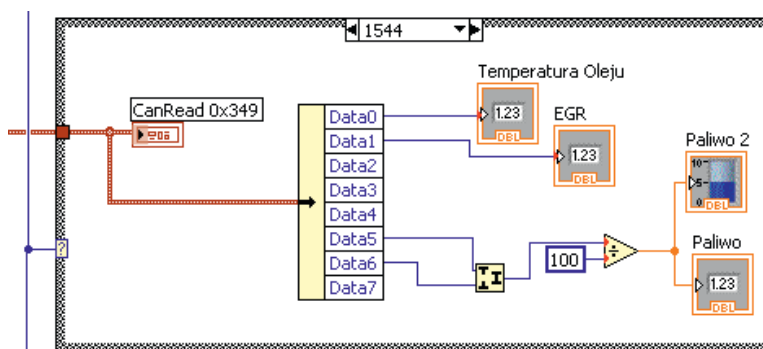
W celu dalszego dokładnego przesyłania danych wykorzystano oprogramowanie LabView umożliwiające zakładanie filtrów na przesyłaną ramkę danych oraz konwersję danych do wartości decymalnych i możliwość ich wyświetlania w formie graficznej (rys. 10b).



Rys. 10. Okno programu LabView obsługujące interfejs SYS-TEC: a) struktura programu, b) pulpit sterowniczy aplikacji CAN

### 3.2. Identyfikacja transmisji magistrali CAN BUS

W celu dokładnej identyfikacji należy wytypować identyfikator urządzenia, a następnie obserwować pole DATA (rys. 11). Korzystnie jest zastosować odpowiednie filtry przysyłające transmitowaną ramkę danych tak, aby tylko obserwować zmieniające się bajty. Należy wziąć pod uwagę, że często jedna zmienna może być transmitowana w dwóch bajtach, z których jedna ma wartość starszą, a druga młodszą. Odpowiednie połączenie tych bajtów i przekształcenie określi wartość rzeczywistą w wartościach decymalnych. Niektóre zmienne wymagają jeszcze skalowania.



Rys. 11. Filtr założony na identyfikatorze 608h

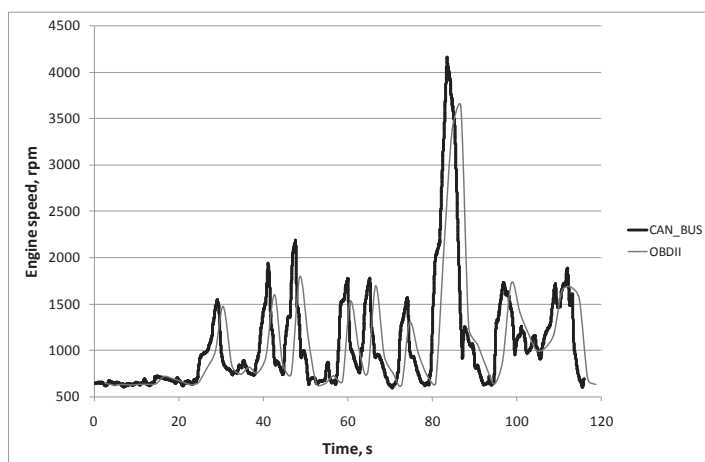
Dla przykładu kierownica ustawiona na jazdę na wprost ma wartość (Hex 10 00 – Dec 4096), po wykonaniu skrętu maksymalnie w prawo osiąga wartość (Hex 14 38 – Dec 5176), a w lewo (Hex 0B C8 – Dec 3016). Przy każdym skręceniu kierownicy wykonuje obrót o 540 stopni, co odpowiada wartości decymalnej 1080, zatem dzieląc wartość decymalną przez 2, otrzymujemy wartość rzeczywistą.

W testowanym samochodzie rozpoznano:

- prędkości obrotowe poszczególnych kół oraz wartość uśrednioną tych prędkości – dwa bajty – 200h prędkość 208h;
- prędkość liniową pojazdu – dwa bajty – 400h,
- droga – jeden bajt – 328h
- obciążenie silnika – jeden bajt – 210h,
- położenie pedału przyspieszenia – dwa bajty – 210h,
- pozycja kierownicy – dwa bajty – 236h,
- przyspieszenie kątowe skrętu kierownicy – dwa bajty – 238h,
- ciśnienie doładowania – dwa bajty – 312h,
- temperatura oleju – jeden bajt – 608h,
- masa zużytego paliwa na jeden suw – dwa bajty – 608h,
- oraz inne jak światła, kierunkowskazy.

Okres próbkowania zmienia się od 8 do 1000 ms, w zależności od wagi informacji. Otrzymany sygnał prędkości obrotowej silnika magistrali CAN został porównany z tym samym sygnałem otrzymanym z układu diagnostycznego OBDII. W tym przypadku otrzymano sygnał z magistrali CAN o ok. 200 razy szybciej, co zostało zobrazowane na rysunku 12.





Rys. 12. Porównanie w czasie sygnałów z magistrali CAN oraz układu OBDII

Sygnal z układu diagnostycznego jest opóźniony w czasie względem sygnału z magistrali CAN, a ponadto jego chwilowe wartości maksymalne są znacznie mniejsze.

#### 4. PODSUMOWANIE

Tematyka poruszona w niniejszym opracowaniu jest poruszana niezwykle rzadko, zarówno w dokumentacji serwisowej jak i czasopiśmie fachowych. Można znaleźć opisy zasady działania, normy standaryzujące, jednak szczegółowy protokół transmisji jest opisywano bardzo rzadko. Dodatkową trudnością, którą należy podkreślić, jest zmienność przesyłanych informacji dla różnych marek. Opracowana identyfikacja jest zgodna dla danej marki, jednak u innego producenta przebiega odmiennie.

Dokładna identyfikacja protokołu transmisji magistrali CAN może dać nowe możliwości w procesie diagnostyki i obserwacji parametrów układu napędowego. Szczególnie korzystna jest możliwość bezpośredniego testowania układu o znanym identyfikatorze przez wysłanie odpowiednio przygotowanej ramki danych, a następnie obserwacji jej reakcji urządzenia na zmianę jego parametrów w czasie rzeczywistym.

Firma Mercedes-Benz jako jedna z pierwszych firm motoryzacyjnych wprowadziła transmisję szeregową CAN do seryjnej produkcji i ciągle pracuje nad dalszym jej rozwojem, której efektem jest wprowadzenie w samochodach klasy S magistrali o prędkości transmisji 6 Mbit/s, która jako nośnik informacji wykorzystuje światłowód. Ponadto ciągle prowadzone są prace nad rozwojem tego typu transmisji, aby była ona coraz szybsza i niezawodna.

## LITERATURA

- [1] Dokumentacja techniczna ExpertControl, Biuletyn elektroniczny firmy ExpertControl GmbH – Materiały serwisowe, Germany 1998–2003, str. 6
- [2] Dokumentacja techniczna Philips, Semiconductors: CAN Transceiver Application Note AN96116, Biuletyn elektroniczny firmy Philips 2009 – Materiały serwisowe, str. 15
- [3] Dokumentacja techniczna SYS TEC, USB-CAN modul GW-002 Systems, Biuletyn elektroniczny firmy SYS TEC electronic GmbH 2009 – Materiały serwisowe, str. 30
- [4] FELLMETH P.: CAN-based vehicle – agricultural implement communication ISO 11783, CAN Newsletter, September 2003, str. 1
- [5] JANTOS J., MAMALA J.: Identyfikacja protokołu transmisji magistrali can w pojazdach rolniczych, Inżynieria Rolnicza vol. 94, nr 6, Komitet Techniki Rolniczej PAN, Kraków 2007, s. 57–63
- [6] KOŁTUN J., MYSŁOWSKI J.: Identyfikacja pojazdów samochodowych, Politechnika Szczecińska Wydaw. Uczelniane, Szczecin 2005, str. 89
- [7] MARS D.: CAN BUS Networks – Break into mainstream use controller-area-network protocol, The University of Liverpool, Dostępny w Internecie: <http://www.liverpool.ohecampus.com>, str. 2
- [8] MERKISZ J., MAZUREK S., PIELECHA J.: Pokładowe urządzenia rejestrujące w samochodach, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2007, str. 253
- [9] SAE J1850 – Class B Data Communications Network Interface, 1988
- [10] Schriffl A.: Autoelektrik, Autoelektronik am Ottomotor, Düsseldorf, str. 380
- [11] SHEARER S., STOMBAUGH T., VEAL M., DARR M., DILLON C.: CAN-Based Precision Seed Placement, University of Kentucky, str. 8
- [12] Materiały techniczne firm: VW, Renault, Citroen, Seat, Mercedes, Bosch



# Rozdział 7

Jacek Wydrych\*

## **Diagnozowanie zużycia erozyjnego instalacji transportu pneumatycznego w przemyśle cementowym** *Erosive wear diagnosis of pneumatic conveying systems in cement industry*

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono metodykę badań i wyniki diagnostyki endoskopowej i ultradźwiękowej wybranych układów transportu pneumatycznego w przemyśle cementowym. Scharakteryzowany został proces degradacji stanu technicznego przewodów transportu pneumatycznego w wyniku erozji pyłowej. Zaprezentowano wyniki badań dotyczące uszkodzeń rurociągów transportu pneumatycznego Cementowni „Odra” w Opolu.

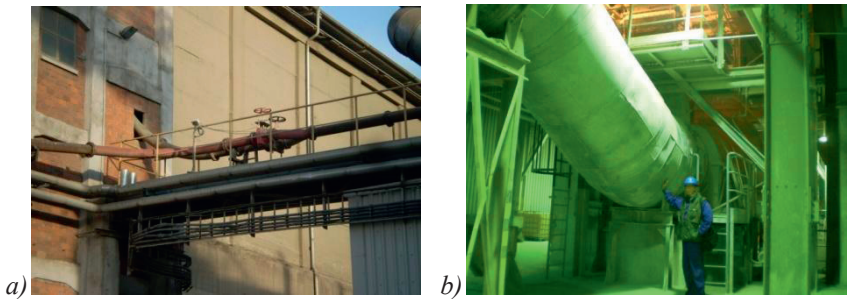
**Abstract:** This paper presents research method and results of endoscopy and ultrasonic diagnosis of pneumatic conveying systems in cement industry. Degradation process of technical state of transport pipes as a result of erosion was described. Results of experiments of pneumatic conveying pipes damages in cement factory „Odra” in Opole was presented.

---

\* Politechnika Opolska, ul. S. Mikołajczyka 5, 45-271 Opole  
e-mail: j.wydrych@po.opole.pl

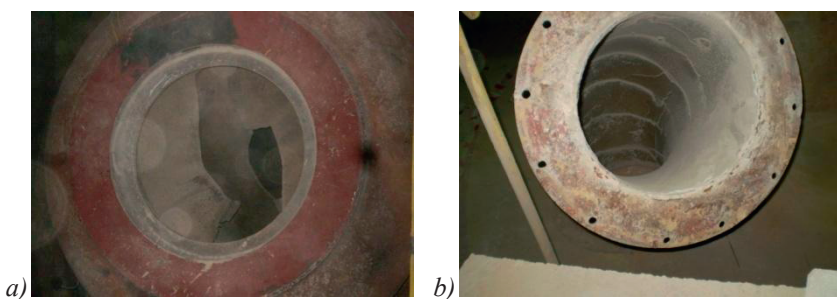
## 1. WSTĘP

Eksploatacja układów transportu pneumatycznego w różnych gałęziach przemysłu wiąże się często z istotnym problemem segregacji cząstek stałych w niektórych obszarach tych układów jak np.: kolana, rozdzielacze, separatory [4]. Problem ten dotyczy również przemysłu cementowego, w którym w układach transportu pneumatycznego następuje zróżnicowanie koncentracji oraz niekontrolowana segregacja cząstek, prowadząca w efekcie do przyspieszonej erozji niektórych elementów instalacji [3]. W przypadku układów przebadanych w Cementowni „Odra”, efekty zużycia erozyjnego w największym stopniu dotyczą instalacji do transportu cementu, który ze względu na swój skład i właściwości najszybciej powoduje uszkodzenia. Wynikiem tych uszkodzeń jest czasem konieczność przeprowadzenia awaryjnego remontu [1]. Fragment instalacji transportu cementu przedstawiono na rys. 1a. Z innymi problemami wiąże się eksploatacja rurociągów doprowadzających spaliny do młyna surowca (rys. 1b), choć i tutaj, co prawda w mniejszym stopniu, ale występuje osadzanie się pyłu i zjawisko erozji.



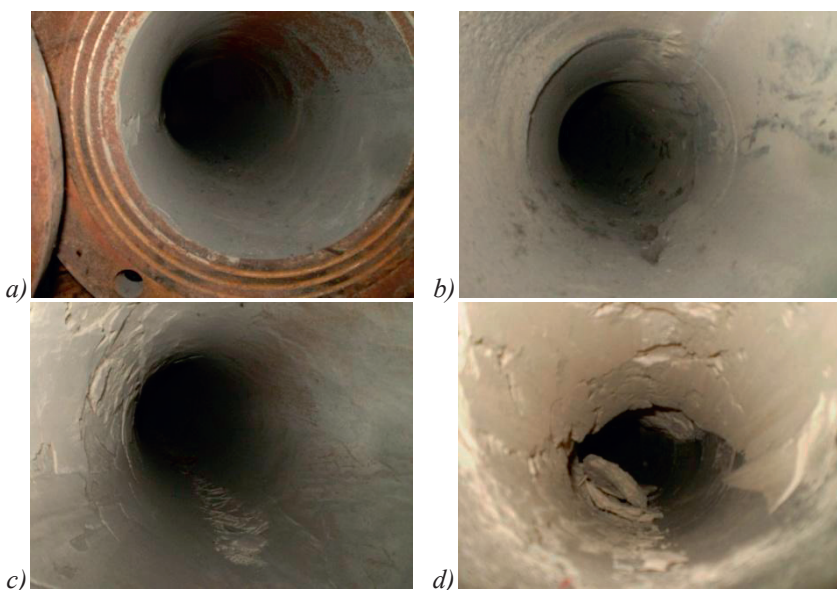
**Rys. 1.** a) Rurociągi układu pneumatycznego transportu cementu,  
b) izolowany rurociąg spalin transportowanych do młyna surowca

Zużycie elementów urządzeń nie dotyczy jedynie instalacji transportu pneumatycznego, ale obserwowane jest również w młynach surowca i cementu oraz separatorach obrotowych. Rys. 2 przedstawia wlot do młyna cementu oraz wlotowy fragment instalacji.



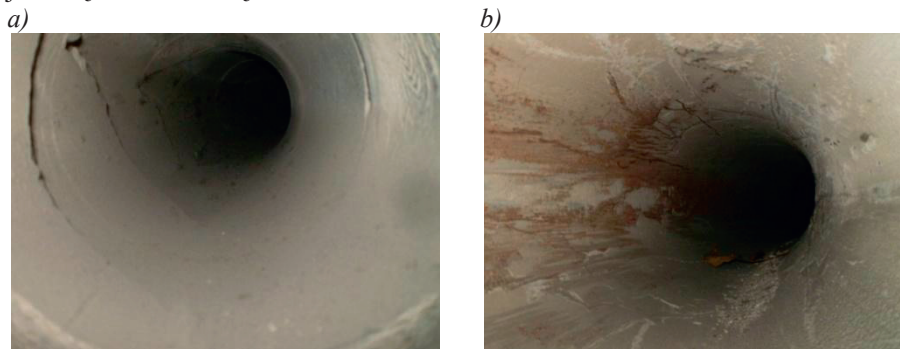
**Rys. 2.** a) Wlot do młyna cementu, b) Widok fragmentu rurociągu dostarczającego materiał do młyna cementu

W niektórych fragmentach instalacji występuje inny problem, jakim jest osadzanie się mączki wapiennej lub pyłu cementowego na ściankach rurociągów. Zjawisko to występuje zwłaszcza we fragmentach instalacji, gdzie prędkość mieszaniny jest niewielka, a jej temperatura wysoka. Sukcesywne postępowanie tego procesu może doprowadzić do utrudnień w transporcie materiału sypkiego i do zwiększenia zużycia energii w wyniku zwiększonej wentylacji. Rys. 3 przedstawia fragmenty układów transportu pneumatycznego mączki wapiennej, w których doszło do osadzenia się i zbrylenia transportowanego materiału. Na rys 3a obserwuje się niewielki stopień tego zjawiska, które w kolejnych etapach pogłębia się, doprowadzając końcowo do znacznego zmniejszenia przekroju rurociągu.



**Rys. 3.** Fragmenty rurociągu z osadzonym materiałem wapiennym

Zwiększenie prędkości transportowej może spowodować częściowe zmniejszenie tego niekorzystnego zjawiska. Na rys. 4b widoczne są ślady ściernego działania cząstek na nagromadzony wcześniej materiał, którego efektem jest częściowe usunięcie osadu.



Rys. 4. Kolana z osadzonym materiałem wapiennym

W dalszej części pracy analizie poddano fragmenty instalacji transportu pneumatycznego Cementowni „Odra” w Opolu, i na tej podstawie wskazano miejsca szczególnie narażone na erozję pyłową. Dla wybranego fragmentu przeprowadzono badania eksperymentalne, których wyniki przedstawiono w części końcowej pracy.

## 2. BADANIA EKSPERYMENTALNE

Analiza harmonogramów wymian części w różnych układach transportu pneumatycznego pozwoliła wskazać instalację cementu jako tę, która jest poddawana remontom najczęściej. Związane jest to zarówno z właściwościami cementu, jak również z dużą prędkością, z jaką jest on transportowany od młynów cementu do silosów magazynowych. W układzie transportu cementu elementami wymienianymi najczęściej są kolana znajdujące się bezpośrednio za pompami cementu, co wiąże się z największą energią mieszaniny w tych punktach instalacji. Z uwagi na zmianę kierunku przepływu następuje silne różnicowanie koncentracji i segregacja cząstek w obrębie kolan oraz ich przyspieszona erozja. Rys. 5 przedstawia fragment, dla którego przeprowadzono badania eksperymentalne w oparciu o kolana wycofane po remontach z dalszej eksploatacji.





a)

b)

**Rys. 5.** a) Kolana początkowych fragmentów układu do transportu cementu, b) przekrój wylotowy kolana po demontażu ze śladami erozji

W celu przeprowadzenia analizy zużycia erozyjnego wybranego fragmentu instalacji transportu pneumatycznego cementu posłużono się dwoma metodami eksperymentalnymi. Grubościomierz ultradźwiękowy pozwolił na bezinwazyjny pomiar kolana w celu ustalenia ubytków erozyjnych, natomiast dzięki endoskopowi uzyskano informacje o stanie ich powierzchni wewnętrznych. Badanie zużycia przeprowadzono za pomocą grubościomierza ultradźwiękowego Posi-Tector UTG (rys 6a) o następujących parametrach:

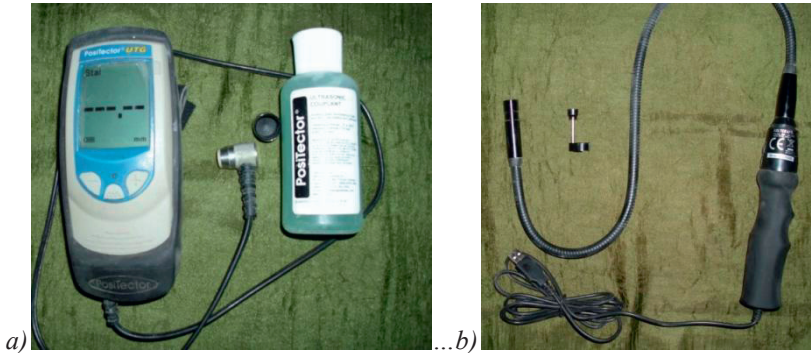
- zakres pomiarowy – 1.00÷125.00 mm,
- rozdzielczość – 0.01 mm,
- dokładność – ±0.03 mm
- zakres prędkości – 1250÷10000 m/s.

W trybie normalnej pracy przyrząd wykonuje 6 odczytów w ciągu sekundy, natomiast w trybie skanowania 20 odczytów na sekundę. Pamięć miernika pozwala na zapis 10000 odczytów, które następnie przez port USB mogą zostać przesłane do komputera. Możliwe jest również przysyłanie odczytów w trakcie ich realizacji. W eksploatacji różnych układów, w tym silników, powszechnie wprowadza się nowe metody badań diagnostycznych. Dynamicznie rozwija się endoskopia, wcześniej stosowana głównie w medycynie, a obecnie bardzo użyteczne narzędzie w ocenie stanu technicznego złożonych maszyn. Endoskopia jest bezinwazyjną metodą przeglądu wizualno-optycznego wewnętrznych przestrzeni maszyn i urządzeń przy wykorzystaniu przyrządów wzornikowych, tzw. endoskopów. Do badań instalacji transportu cementu wykorzystano endoskop BS-10 firmy VOLTCRAFT (rys. 6b). Przyrząd ten umożliwia ogląd i wykonywanie dokumentacji fotograficznej i filmowej wewnętrznych ścian instalacji poprzez otwory wzornikowe. Do dokumentowania stanu powierzchni stosuje się połączenie endoskopu z komputerem przez port USB. Endoskop BS-10 charakteryzuje się następującymi parametrami:

- rozdzielczość obrazu – 640×480 pix (VGA),
- częstotliwość – 30 klatek/s,
- format filmów – AVI,



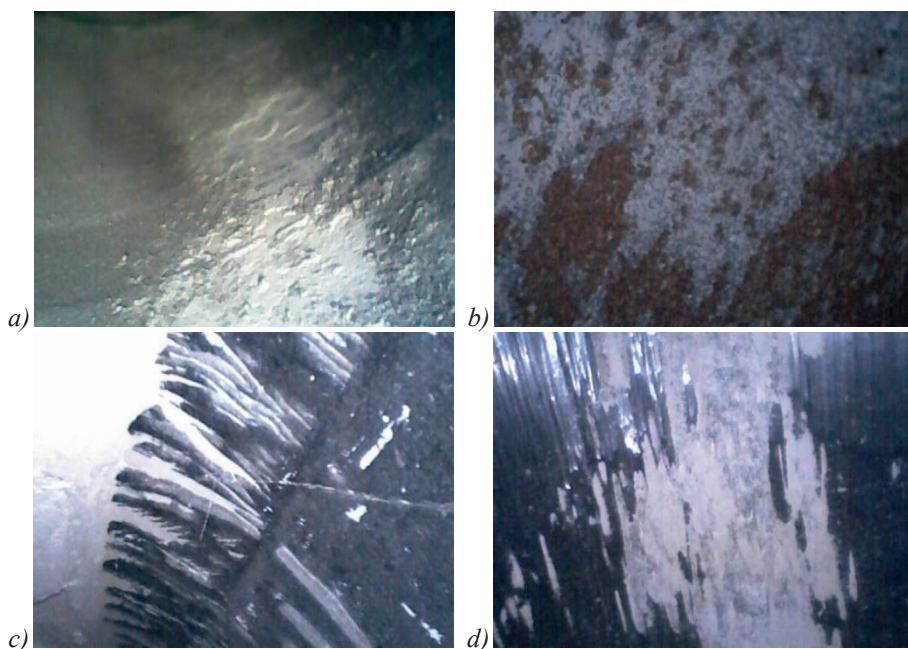
- długość endoskopu – 880mm,
- średnica otworu wziernikowego – 15mm.



Rys. 6. a) Diagnostyczny grubościomierz firmy POSITECTOR,  
b) endoskop laboratoryjny firmy VOLTGRAFT

Na rys. 7 przedstawiono struktury powierzchni wewnętrznych badanych kolan. Rys. 7a to fragment pokryty osadem wapiennym, którego gromadzenie możliwe jest dla niewielkich prędkości transportowych lub niewielkiej koncentracji pyłu. Na rys. 7b zauważyć można pomiędzy wapiennym osadem strefy na materiale rurociągu ze śladami korozji. W tej strefie również występuje niewielka prędkość transportowa o czym świadczy brak typowych struktur zużycia ściernego. Natomiast struktury takie o charakterze wcięć w osadzie wapiennym oraz rodzimym materiale kolana zauważyć można na rys. 7c i d. Istnienie tych stref świadczy o dużej koncentracji erodentu (materiału ściernego) oraz o jego dużej energii zwłaszcza w ostatnim przykładzie, gdzie widoczna jest strefa uszkodzenia rodzimego materiału kolana (metaliczny połysk).

Ocena stanu powierzchni wewnętrznej pozwala na wskazanie stref, gdzie powinny występować duże ubytki erozyjne w materiale kolana. Ilościową analizę tych ubytków przeprowadzono za pomocą grubościomierza ultradźwiękowego, a wyniki pomiarów przedstawiono w tabeli 1. Kąt punktu pomiarowego liczony jest dla każdego badanego przekroju od strony wewnętrznego łuku, natomiast przekrój 1 jest przekrojem wlotowym, a 8 wylotowym. Rys. 8 przedstawia rozkład grubości materiału kolana dla przekroju wlotowego i wylotowego. Największa wartość zużycia zarejestrowana została dla przekroju 3 przy kącie 90°, natomiast najmniejsza (pomijając punkt 225° w przekroju 2, który prawdopodobnie jest wynikiem błędu pomiarowego) dla przekroju 1 przy kącie 315°.

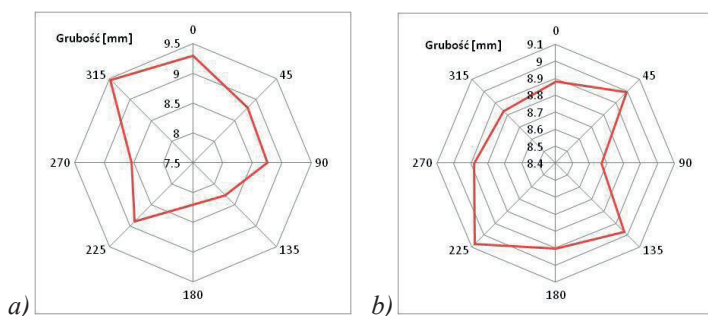


Rys. 7. Struktury wewnętrznych powierzchni kolan uzyskane endoskopem laboratoryjnym

Tabela 1.

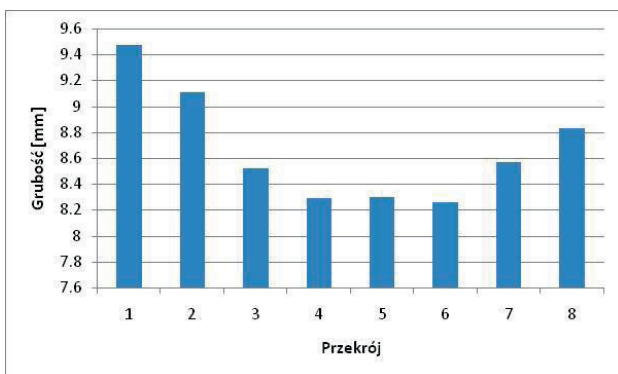
Wyniki pomiarów uzyskane grubościomierzem

Kąt [deg]	Przekrój							
	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>0</b>	9.3	8.83	8.35	8.64	8.54	9.11	8.03	8.88
<b>45</b>	8.81	8.38	8.76	8.63	8.78	9.08	9.11	8.99
<b>90</b>	8.76	8.59	7.37	8.55	9.06	8.96	9.1	8.67
<b>135</b>	8.27	8.19	8.76	8.6	8.91	8.48	9.12	8.97
<b>180</b>	8.2	8.54	8.81	8.77	9.34	9.43	8.4	8.9
<b>225</b>	8.89	10.48	8.5	8.62	9.1	9	8.31	9.07
<b>270</b>	8.54	8.64	9.08	8.66	8.52	8.66	8.56	8.88
<b>315</b>	9.47	9.11	8.52	8.29	8.3	8.26	8.57	8.83



Rys. 8. Rozkład grubości materiału kolana w przekroju: a) wlotowym, b) wylotowym

Na rys. 9. przedstawiono zmiany grubości materiału w kolejnych przekrojach od wlotu zgodnie z kierunkiem przepływu w punktach pomiarowych poszczególnych przekrojów położonych na linii kąta 315°.



Rys. 9. Rozkład grubości materiału kolana w kolejnych przekrojach w kierunku przepływu

Analiza wykresów oraz tabeli 1. pozwala stwierdzić, że maksymalne średnie zużycie występuje w przekroju 3, natomiast minimalne w przekroju wylotowym. Analizując odchylenia standardowe pomiarów zauważa się, że największa nierównomierność zużycia występuje w przekroju 3, natomiast w przekroju 8 jest ono najbardziej unormowane względem wartości średniej. Lokalizacja strefy największego zużycia w przekroju 3 w okolicach kąta 90°, jest wynikiem deformacji przepływu przez elementy występujące przed badanym kolaniem

### 3. PODSUMOWANIE

Poprawne diagnozowanie sprawności technicznej układów może przyczynić się do zmniejszenia liczby awarii przez odpowiednio wczesne ich wykrywanie. Przedsiębiorstwom w coraz większym stopniu opłaca się inwestowanie w sprawne systemy diagnostyczne. W tak skomplikowanym układzie jakim jest Cementownia „Odra” diagnostykę realizuje się w wielu miejscach i w odniesieniu do bardzo różnych zagadnień jak np. eksploatacja maszyn elektrycznych czy

stan łożysk tocznych [2]. Produkcja cementu odbywa się wieloetapowo, a na niektórych z tych etapów zachodzi konieczność przemieszczania materiału w formie rozdrobnionej za pomocą instalacji transportu pneumatycznego. Podczas eksploatacji tych instalacji dochodzi do ich stopniowego zużywania w wyniku erozji zwłaszcza w obszarach zwiększonej koncentracji cząstek lub zwiększonej ich prędkości. W pracy przedstawiono sposób diagnozowania stopnia zużycia instalacji transportu pneumatycznego metodami ultradźwiękową i endoskopową. Pomimo małej użyteczności metody endoskopowej do badań w warunkach eksploatacyjnych może być ona przydatna jako narzędzie wspomagające pomiary grubościomierzem ultradźwiękowym. Należałoby jednak najpierw ocenić zależność pomiędzy stopniem zużycia elementów instalacji a stanem ich powierzchni (struktura, chropowatość).

## LITERATURA

- [1] BORSUK G.: Zagadnienia związane z procesem transportu pneumatycznego w przemyśle cementowym. Nauka i praktyka – staże zawodowe w przedsiębiorstwach, Wydawnictwo Politechniki Opolskiej, 2009.
- [2] KACPERAK M.: Eksploatacja i diagnostyka maszyn elektrycznych w przemyśle cementowym – zagadnienia wybrane. Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne nr 85/2010.
- [3] NOWOSIELSKI G.: Problemy eksploatacyjne separatora młyna cementu. Nauka i praktyka – staże zawodowe w przedsiębiorstwach, Wydawnictwo Politechniki Opolskiej, 2009.
- [4] WYDRYCH J., DOBROWOLSKI B., SKULSKA M.: Numerical modelling of erosion wear of components of cyclone separators. Archives of Energetics, 2008, vol. XXXVIII, nr 2, 63–70.

