

**Andrzej WRÓBEL\***

## **TENSOMETRYCZNA METODA POMIARU NAPRĘŻEŃ W MODELU LABORATORYJNYM DO BADANIA PODZESPOŁÓW I ZESPOŁÓW NIEZBĘDNYCH DO INNOWACYJNEJ KONSTRUKCJI WAGONÓW TOWAROWYCH**

*W artykule przedstawiono metodę i sposób pomiarów tensometrycznych w modelu laboratoryjnym ściany wagonu kolejowego. Artykuł ten jest pierwszym etapem działań prowadzonych w celu potwierdzenia możliwości zastosowania materiałów kompozytowych jako materiałów do budowy zespołów i podzespołów wagonów towarowych. Przedmiotem badań jest ściana wagonu towarowego.*

*W ramach przyszłych badań proponuje się zastąpienie wybranych elementów materiałami kompozytowymi, między innymi: włóknami szklanymi i węglowymi. Takie działanie prowadzić może do zmniejszenia masy pojedynczego wagonu, czego następstwem jest redukcja masy całego składu kolejowego.*

*Prezentowane wyniki są częścią działań prowadzonych w Instytucie Automatyzacji Procesów Technologicznych i Zintegrowanych Systemów Wytwarzania Politechniki Śląskiej w ramach projektu badawczo rozwojowego o numerze rejestracyjnym PBR-8/RMT-2/2009.*

**Słowa kluczowe:** modelowanie, pomiary, tensometry, naprężenia

### **WSTĘP**

Przedmiotem badań jest czteroosiowa węglarka typu 408W. Wagon ten jest przeznaczony do przewozu masowych ładunków sypkich, takich jak: węgiel, piasek, kruszywo oraz ładunków sztukowych. W ścianie wagonu umieszczono dwuskrzydłowe drzwi.

Załadunek wagonów odbywa się za pomocą czerpaków, taśmociągów lub silosów załadunkowych. Rozładunek natomiast może odbywać się ręcznie, przy

---

\* dr inż. Andrzej Wróbel – Instytut Automatyzacji Procesów Technologicznych i Zintegrowanych Systemów Wytwarzania Politechniki Śląskiej

pomocy czepaków lub może być prowadzony na wywrotnicach wagonowych, bocznych o kącie obrotu  $175^\circ$  [4]. Zaletami transportu kolejowego są: zdolność przewożenia ładunków masowych, przekraczających możliwości przewozowe innych rodzajów transportu, krótki czas przewozu, ich regularność oraz stosunkowo niskie koszty przewozu jednostkowego na dłuższych odległościach w porównaniu z transportem samochodowym.

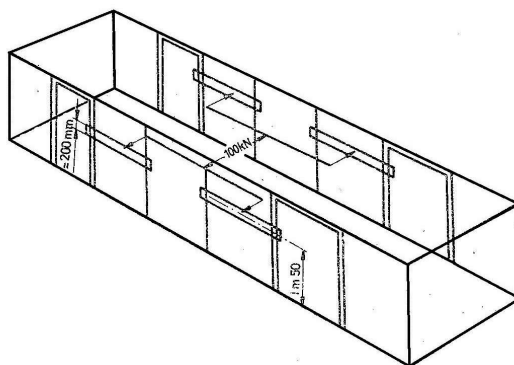
Transport kolejowy w połączeniu z produkcją i obrotem towarami jest częścią koncepcji logistycznej. Umożliwia on przepływ towarów między miejscami, do których docierają transportowane towary i tworzy połączenie pomiędzy nabywcą a sprzedawcą. Działania modernizacyjne prowadzone w poszczególnych etapach logistycznych prowadzą do zwiększania wydajności transportu kolejowego i zmniejszania czasu transportu.

Modernizacja, którą opisano w niniejszym artykule, zakłada wyeliminowanie wskazanych elementów stalowych i zastąpienie ich materiałami kompozytowymi. Takie działanie prowadzi do zmniejszenia masy wagonu, czego następstwem jest redukcja masy całego składu kolejowego. Pokrycie standardowych elementów materiałami kompozytowymi może pozwolić również na wyeliminowanie lub zminimalizowanie korozji.

## 1. RODZAJE BADAŃ WYTRZYMAŁOŚCIOWYCH

Konstrukcje wagonów poddawane są badaniom wytrzymałościowym, do których zaliczono badania wagonu i wózka jezdnego. Już podczas projektowania prowadzone są obliczenia wytrzymałościowe elementów nośnych wagonów. Pomimo stosowania metod obliczeniowych, takich jak metoda elementów skończonych, w każdym przypadku należy sprawdzić na oddzielnym stanowisku badawczym wytrzymałość wykonanego prototypu. Badania te mają na celu identyfikację rzeczywistych stanów naprężeń i odkształceń poszczególnych węzłów.

W statycznych próbach wytrzymałościowych badaniom podlegają naprężenia i odkształcenia konstrukcji nośnej wagonu pod wpływem zadanych obciążeń statycznych. Badania wytrzymałościowe przeprowadzane są zazwyczaj na obiektach o naturalnej wielkości, co związane jest z posiadaniem odpowiedniej przestrzeni badawczej badanych obiektów i sprzętu badawczego [3,11].



Rys. 1. Próba wytrzymałości ścian bocznych wagonu

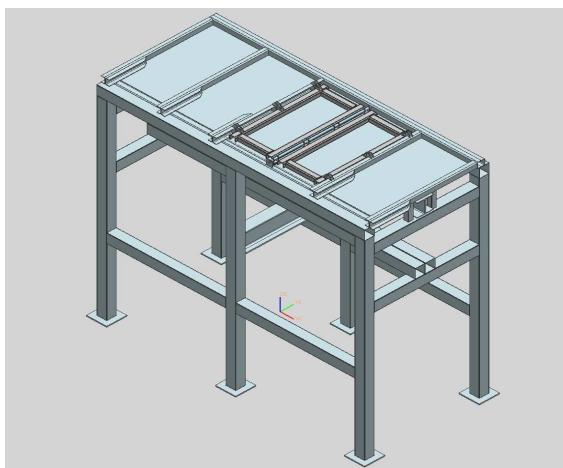
*Źródło: Opracowanie własne*

Norma RWPG z 1949 r. stosowana jest do określenia miejsc, w których wywierane jest obciążenie na bok wagonu. Określono w niej schematy obciążeń konstrukcji, które zostały dobrane w taki sposób, aby odpowiadały charakterowi obciążeń występujących podczas normalnej eksploatacji.

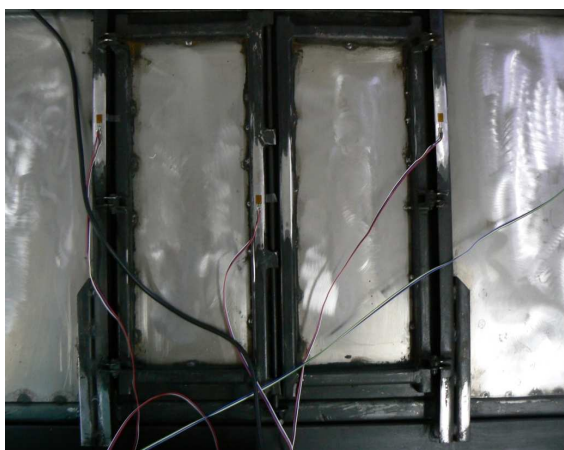
Zgodnie z zaleceniami zawartymi w normie: „Próba wytrzymałości ścian bocznych na siły boczne, przez obciążenie poziomo w kierunku poprzecznym (rozpieranie) czterech środkowych słupków obu ścian bocznych siłą 100 [kN], przyłożoną na wysokości 1,5 [m] nad podłogą wagonu (rys. 1) oraz wytrzymałość obwodziny górnej na uderzenia, przy obciążeniu w kierunku poprzecznym (rozpieranie) obwodziny górnej w środku obu ścian bocznych siłą 25 [kN] oraz pionowo siłą 40 [kN]” [3].

## 2. STANOWISKO DO BADAŃ LABORATORYJNYCH W SKALI

Stanowisko laboratoryjne zaprojektowano zgodnie z dokumentacją techniczną węglarki 408W w skali 1:4. Do budowy zastosowano standardowe profile stalowe.



Rys. 2. Komputerowy model stanowiska



Rys. 3. Widok drzwi wagonu w skali 1:4

*Źródło: Opracowanie własne*



Rys. 3. Stanowisko pomiarowe wraz z układem do jego obciążenia (po prawej)

*Źródło: Opracowanie własne*

Rama stanowiska została wykonana z profili kwadratowych o przekroju 50x50 [mm] i grubości ścianki 2 [mm]. W górnej części stanowiska zamontowano odwzorowanie poszycia bocznej węglarki wraz z dwuskrzydłowymi drzwiami. Słupki boczne, słupki przydrzwiowe oraz obwódninę górną i dolną wykonano z profili ceowych o wymiarach 30x20 [mm] i grubości ścianki 2 [mm].

Obciążenie zadawano zestawem firmy Hydro, w którego skład wchodził siłownik HS-Ł 50/25x200z, pompa ręczna typu PMI, manometr, dwa zawory dławiące oraz 2 przewody ciśnieniowe [5, 12]. Do tłoczyśka zamontowano uchwyt, który wraz z dwuteownikiem INP 80 oddziaływał na ścianę boczną węglarki.

### 3. METODY TENSOMETRYCZNE

Do pomiarów odkształceń zastosowano tensometry foliowe firmy TENMEX. Metoda polega na rejestracji zmian rezystancji tensometru naklejonego do badanego elementu konstrukcji. Badany obiekt jest poddany działaniu siły  $F$  w zakresie odkształceń sprężystych. Wpływ tych zmian na rezystancję drutu opisano zależnością:

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (1)$$

gdzie:

- $R$  – rezystancja drutu oporowego [ $\Omega$ ],
- $\rho$  – rezystywność, opór elektryczny właściwy [ $\Omega$  m],
- $L$  – długość przewodnika [m],
- $A$  – powierzchnia przekroju przewodnika [ $m^2$ ].

Siła działająca na drut pomiarowy musi zawierać się w zakresie odkształceń sprężystych materiału, z którego jest wykonany, gdyż po jednorazowym przekroczeniu granicy plastyczności rozciąganego drutu, jego parametry nie powróciłyby do pierwotnych wartości i czujnik tensometryczny uległby uszkodzeniu. Nowoczesne czujniki tensometryczne działają w taki sam sposób jak pierwowzór złożony z jednego rozciąganego drutu, ale ich wymiary zmniejszono poprzez zastosowanie innego kształtu drutu oporowego ułożonego w charakterystyczną wężykową mozaikę, zwaną też drabinką pomiarową.

Czujnik zamocowano do powierzchni badanej za pomocą kleju tak, aby jego oś symetrii pokrywała się z osią działania siły. Największe zmiany oporności uzyskujemy w kierunku zgodnym z położeniem odcinków pomiarowych o długości  $L$ . Każdy tensometr charakteryzuje się stałą tensometryczną  $k$ , opisującą bezwymiarowo własności metrologiczne czujnika. Liczba ta wyraża stosunek przyrostu względnego rezystancji do wydłużenia względnego przewodnika pod wpływem działania siły, według zależności:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta L}{L} \cdot k \Rightarrow \frac{\Delta L}{L} = \varepsilon \quad (2)$$

$$\frac{\Delta R}{R} = k\varepsilon \quad (3)$$

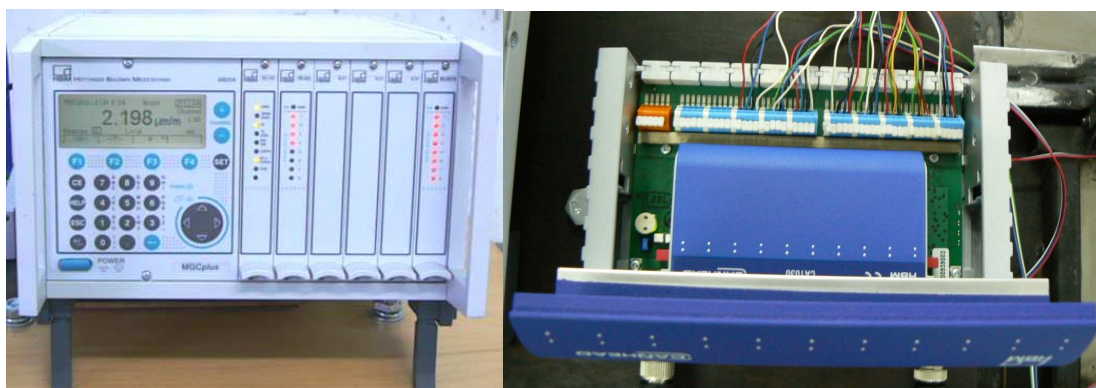
gdzie:

- $k$  – stała tensometryczna,
- $\varepsilon$  – wydłużenie względne przewodnika.

Z zależności 3 wynika, że względna zmiana oporu tensometru jest wprost proporcjonalna do wydłużenia względnego przewodnika. Zmiana rezystancji pojedynczego tensometru pod wpływem odkształceń jest stosunkowo mała i trudna do zmierzenia, dlatego do pomiarów stosuje się znany z elektrotechniki układ mostka elektrycznego, złożony z czterech elementów rezystancyjnych. W miejsce oporników włącza się tensometry. Rodzaj mostka zależy od ilości elementów czynnych, tzn. tych, na które działa mierzona siła. W ćwierćmostku jest to jeden element czynny, w półmostku dwa, a w pełnym mostku cztery elementy czynne. Zaletą dwóch ostatnich rozwiązań jest samokompensacja temperaturowa i większa czułość pomiarowa. W układzie pełnego mostka cztery elementy tensometryczne są połączone i naklejone na badany materiał lub na czujnik w taki sposób, że w mostku panuje równowaga elektryczna, tzn. na wyjściu mostka jest napięcie zerowe.

#### 4. WYNIKI BADAŃ

Do pomiarów wykorzystano urządzenia firmy HBM. Wzmacniacz pomiarowy MGCplus jest modułowym wzmacniaczem pomiarowym stosowanym do współpracy z wieloma rodzajami czujników. Zaletą urządzenia jest możliwość dowolnej konfiguracji i rozbudowy zgodnie z potrzebami wykonywanych pomiarów.

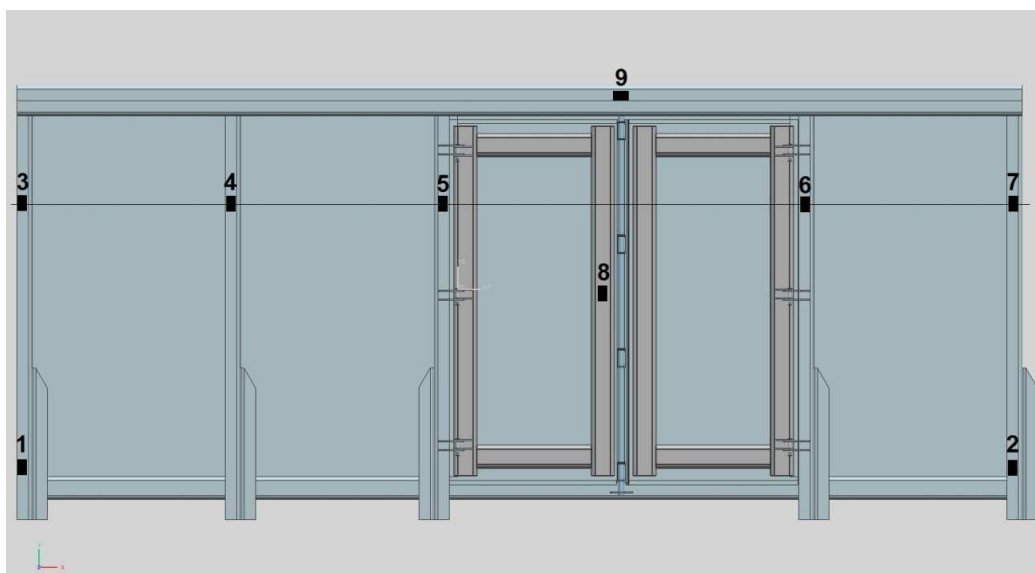


Rys. 4. Urządzenia pomiarowe: a) Wzmacniacz pomiarowy MGCplus; b) Canhead

*Źródło: Opracowanie własne*

W przypadku współpracy z komputerem konieczny jest odpowiedni terminal. Do podłączenia czujników tensometrycznych zastosowano urządzenie Canhead. Całą aparaturę pomiarową podłączono do komputera z oprogramowaniem CATMAN, co pozwoliło na wykonanie pomiarów i rejestrację otrzymanych wyników.

Przystępując do pomiarów, wybrano odpowiednie punkty, w których zamontowano czujniki tensometryczne. Punkty umieszczono w miejscach oddziaływania obciążenia na poszyciu bocznym wagonu węglarki, obwodzinie górnej, drzwiach oraz dwóch zewnętrznych słupkach.



Rys. 5. Model ściany z zaznaczonymi miejscami naklejenia tensometrów

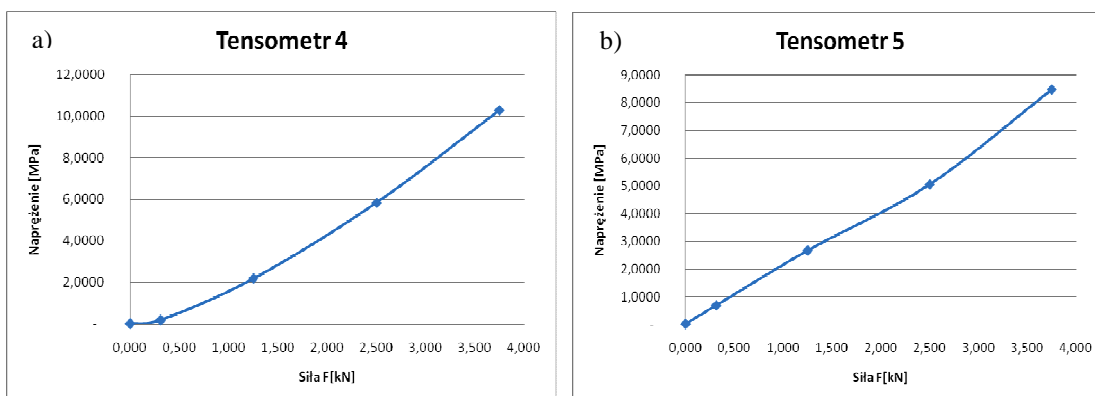
Źródło: Opracowanie własne

Tabela 1. Wyniki badań względnego odkształcenia konstrukcji we wskazanych punktach pod wpływem przyłożonej siły

	F=0,3125 [kN],	F=1,25 [kN],	F=3,75 [kN]
Tensometr	Wydłużenie względne [ $\mu\text{m}/\text{m}$ ]	Wydłużenie względne [ $\mu\text{m}/\text{m}$ ]	Wydłużenie względne [ $\mu\text{m}/\text{m}$ ]
1	1,293	8,366	43,31
2	2,401	16,62	59,92
3	1,537	52,06	737,2
4	9,182	104,4	490,1
5	33,14	127,6	403,7
6	47,85	180,2	481,7
7	1,886	199,3	1001
8	4,76	11,45	30,36
9	50,65	216,3	568,1

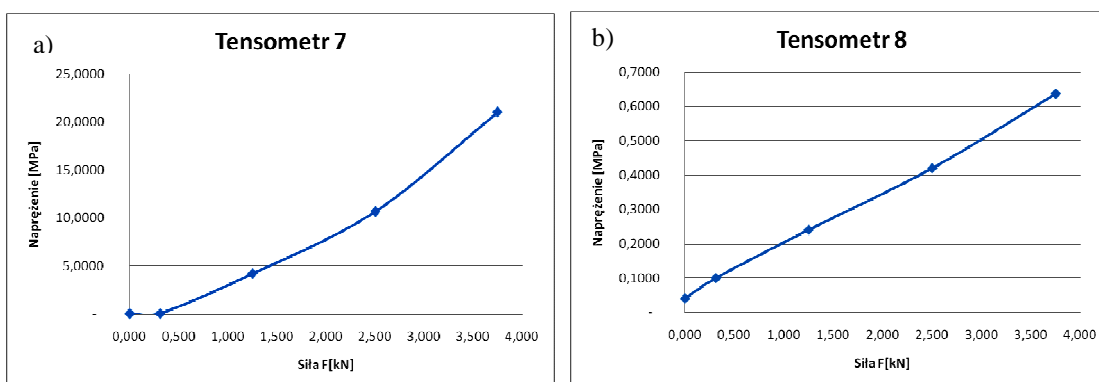
Źródło: Opracowanie własne

W tabeli 1 zestawiono wyniki względnego odkształcenia konstrukcji we wskazanych punktach pod wpływem przyłożonej siły. Wartość siły zadawanej z układu hydraulicznego wynosiła kolejno: 0,3125, 1,25 oraz 3,75 [kN].



Rys. 6. Wyniki naprężeń rejestrowane: a) w tensometrze numer 4, b) w tensometrze numer 5

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 7. Wyniki naprężeń rejestrowane: a) w tensometrze numer 7, b) w tensometrze numer 8

Źródło: Opracowanie własne

## WNIOSKI

Przedmiotem badań jest ściana wagonu towarowego wykonanego ze standardowych materiałów w skali 1:4. W ramach prac przeprowadzono pomiary zarówno odkształceń, jak i naprężeń w badanej konstrukcji.

W ramach przyszłych badań proponuje się zastąpienie wybranych elementów materiałami kompozytowymi, takimi jak: włókna szklane czy włókna węglowe w celu przeprowadzenia analizy porównawczej naprężeń i odkształceń.

## LITERATURA

- [1] Tarnowski W., *Technika drobnych konstrukcji*, Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1977.
- [2] Jakubowski L., *Technologia prac ładunkowych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2003.

- [3] Chwesiuk K., Zalewski P., *Technologia transportu kolejowego*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1987.
- [4] Gąsowski W., Nowak R., *Badania wagonów kolejowych*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 1989.

**STRAIN GAUGE METHOD OF MEASURING STRESS IN LABORATORY MODEL TO TEST SUBASSEMBLIES AND ASSEMBLIES NECESSARY FOR INNOVATIVE DESIGNS OF WAGONS**

**Summary**

*This article presents the method and way of measuring strain gauge in a laboratory model of a wall of a railway wagon. The article is the first step in the research leading to confirming the possibility of using composite materials as construction materials of assemblies and subassemblies of wagons. The subject of the research is a wall of a wagon made of standard materials.*

*As part of future research, replacing selected elements with composite materials such as glass fibres, carbon fibres and others is proposed. Such action can lead to lowering the weight of a single wagon, resulting in reducing the weight of the whole set of wagons.*

*The results presented are part of the research conducted at the Institute of Process Technology and Integrated Manufacturing Systems of Silesian University within the research and development project with registration number PBR-8/RMT-2/2009.*

**Key words:** *modelling, measurements, strain gauges, strains*

*Artykuł recenzował: dr hab. inż. Andrzej BAIER, prof. nadzw. PŚl.*