

## Konstrukcyjne sposoby zmniejszania hałasu w układach biegowych wagonów towarowych

*W artykule przedstawiono środki konstrukcyjne zmniejszające emisję hałasu w układach biegowych wagonów towarowych. Jako odpowiednik układu biegowego posłużył standardowy wózek dwuosiowy typu „Y25Lsd1”. Na jego przykładzie pokazano jak pewne modyfikacje konstrukcji wpływają na zmniejszenie hałasu.*

### 1. WSTĘP

Transport drogowy, kolejowy i lotniczy mają wspólne problemy niekorzystnie wpływające na ludzi i środowisko naturalne. Jednym z ważniejszych jest emisja hałasu. Problemem tym od dziesiątków lat zajmują się naukowcy i konstruktorzy. Poczyniono znaczne postępy w jego rozwiązywaniu, ale jeszcze wiele pozostało do zrobienia. Problematyka ta nabrała jeszcze większego znaczenia po wejściu Polski do Unii Europejskiej i opracowaniu przez Europejski Komitet Normalizacyjny przepisów TSI (Technicznych Specyfikacji Interoperacyjności), obowiązujących we wszystkich krajach członkowskich. Zagadnienie obejmuje około 750 000 wagonów towarowych, kursujących w Europie [3]. Szacuje się, że zmniejszenie emisji hałasu w 85÷90 procent wagonów towarowych dawałoby odczuwalny efekt w zakresie ochrony środowiska naturalnego. Kolejnym argumentem przemawiającym za redukcją hałasu w wagonach towarowych są przyszłe zamiary zwiększenia długości pociągów oraz zwiększenia prędkości. Poszczególne koleje członkowskie uważają, że środki konstrukcyjne zmniejszające emisję hałasu muszą również podjąć instytucje zajmujące się infrastrukturą kolejową. Obecnie wagony towarowe należą do najgłośniejszych pojazdów kolejowych i osiągają podczas przejazdu poziom emisji hałasu dochodzący do **100 dB(A)**. Jak podaje Światowa Organizacja Zdrowia dopuszczalną wartością hałasu jest **65 dB(A)** w dzień oraz **55 dB(A)**, a nawet **45 dB(A)** w porze nocnej. Z kolei z danych statystycznych wynika, że np. w Niemczech ok. 12 milionów ludzi jest narażonych na hałas przewyższający **65dB(A)**, przy czym największym źródłem jest hałas pochodzący od transportu szynowego [4]. Dla porównania dominujący hałas wytwarzany przez lokomotywy powstaje przy małych prędkościach oraz przy dużych prędkościach jako hałas aerodynamiczny [2]. Najistotniejszym źródłem hałasu, obciążającym środowisko naturalne jest hałas toczny. Jest on spowodowany przez drgania w układzie koło-struktura

toru kolejowego, co z kolei powodują nierówności w układzie koło-szyna. Prosty zabieg konstrukcyjnym, zmniejszającym poziom emisji hałasu, zaaprobowanym przez UIC jest zastosowanie hamulców tarczowych. Jednak z uwagi na ich wyższe koszty, koleje wstrzymują się od ich powszechnego stosowania. Z tego wynika, że należy zachować konstrukcję układu biegowego, stosując środki, które nie naruszają zasady zamienności zgodnie z kartą UIC 510-1 [13]. Duży wpływ na zastosowane środki konstrukcyjne, które obniżają poziom hałasu, ma rachunek ekonomiczny, którego podstawy wywodzą się z raportu ORE/ERRI B12/Rp.17[21], formułującego następujące wytyczne, obowiązujące przy produkcji wagonów towarowych:

- skoncentrowana produkcja części zamiennych, aby osiągnąć zmniejszenie ceny poprzez produkcję w długich seriach oraz zmniejszenie ilości narzędzi
- przygotowanie części zamiennych
- ekonomiczna organizacja napraw wagonów towarowych, polegająca na zmniejszeniu ilości modeli dla części konstrukcyjnych i części zamiennych.

### 2. ŚRODKI KONSTRUKCYJNE ZMNIEJSZAJĄCE EMISJĘ HAŁASU

#### 2.1. WYMAGANIA DOTYCZĄCE EMISJI HAŁASU WG PRZEPISÓW TSI [19]

Hałas emitowany przez wagony towarowe można podzielić na hałas przejazdu oraz hałas stacjonarny. Na hałas przejazdu wagonu towarowego duży wpływ ma hałas toczenia (hałas koło/szyna), który zależy od prędkości. Sam hałas toczenia jest powodowany przez łączną chropowatość koła i szyny oraz charakterystykę dynamiczną toru i zestawu kołowego. Zbiór parametrów dla charakterystyki hałasu przejazdu zawiera:

Wartości dopuszczalne  $L_{p,Aeq,Tp}$  dla hałasu przejazdu wagonów towarowych Tabela 1

L.p.	Wagony	$L_{p,Aeq,Tp}$
1	Nowe wagony o średniej liczbie osi na jednostkę długości (o/d) do 0,15 m <sup>-1</sup> przy prędkości 80 km/h	≤82 dB (A)
2	Odnowione lub zmodernizowane wagony zgodnie z art.14 ust.3 dyrektywy 2001/16/WE o średniej liczbie osi na jednostkę długości (o/d) do 0,15 m <sup>-1</sup> przy prędkości 80 km/h	≤84 dB (A)
3	Nowe wagony o średniej liczbie osi na jednostkę (o/d) od powyżej 0,15m <sup>-1</sup> do 0,275 m <sup>-1</sup> przy prędkości 80 km/h	≤83 dB(A)
4	Odnowione lub zmodernizowane wagony zgodnie z art.14.ust.3 dyrektywy 2001/16/WE o średniej liczbie osi na jednostkę długości (o/d) od powyżej 0,15 m <sup>-1</sup> do 0,275 m <sup>-1</sup> przy prędkości 80 km/h	≤85 dB(A)
5	Nowe wagony o średniej liczbie osi na jednostkę długości (o/d) powyżej 0,275 m <sup>-1</sup> przy prędkości 80 km/h	≤85 dB (A)
6	Odnowione lub zmodernizowane wagony zgodne z art.14 ust.3 dyrektywy 2001/16/WE o średniej liczbie osi na jednostkę długości (o/d) do powyżej 0,275 m <sup>-1</sup> przy prędkości 80 km/h	≤87 dB (A)

*o*-liczba osi [-]

*d*-długość między zderzakami [m].

- poziom ciśnienia akustycznego, zgodnego z metodą pomiaru
- położenie mikrofonu pomiarowego
- prędkość wagonu
- chropowatość szyny
- dynamiczne zachowanie toru.

Hałas stacjonarny wagonu towarowego jest istotny jedynie wówczas, jeżeli wagon towarowy jest wyposażony w urządzenia pomocnicze takie jak grzejniki, generatory, układy chłodzenia. Dotyczy to głównie wagonów-chłodni.

Zbiór parametrów dla charakterystyki hałasu stacjonarnego wagonu towarowego zawiera:

- poziom ciśnienia akustycznego, zgodnie z określoną metodą pomiaru oraz położenia mikrofonu
- warunki eksploatacji.

Wartości dopuszczalne hałasu przejazdu mierzone są za pomocą ciągłego równoważnego poziomu ciśnienia akustycznego ważonego krzywą korekcyjną A,  $L_{p,Aeq,Tp}$  w czasie przejazdu pojazdu w odległości 7,5 m od osi toru powyżej niwelety główki szyny. Pomiar dokonywany zgodnie z EN ISO 3095:2005 [17]; oprócz toru odniesienia, który powinien spełniać wymagania podane w załączniku A.1.4 niniejszych przepisów. Tor odniesienia musi być udostępniony w sposób „niedyskryminacyjny”.

Wartości dopuszczalne  $L_{p,Aeq,Tp}$  dla hałasu przejazdu wagonów towarowych w warunkach określonych powyżej podano w tabeli 1.

Hałas stacjonarny opisywany jest za pomocą ciągłego równoważnego poziomu ciśnienia akustycznego ważonego względem A,  $L_{p,Aeq,Tp}$  zgodnie z EN ISO 3093:2005 [16]. Wartość dopuszczalna hałasu stacjonarnego wagonów towarowych w odległości 7,5 m od osi toru i 1,2 m powyżej górnej powierzchni szyn jest podana w tabeli 2.

Wartość dopuszczalna poziomu ciśnienia akustycznego ważonego  $L_{p,Aeq,Tp}$  Tabela 2

Wagony	$L_{p,Aeq,Tp}$
Wszystkie wagony towarowe	≤65 dB(A)

## 2.2. Środki konstrukcyjne podjęte w układach biegowych wagonów towarowych, zmniejszających emisję hałasu

Skutecznym rozwiązaniem w układach biegowych wagonów towarowych, zmniejszającym wartość emisji hałasu jest wyposażenie wózka w hamulce tarczowe. Konstrukcję wózka Y37, eksploatowanego pod wagonami towarowymi na trasach SNCF jest przedstawiona na rys.1.



Rys.1. Wózek Y37 wagonów towarowych eksploatowany przez SNCF, wyposażony w hamulce tarczowe

Wózki te są przystosowane do prędkości 160 km/h i obciążeń wynikających z nacisku zestawu kołowego na tor wynoszącego 18 ton cechują się niskim poziomem emisji hałasu, dzięki zastosowaniu hamulców tarczowych. Wózek ten może być po odpowiednim dostosowaniu przystosowany do ruchu z prędkością 100 km/h (120km/h) i obciążeń wynikających z nacisku zestawu kołowego na tor wynoszącego 22,5 ton (20 ton). Wytyczne do konstrukcji wózka są przed-

stawione w raporcie Rp. ORE/ERRI B12.4 [19]. Wózki Y37 są stosowane pod wagonami platformami i wagonami krytymi o długich bazach (odpowiednio  $a_1=13,360$  m oraz  $a_2=11,750$ m). Wózki mają charakter standardowy i są zamieszczone w karcie UIC 432 [12]. Dzięki zastosowaniu wózków wagonów towarowych typu Y37 z hamulcami tarczowymi można zmniejszyć poziom emisji hałasu o 8dB(A). Podobną szansę na zmniejszenie emisji hałasu mają wózki wagonów towarowych z hamulcami bębnowymi, które jednak nie weszły do eksploatacji komercyjnej (rys.2).



Rys.2. Wózek wagonów towarowych z hamulcami bębnowymi

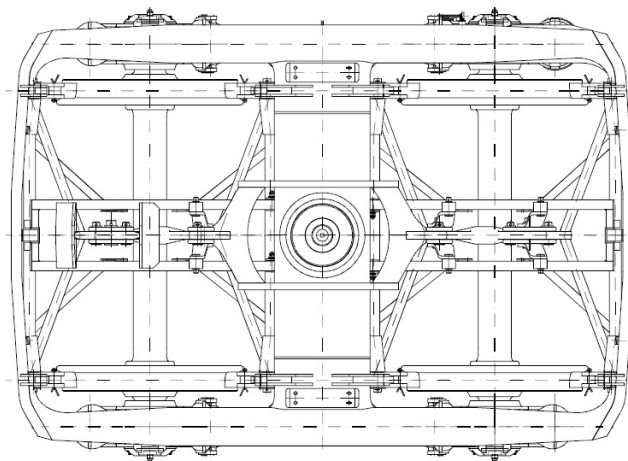
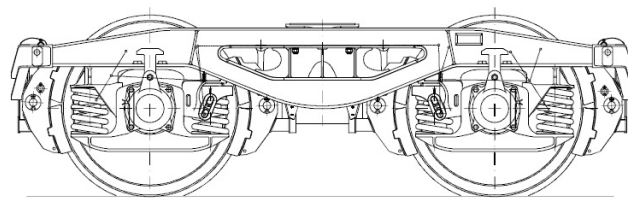
Cena takich wózków jest wyższa od standardowych układów biegowych typu Y25Lsd1. Dotyczy to również wózka LEILA-DG („LEIcHTes und LÄrMArmes Güterwagendrehgestell) rozwijanego przez kolej niemiecką DB AG [1,5]. Pomimo wielu zalet, spełniających techniczne wymagania rynkowe w zakresie technicznym oraz deklarowaną emisję hałasu, wynoszącą 72dB(A) podczas jazdy wagonu towarowego z prędkością 80 km/h istotną przeszkodą w jego wdrożeniu do produkcji seryjnej stanowi cena. Struktura cenowa poszczególnych typów wózków jest przedstawiona w tabeli 3 [1].

Zestawienie cenowe wybranych układów biegowych wagonów towarowych za rok 2004 Tabela 3

L.p.	Typ wózka	Cena układu biegowego [EUR]
1	Wózek typu Y25 (bez zaworu ważącego)	10 000
2	Wózek typu Y25 z zaworem ważącym	10 400
3	Wózek standardowy DB typu BA 665, BA 645, BA643)	12 000÷15 000
4	Wózek LEILA DG	~20 000

Wózki Y25Lsd1 rozpowszechnione są w większości europejskich zarządów kolejowych. Wózek jest przedstawiony na rys.3.

Jedną z istotnych różnic pomiędzy obydwoma konstrukcjami wózków wagonów towarowych, która ma decydujący wpływ na poziom emisji hałasu jest zastosowanie hamulców klockowych z żeliwa fosforowego



Rys.3. Wózek Y25Lsd1 dla wagonów towarowych różnego typu i przeznaczenia

o składzie chemicznym i własnościach zgodnych z kartą UIC 832 [16]. Jak wynika z przeprowadzonych badań oraz prac studialnych głównym źródłem hałasu jest układ koło-szyna, a decydującym parametrem jest chropowatość koła i szyny. Różnica w emisji hałasu, zarejestrowanego podczas przejazdu wagonu towarowego z kołami „gładkimi” na szynach o dużym poziomie gładkości, a emisją hałasu wagonu towarowego z układem koło-szyna o dużym poziomie emisji hałasu wynosi nawet 15 dB(A) [3]. Każdorazowe użycie hamulca klockowego, gdzie swój udział w hamowaniu ma wstawka z żeliwa fosforowego P10 (zawartość fosforu  $0,80\% \leq P \leq 1,10\%$ ), powoduje zwiększenie chropowatości powierzchni toczonej koła, co objawia się tworzeniem „rowków” na kole. Rowki o długości 5 cm do 10 cm na powierzchni toczonej koła wytwarzają drgania o amplitudach o wielkości 10 do 300  $\mu\text{m}$ ., które przekształcają się w hałas, który jest odbierany przez ucho ludzkie.

Częstotliwość drgań można wyliczyć ze wzoru:

$$f = \frac{v}{3,6\lambda} \quad (1)$$

gdzie:

f- częstotliwość wzbudzenia w Hz

v- prędkość jazdy w km/h

$\lambda$ - długość fali odpowiadającej chropowatości

w m.

Jak wynika z przeprowadzonych pomiarów hałasu koło podczas jazdy pojazdu wytwarza drgania w zakresie częstotliwościowym 100÷5000 Hz w kierunku osiowym oraz w kierunku promieniowym lub ich

kombinację.

Z dalszych analiz pomiarowych wynika, że chropowatość koła jest dużo większa od chropowatości szyny. Dlatego też należy zwrócić szczególną uwagę na stan koła. Jeśli główną przyczyną systematycznego zwiększania chropowatości koła jest wstawka z żeliwa fosforowego P10, to wówczas okazuje się być celowe zastosowanie wstawek z tworzyw sztucznych. W tym przypadku można wyróżnić dwa trendy rozwojowe, a mianowicie zastosowanie:

- wstawek z tworzyw sztucznych typu K
- wstawek z tworzyw sztucznych typu LL.

Zastosowanie obydwu wstawek typu K oraz LL, regulują przepisy UIC, które mają postać wytycznych [10,11]. Zastąpienie wstawek z żeliwa fosforowego może w istotny sposób zmniejszyć emisję hałasu, którą szacuje się na ok. 10 dB(A) przy prędkości 100 km/h. Wprowadzenie wstawek hamulcowych z tworzyw sztucznych (kompozytowych) jest związane jednak z rozwiązaniem wielu technicznych problemów, do których można zaliczyć:

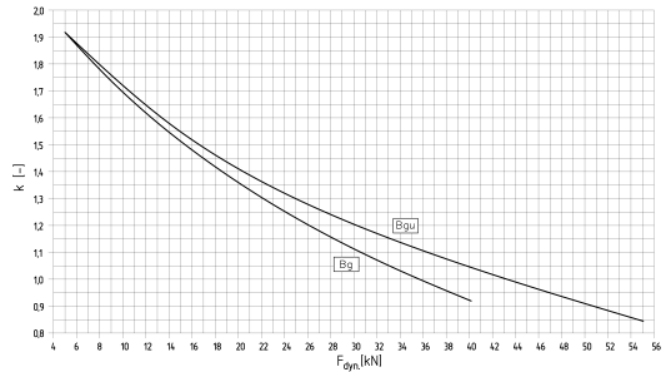
- produkt zastępczy musi spełniać wymagania dotyczące współczynnika tarcia i zagwarantować, że podana droga hamowania jest zachowana dla każdego warunków atmosferycznych
- przy mieszanym składzie pociągu tzn. w przypadku wagonów z wyposażonych we wstawki z żeliwa fosforowego oraz wagonów wyposażonych we wstawki kompozytowe, hamowanie nie może spowodować powstania niedopuszczalnych sił wzdłużnych lub innych efektów, które wymagają specjalnych czynności od maszynisty
- prawie 25÷30% ciepła powstającego podczas hamowania jest odprowadzane przez wstawki z żeliwa fosforowego, natomiast reszta przez koło; materiał kompozytowy jest o wiele słabszym przewodnikiem ciepła niż żeliwo, co oznacza że większa ilość energii cieplnej musi być odprowadzona przez koło; próby eksploatacyjne przeprowadzone w latach osiemdziesiątych spowodowały szereg pęknięć cieplnych kół, co doprowadziło do zakazu stosowania wstawek z tworzyw sztucznych w wagonach towarowych
- łącznie produkt zastępczy nie może być droższy od dotychczas stosowanego, aby nie pogorszyć konkurencyjności transportu towarowego ładunków.

Należy zwrócić uwagę, że wstawki z żeliwa fosforowego mają szereg zalet:

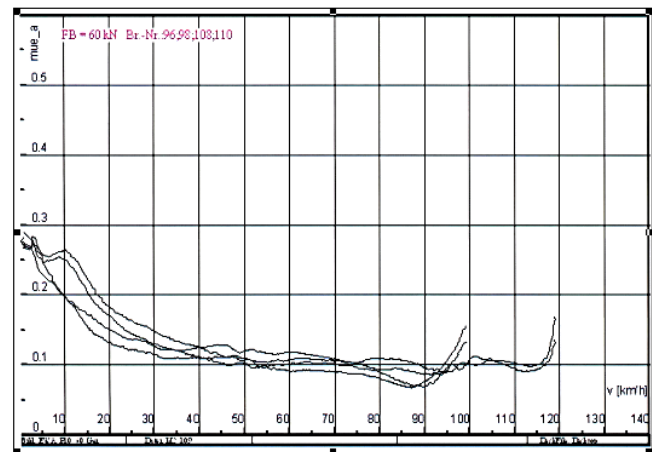
- współczynnik tarcia jest prawie niezależny od warunków atmosferycznych
- gwarantują odpowiednie odprowadzenie energii cieplnej, powstałej w wyniku hamowania

- małe „płaskie miejsca” na kołach „są zeszlifowane” w wyniku następujących po sobie hamowań
- stała chropowatość powierzchni tocznej gwarantuje równomierną przyczepność.

Bardzo istotną wadą żeliwa fosforowego jest podwójna zależność współczynnika tarcia od siły docisku i prędkości, co jest przedstawione odpowiednio na rys.4 i rys.5.



Rys.4. Zależność współczynnika tarcia żeliwa fosforowego P10 od siły docisku klocka hamulcowego do koła w trakcie hamowania wagonu towarowego wg [8]



Rys.5. Zależność współczynnika tarcia żeliwa fosforowego P10 od prędkości wg [8]

Wstawki hamulcowe typu K mają więc większy współczynnik tarcia i do tego jego wartość jest bardziej stabilna, aniżeli dla wstawek z żeliwa fosforowego. Te wstawki można zastosować w nowych lub zmodernizowanych wagonach towarowych. Wstawki typu LL posiadają współczynnik tarcia podobny jak wstawki z żeliwa fosforowego, w wyniku czego mogą one być bezpośrednio wymienione zamiast wstawek żeliwnych bez dodatkowych nakładów modernizacyjnych.

Przydatność wstawek typu K oraz LL w ramach procesu homologacji została potwierdzona przez:

- próby stanowiskowe na stanowisku ciernym
- próby hamulcowe podczas jazdy z odczepianiem pojedynczego wagonu, aby wykazać właściwą hamowność wagonu (drogę hamowania) wg karty UIC 544-1 [14]
- próby na pochyleniach toru  $40\frac{0}{00}$ , przeprowadzone na trasach alpejskich; próba ta ma wykazać funkcjonalność hamulca ręcznego w zakresie wymaganym przez przepisy TSI
- odporność na warunki zimowe została udowodniona za pomocą nadzorowanych prób eksploatacyjnych w Szwecji oraz i w komorze klimatycznej we Wiedniu.

Wstawki typu K oraz LL powinny spełniać wymagania, przedstawione w karcie UIC 541-4 [14].

Jak wynika z przeprowadzonych doświadczeń eksploatacyjnych istotne zmniejszenie poziomu hałasu podczas przejazdu pociągu towarowego można osiągnąć wtedy, gdy ilość wagonów wyposażonych we wstawki z żeliwa fosforowego w składzie wynosi 30%.

Tak więc już na tym etapie można dokonać klasyfikacji możliwych środków zmniejszających emisję hałasu, które są przedstawione w tabeli 4.

Możliwe zmniejszenie emisji hałasu za pomocą różnych środków konstrukcyjnych Tabela 4

Oznaczenie kategorii	Kategoria	Środek konstrukcyjny	Udział		
			Koło [dB(A)]	Tor [dB(A)]	Razem [dB(A)]
A	Wzbudzenie drgań	Hamulec tarczowe	-4	-7	-6
		Bardzo niska chropowatość	-6	-9	-8
B	Konstrukcje koła o zmniejszonej emisji hałasu	Koło z elementami tłumiącymi	-5+10	0	-1
		Koło usprężynowane	-8	0	-1
		Kształt koła i jego cechy geometryczne	-8	0	-1
		Kształt koła i jego cechy geometryczne i tłumienie	-12	0	-1
C	Konstrukcje toru	Optymalna sztywność mocowania szyny	0	0	0
		Większe tłumienie mocowania szyny	0	-2+3	-1
		Zwiększone tłumienie szyny	0	-3	-2
		Optymalny kształt szyny	0	0...-3	0...-1
		Optymalny kształt szyny i tłumienia	0	-4	-3
D	Zmniejszenie przenoszenia hałasu	Oslona na wózek	-3-7	0	-1
		Niski ekran na szynach	0	-3...-5	-1...-3
		Niski ekran na szynach i pochłanianie dźwięku	-1	-3...-6	-1...-4
		Niski ekran i osłona wózków	-10	-7	-7

Możliwe zmniejszenie emisji hałasu za pomocą różnych kombinacji środków konstrukcyjnych Tabela 5

Oznaczenie kategorii	Środek konstrukcyjny	Udział		
		Koło [dB]	Tor [dB]	Łącznie [dB]
B+C	Koło i tor o niskiej emisji hałasu	-12	-4	-5
B+C+D	Koło i tor o niskiej emisji hałasu oraz zastosowanie ekranu	-20	-10	-10* (-11)
A+B+C	Pomniejszona chropowatość i koło oraz tor o niskiej emisji hałasu	-18	-10	-11* (-12)
A+D	Zmniejszona chropowatość i całkowite ekranowanie	-14	-14	-13* (-14)
A+B+C+D	Pomniejszona chropowatość i koło oraz tor o niskiej emisji hałasu	-27	-16	-15* (-17)

Zestawienie środków technicznych zmniejszających emisję hałasu wagonów towarowych wraz z ewentualnymi kosztami ich wprowadzenia

Tabela 6

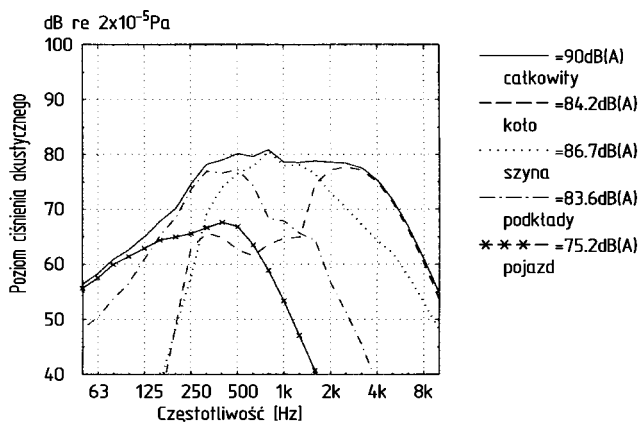
L.p.	Środki innowacyjno-techniczne	Efekt akustyczny	Koszty [Eur]	Stan rozwoju	Możliwość modernizacji lub dostawy
1.	Szlifowanie szyn za pomocą specjalistycznych pojazdów trakcyjno-roboczych	3 dB(A) w sposób ciągły	7Eur/m +koszty kontroli+ koszty blokowania linii kolejowej dla eksploatacji komercyjnej	optymalizacja metod pomiarowych toru oraz szlifowania szyn	
2.	Wstawki hamulcowe typu K Wstawki hamulcowe typu LL	7-9 dB(A) równy pod względem efektu akustycznego hamulcom tarczowym	Koszty modernizacji wagonu, wyposażonego we wstawki typu K-5000 Eur na wagon Koszty modernizacji wagonu wyposażonego we wstawki typu LL -800Eur na wagon	Dopuszczenie UIC, dalsze wstawki w próbach eksploatacji nadzorowanej i w rozwoju	Nowa dostawa wagonów towarowych oraz modernizacja istniejących wagonów
3.	Rozprężenie drganiowe pomiędzy wózkiem a pudłem wagonu	1÷2 dB (A)	Koszty rozwoju nowych wagonów towarowych	Techniczne rozwiązanie istniejących wagonów towarowych np. podpory gumowe dla kontenerów	Zastosowanie w specjalnych wagonach towarowych
4.	Tłumienie drgań i akustyczna optymalizacja układów biegowych	5÷6 dB(A)	Koszty rozwoju wagonu towarowego+250÷1500 Euro w przeliczeniu na zestaw kołowy	Wózki i tłumienie drgań koła w dalszym rozwoju	Wózek wyposażony w elementy gumowo-metalowe, tłumiki oraz i elementy tłumiące
5.	Akustyczna optymalizacja nadwozi pojazdów oraz przekładni hamulcowych	1÷2 dB(A)	Koszty rozwoju dla wagonu towarowego	Rozwiązanie techniczne jest dostępne np. tulejki z tworzyw sztucznych	Zastosowanie specjalnych pojazdów
6.	Oslony na koła oraz wózki i ekrany dźwiękochłonne o niskiej wysokości	8÷8dB(A)	8000 Euro/wagon towarowy 200 Euro/metr	Rozwiązania tylko prototypowe	Obecnie nie jest to możliwe ze względu na występowanie urządzeń do wykrywania przegrzanych łożysk tocznych HOA oraz ze względów konserwacyjnych

Z porównania danych tabeli 3 i 4 wynika, że środki konstrukcyjne i ich kombinacje prowadzą do znaczącego obniżenia emisji hałasu do środowiska naturalnego. Środki techniczne, opisane w tabeli 3 i 4 mają charakter ogólnych wytycznych. W tabeli 6 przedstawiono bardziej konkretne rozwiązania w połączeniu z możliwym obniżeniem emisji hałasu podczas jazdy wagonu towarowego oraz dodatkowe koszty związane z wprowadzeniem innowacji technicznych.

Powyższe zestawienia nie negują przedsięwzięć, które powinny podjąć służby zarządzające infrastrukturą kolejową poszczególnych państw członkowskich UE, aby zmniejszyć emisję hałasu podczas przejazdu wagonów towarowych. Nie mniej jednak należy wziąć pod uwagę, że koszty budowy ekranów dźwiękochłonnych są bardzo wysokie oraz pogarszają architekturę terenu, co wywołuje niechęć mieszkańców do transportu kolejowego. W przeciwieństwie do koła

kolejowego wagonu towarowego oraz innych pojazdów trakcyjnych szyna nie stanowi „struktury skończonej” w sensie matematycznym. Dlatego też jego ruch nie jest modalny, na który składają się częstotliwości własne, ale składa się z następujących po sobie fal. Przy niskich częstotliwościach drgań występują wprawdzie zjawiska rezonansowe np. wywołane zachowaniem się nawierzchni kolejowej, takie jak drgania z powodu sztywności tłucznia. Drgania te jednak są dużo silniej tłumione niż w przypadku drgań rezonansowych kół. Dyskretna budowa lokalizacji szyn kolejowych ze wskazaniem na odległość pomiędzy podkładami kolejowymi prowadzi do efektów rezonansowych przy określonych częstotliwościach, podczas gdy połowa długości fali odpowiada odległości pomiędzy podkładami kolejowymi. W wielu przypadkach wystarcza, aby zastosować model podparty w sposób ciągły, aby obliczyć wartość średnią ciśnienia

akustycznego i to przede wszystkim wtedy, gdy mocowanie szyny nie jest za sztywne. Przy występowaniu dużych zakresów częstotliwości deformacji ulega jedynie przekrój szyny. Dlatego też zwykłe modele belkowe, dające częstotliwości powyżej 1000 Hz nie są wystarczające. Osłabienie fali każdego typu za pomocą odległości pomiędzy podkładami jest ważnym parametrem dla określenia całego ciśnienia akustycznego, w tym również emisji hałasu szyny. Im mniejsze jest to osłabienie, tym większa jest efektywna powierzchnia szyny, emitująca hałas. Często emisję hałasu i toru wyznacza się z obliczonych drgań i stopni rozprzestrzeniania się hałasu. Stopnie promieniowania hałasu mogą być wyprowadzone z wyrażeń analitycznych i obliczeń elementów skrajnych. Pojedyncze udziały hałasu na przykładzie obliczeniowym są przedstawione na rys.6.



Rys.6. Obliczone udziały ciśnienia akustycznego koła, szyny, podkładów kolejowych i nadwozia wagonu towarowego dla pociągu towarowego na zwykłym torze kolei holenderskich NS (dla prędkości 100 km/h i podkładów betonowych) wg [9]

Jednym z rozwiązań technicznych, prowadzących do zmniejszenia emisji hałasu jest szlifowanie szyn [6]. Sukcesy w tej dziedzinie odnotowano już w 1954 roku, które doprowadziły do tego, że główne trasy kolejowe były regularnie obsługiwane przez pojazdy trakcyjne do szlifowania szyn.

Szlifowanie szyn daje oprócz zmniejszenia emisji hałasu następujące korzyści:

- przedłużenie żywotności ułożenia szyn w torze
- zwiększenie czasu pomiędzy okresami naprawczymi
- polepszenie komfortu jazdy pojazdów.

Celem szlifowania szyn jest:

- usunięcie uszkodzeń powierzchni jezdnej, wynikających z eksploatacji nawierzchni kolejowej; w tym przypadku chodzi o ślady uszkodzeń spowodowane tłuczniami na powierzchni jezdnej szyny, które inicjują dalsze uszkodzenia i które muszą być usunięte dla optymalnej trwałości szyny

- usunięcie warstwy wierzchniej, zawierającej niską zawartość węgla w wyniku procesu produkcji; warstwa ta posiada w praktyce głębokość 0,15÷0,30 mm, która powstała przy ogrzewaniu kęsiska kwadratowego do temperatury walcowania przez utlenianie węgla znajdującego się w pobliżu powierzchni. Jak wynika z praktyki w rezultacie usunięcia warstwy wierzchniej o małej zawartości węgla proces tworzenia się rowków na szynie może przesunąć się w czasie.
- wytworzenie równomiernego profilu głowki szyny, uwzględniając sytuację zabudowy szyny.

Koszty szlifowania szyn szacuje się na 4,40÷5,05 EUR/m w zależności od zebranej ilości jej materiału. W przypadku szlifowania szyn, znajdujących się na łukach koszty te wzrastają do około 28 EUR/m, przy czym uwzględnione są w tym przypadku koszty prac wstępnych oraz koszty materiałowe.

Przez nierówności szyny rozumie się okresowe nierówności profilu głowki szyny z typowymi długościami fal od 10÷30 mm, które powstają w wyniku dynamicznego oddziaływania układu koło-szyna i procesu zużycia. Rozróżnia się w tym przypadku:

- rowki z długościami fal zużyciowych od 10÷100 mm
- fale poślizgu o długościach od 30÷300 mm.

Kolejnym etapem rozwoju tej technologii jest tzw. „szlifowanie oscylacyjne”, opracowane przez Schweerbau GmbH, Stadthagen.

Nierówności na powierzchni jezdnej nie ograniczają funkcji jezdnych oraz nośnych szyny. Jednakże one zwiększają obciążenie dynamiczne pojazdu i toru kolejowego. Obciążenie, wynikające z drgań prowadzi do przyspieszonego uszkodzenia pojazdu i toru kolejowego. Wypadkowe obciążenie, spowodowane drganiami prowadzi do przyspieszonego procesu uszkodzeń szyn, ich mocowania, podkładów kolejowych i tłuczni oraz zwiększa nakłady finansowe, które trzeba ponieść na konserwację i naprawy. Nierówności na powierzchni jezdnej zmniejszają komfort jazdy i zwiększają emisję hałasu i drgań oraz przyczyniają się do zmniejszenia akceptacji transportu szynowego u klientów i właścicieli taboru kolejowego i infrastruktury kolejowej. W celu uwidocznienia oddziaływania nierówności powierzchni jezdnej na obciążenie poszczególnych komponentów nawierzchni kolejowej maksymalne przyspieszenie w kierunku pionowym wyraża się następującą zależnością:

$$\ddot{z} = a \left( \frac{2\pi}{L} \cdot v \right)^2 \quad (2)$$

gdzie:

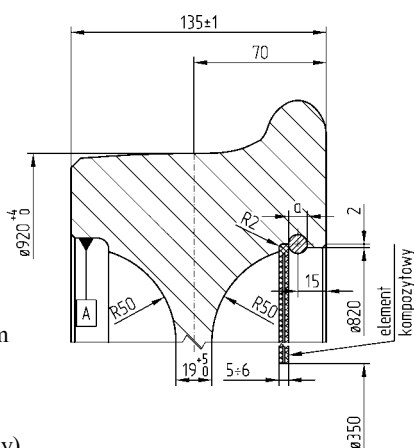
- L-długość fali
- v-prędkość pojazdu
- a-głębokość nierówności mającej kształt sinusoidalny.

Przyspieszenie, wyrażone wzorem (2) jest źródłem nie tylko drgań i dodatkowych obciążeń dynamicznych, ale również źródłem emisji hałasu do środowiska naturalnego.

W związku z powyższymi rozważaniami kolej niemiecka DB AG wprowadziła do praktyki eksploatacyjnej „tor o szczególnie dobrym stanie utrzymania” („besonders überwachtes Gleis” (**BüG**)). Pojęcie to oznacza zastosowanie prewencyjnych środków konserwacyjnych szyn, aby ograniczyć emisję hałasu do środowiska naturalnego. W wyniku bardzo dokładnej i regularnej kontroli stanu szyn podłużne wyłobienia, będące źródłem hałasu, mogą być wcześniej wykryte i usunięte. Zobowiązanie się użytkownika infrastruktury do dokładnej kontroli odcinka toru kolejowego zmniejsza emisję hałasu o około 3dB(A). Tor kolejowy „BüG” należy do aktywnych środków zwalczania hałasu i pozwala na utrzymanie wartości granicznych emisji hałasu i na rezygnację z konstrukcji budowlanych np. ekranów dźwiękochłonnych. W Niemczech obecnie występują odcinki toru „BüG” o łącznej długości 1000 km. Kontrola toru „BüG” odbywa się co pół roku za pomocą wagonów własnej konstrukcji do pomiaru emisji hałasu.

### 2.3. Koło z tłumikiem hałasu

Aby zmniejszyć emisję hałasu pochodzącą od układów biegowych wagonów towarowych, można zastosować koło z tłumikiem hałasu. Wychodząc z założenia, że głównym źródłem hałasu jest układ kołoszyzna, a na kole tarcza koła, jednym z rozwiązań zmniejszającym emisję hałasu jest tłumik, wykonany z materiałów kompozytowych o konstrukcji typu „sandwich”. Tłumik ten jest wmontowany w konstrukcję koła za pomocą pierścienia metalowego. Lepszym rozwiązaniem z punktu widzenia ograniczenia emisji hałasu byłoby zastosowanie tłumika hałasu z obydwu stron. Jak wynika z przeprowadzonych pomiarów hałasu spodziewane zmniejszenie emisji hałasu wynosi ok. 2÷3 dB(A) przy prędkości przejazdu 80 km/h. Jednak strona zewnętrzna koła jest wykorzystywana do przetaczania zarysu zewnętrznego koła, wskutek procesu zużycia powierzchni tocznej oraz obrzeża. Koło to jest przedstawione na rys.7.



Rys.7. Koło z tłumikiem hałasu od strony wewnętrznej, wyprodukowane przez firmę Bonatrans (Czechy)

Powyższe koło jak i inne koła monoblokowe muszą spełniać warunki wytrzymałości statycznej i zmęczeniowej zgodnie z PN-EN 13 979+A1:2009 [18].

## 4. ZAKOŃCZENIE

Walka z hałasem jest przedsięwzięciem kosztownym i technicznie trudnym, któremu musi sprostać nowoczesny transport kolejowy ładunków. Aby jednak to spełnić i utrzymać konkurencyjność transportu kolejowego ładunków konieczne jest wprowadzenie środków konstrukcyjnych zmniejszających emisję hałasu. Gwarantuje to spełnienie warunków interoperacyjności przez wagony towarowe zgodnie z przepisami TSI [19]. Warto nadmienić, że na kolejach DB AG tylko w roku 2000 udało się przetransportować tylko 76 miliardów tonokilometrów ładunków drogą kolejową, natomiast transportem drogowym 374 miliardy tonokilometrów. W transporcie kolejowym ładunków odnotowano w ostatnich latach zmniejszający się udział na rynku kolejowym taboru bezpiecznego i przyjaznego dla środowiska, pomimo stale rosnących wskaźników przewozowych na przestrzeni poszczególnych lat. Istotnym ograniczeniem dla rozwoju nowoczesnych środków konstrukcyjnych, zmniejszających emisję hałasu jest rachunek ekonomiczny. To on spowodował, że wózki typu Y37 z hamulcami tarczowymi nie weszły do produkcji seryjnej na skalę europejską, pomimo że uznane zostały jako standardowe, a tym samym przystosowane do ruchu transgranicznego przez Grupę Roboczą ORE/ERRI, a następnie przez UIC. Wysokie koszty ultralekkiego wózka LEILA-DB spowodowały, że nie wszedł on w ogóle do produkcji seryjnej, pomimo bardzo dobrych parametrów technicznych, które zostały osiągnięte podczas badań homologacyjnych. Tendencja do stosowania wózków wagonów towarowych przystosowanych do prędkości 120 km/h w stanie próżnym i 100 km/h w stanie ładownym, co z góry eliminuje wózek Y37 z zastosowania w masowej eksploatacji komercyjnej, jak na razie, eliminuje wózek Y37 z zastosowania w masowej eksploatacji komercyjnej, który jest dostosowany do 160 km/h z naciskiem maksymalnym zestawu kołowego na tor wynoszącym 18 ton. Pewnym rozwiązaniem, zachęcającym użytkowników taboru kolejowego do stosowania środków konstrukcyjnych zmniejszających emisję hałasu jest program odpłatności przez infrastrukturę kolejową dla tych użytkowników taboru, którzy wykazują mały poziom emisji hałasu do środowiska naturalnego podczas eksploatacji komercyjnej. Program ten został opracowany przez koleje austriackie ÖBB. Program informatyczny, w którym zebrane są konfiguracje o poszczególnych pociągach i pojazdach o nazwie ARTIS (Austrian Rail Transport Information System) [7]. Warunkiem



odpłatności dla użytkowników pojazdów (wagonów towarowych) jest pełne monitorowanie przejazdów pociągów na trasach. Punktem wyjściowym jest prędkość bazowa do pomiaru hałasu wynosząca 80 km/h. Tak więc w przypadku budowy nowych wagonów towarowych konieczne będzie zastosowanie układów biegowych typu Y25Ls1-K, wyposażonych we wstawki z tworzywa sztucznego, natomiast w przypadku już eksploatowanych wagonów towarowych konieczne będzie zastąpienie wstawek z żeliwa fosforowego P10 na wstawki LL. W tym ostatnim przypadku koszty modernizacji nie są wysokie. Modernizacja wagonów już eksploatowanych, polegająca na wyposażeniu ich we wstawki typu K zamiast wstawek z żeliwa fosforowego jest kosztowna i wymaga modernizacji układu hamulcowego na wózku (pojedyncza obsada) oraz na wagonie. W związku z tym ten kierunek rozwojowy spowalniają względy ekonomiczne. Nie można wykluczyć, że aby osiągnąć odczuwalny efekt dla ochrony środowiska naturalnego, konieczne jest również podjęcie inwestycji w kierunku ograniczenia hałasu przez użytkowników (właścicieli) infrastruktury.

## 5. LITERATURA

- [1] Danzer P.: *Die Wirtschaftlichkeit innovativer Güterwagendrehgestelle am Beispiel des Drehgestells LEILA*. ZEVrail Glasers Annalen Nr.128. Marzec 2004.
- [2] Gąsowski W.: *Aerodynamika pociągu*. Wyd. ITE Radom 1998.
- [3] Gessner R.: *Schienenverkehrslärm-Senkung der Rad/Schiene-Geräusche*. Eisenbahningenieur Nr. 6/2002
- [4] Hartleben D.: *Lärminderung durch oszillierendes Schleifen*. ZEVrail-Glassers Annalen Nr.129. Sierpień 2005.
- [5] Hecht M., Schirmer A.: *Leichtes und lärmarmes Güterwagen-Drehgestell (LEILA-DG)*. Eisenbahntechnische Rundschau .Wrzesień 2003.
- [6] Hempe T., Siefer T.: *Schienenschleifen als Bestandteil einer technisch –wirtschaftlichen Gleisstandhaltung*. ZEV-Glassers Annalen Nr.131. Marzec 2007.
- [7] Kalivoda M., Hierzer R., Ostermann N.: *Das Infrastrukturpegel als Steuermechanismus zur Reduzierung des Eisenbahnlärms*. ETR-Eisenbahntechnische Rundschau Nr.5/2006.
- [8] Paukert H.: *Verbundstoffbremssohlen als Ersatz für Grauguss*. Aktivitäten der UIC zur Lärminderung des Eisenbahngüterverkehrs. ZEV Rail-Glassers Annalen Nr.131. Marzec 2007
- [9] Thompson D., Jansens M., Dittrich M.: *Rollgeräusche durch den Rad/Schiene-Kontakt-Beurteilung von Minderungsmaßnahmen*. ZEV+DET Glassers Annalen Nr. 2/3 Luty-Marzec.1997.
- [10] Forum Technika i Badania. Grupa Robocza 7 „Hamulce i układy biegowe”. *Zagadnienie UIC 5-110 (4.04.501)*. Zwalczanie hałasu. Zabudowa wstawek z tworzyw kompozytowych w wagonach towarowych. Wytyczne konstrukcyjne V-BKS(K). 8-me wydanie Część 1. Konstrukcja i wyposażenie wagonów we wstawki kompozytowe o wysokim współczynniku tarcia (K). Część 2. Eksploatacja hamulcowa, kontrola i konserwacja. Ważna od 1.7.2011.
- [11] Forum Technika i Badania. Grupa Studialna 5. *Hamulce i układy biegowe Zagadnienie UIC 5-110: Zwalczanie hałasu. Zabudowa wstawek z tworzyw kompozytowych w wagonach towarowych*. Wytyczne stosowania V-BKS(LL).8-me wydanie. Część 1. Konstrukcja wagonów towarowych wyposażonych we wstawki kompozytowe o niskim współczynniku tarcia (LL).Część 2. Eksploatacja hamulca, kontrola i konserwacja. Ważna od 1.07.2011
- [12] Karta UIC 432: *Wagony towarowe. Prędkości jazdy. Warunki techniczne, które należy spełnić*. 11-te wydanie 09/2006.
- [13] Karta UIC 510-1: *Wagony towarowe. Układ biegowy standaryzacja*. 9-te wydanie z 1.01.78. 14-ście zmian od 1.01.80 do 1.01.97.
- [14] Karta UIC 541-4: *Hamulce. Hamowanie wstawkami klocków hamulcowych z materiału syntetycznego*.2-gie wydanie z 1.10.1990
- [15] Karta UIC 544-1: *Hamulec. Hamowność*. 4-te wydanie z października 2004 oraz maja 2004.
- [16] Karta UIC 832: *Warunki techniczne dostawy wstawek hamulcowych z żeliwa fosforowego dla pojazdów trakcyjnych i wagonów*. 3-wydanie ze stycznia 2004.
- [17] PN-EN ISO 3095: 2005. *Kolejnictwo. Pomiar hałasu pojazdów szynowych*.
- [18] PN-EN 13979-1:A1:2009: *Kolejnictwo. Zestawy kołowe i wózki. Koła monoblokowe. Procedura dopuszczenia*. Część 1: Koła kute i walcowane.
- [19] Przepisy TSI „Decyzja Komisji z dnia 4 kwietnia dotycząca technicznej specyfikacji interoperacyjności odnoszącej się do podsystemu „Tabor kolejowy-Halas” transeuropejskiego systemu kolei konwencjonalnych (notyfikowana jako dokument nr C(2011) 658 (tekst mający znaczenie dla EOG) (2011/229/UE).
- [20] Raport ORE/ERRI B12.4: *Program rozwoju sprawozdanie i wybór prototypów 2-osiowych wózków wagonów towarowych dla prędkości powyżej 120 km/h*. Wydanie luty 1990
- [21] Raport ORE/ERRI B12/Rp.17: *Program prób dla wagonów towarowych z podwoziem i strukturą wagonu ze stali (które nadają się do zabudowy automa-*

## **Analiza sygnałów wibroakustycznych w procesie monitorowania stanu zawieszenia pojazdów szynowych oraz toru**

*Przedmiotem artykułu jest analiza wyników pomiarów przyspieszeń na wybranych elementach pojazdu szynowego, na którym został zainstalowany prototyp Systemu monitorowania stanu i diagnozowania po-jazdów szynowych oraz toru. Pośród tych elementów wyróżnia się: obudowy łożysk maźniczych, ramy wózków i nadwozia wagonów lub członów pojazdu szynowego. Analizy dokonano na przykładzie wybranego fragmentu krajowej sieci kolejowej – rozpatrzeniu poddano przejazd pojazdu szynowego wzdłuż określonego odcinka linii kolejowej numer 3. Wyniki pomiarów zostały odpowiednio przekształcone tj. przeliczone do wartości określonych wskaźników diagnostycznych. Wartości wskaźników diagnostycznych, po porównaniu z wartościami dopuszczalnymi (określonymi dla każdego typu wskaźników przy uwzględnieniu lokalizacji miejsc pomiarowych), pozwalają na monitorowanie typowych dynamicznych zachowań pojazdu szynowego i stanu toru oraz temperatury maźnic zestawów kołowych pojazdu szynowego oraz na określenie stanu technicznego konstrukcji rozpatrywanego pojazdu szynowego. Celem analiz jest określenie użyteczności poszczególnych wskaźników diagnostycznych przy jednoczesnym wskazaniu dalszych kierunków badań nad systemem.*

### **1. Wprowadzenie**

W ramach projektu badawczego *MONIT* – „*Monitorowanie Stanu Technicznego Konstrukcji i Ocena jej Żywotności*” – realizowanego w ramach *Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka (PO IG) Poddziałanie 1.1.2 Strategiczne programy badań naukowych i prac rozwojowych* opracowywane są systemy i rozwiązania znajdujące zastosowanie m.in. w: lotnictwie, energetyce, przemyśle chemicznym oraz przy monitorowaniu stanu technicznego konstrukcji budowlanych czy wreszcie w transporcie. Jednym z przygotowywanych rozwiązań jest *Systemu monitorowania stanu i diagnozowania pojazdów szynowych oraz toru*. Zadaniem systemu jest monitorowanie typowych dynamicznych zachowań pojazdu szynowego i stanu toru oraz temperatury maźnic zestawów kołowych pojazdu szynowego. Wobec prawidłowego funkcjonowania systemu na etapie jego eksploatacji nadzorowanej analizowane są dane uzyskane w wyniku pomiarów w trakcie przejazdów pojazdu szynowego, na którym zainstalowano prototyp systemu.

Przedmiotem artykułu jest analiza wyników pomiarów przyspieszeń na maźnicach, ramach wózków i nadwoziach (pudłach) wagonów lub członów pojazdu szynowego. Analizy dokonano na przykładzie wybranego fragmentu krajowej sieci kolejowej.

System monitorowania stanu i diagnozowania pojazdów szynowych oraz toru umożliwia monitorowanie stanu pojazdu poprzez akwizycję i wstępną analizę danych drganiowych oraz procesowych. Zmierzone dane poddawane są obróbce cyfrowej oraz walidacji. W przypadku wykrycia nieprawidłowości informacja o niej przesyłana jest na zewnętrzny serwer w postaci pakietu kontrolnego za pośrednictwem modemu *GSM*. Również dane uzyskane w wyniku pomiarów mogą być wysyłane na serwer w postaci pakietu danych.

Monitorowanie stanu pojazdów szynowych jest prowadzone on-line (na bieżąco), a zbierane przez czujniki sygnały są na bieżąco analizowane i gromadzone w bazach danych serwera systemu.

Opracowana została struktura funkcjonalna systemu (rys. 1.). Sygnały z czujników są przesyłane drogą przewodową do lokalnej jednostki akwizycji danych zamontowanej na pojeździe. Następnie sygnały są przesyłane (także drogą przewodową) do centralnej jednostki akwizycji danych, gdzie podlegają wstępnej analizie. W dalszej kolejności sygnały z centralnej jednostki akwizycji danych przesyłane są drogą bezprzewodową do serwera systemu gdzie podlegają szerszej analizie i są gromadzone w bazie danych. W wyniku analizy obliczane są odpowiednie.

wskaźniki diagnostyczne (amplituda, wartość średniokwadratowa, współczynnik kurtozy, rozstęp międzykwartylowy, jakość toru) charakteryzujące stan techniczny, a następnie generowane są informacje jakościowe o stanie technicznym. Informacje te są na bieżąco przesyłane do odpowiednich służb nadzorujących ruch pojazdu oraz służb odpowiedzialnych za stan techniczno-eksploatacyjny pojazdu i toru. Ruch pojazdu jest opisany współrzędnymi geograficznymi i jest widoczny na elektronicznej mapie Polski, zatem informacje o pojeździe i stanie toru są jednoznacznie identyfikowane z miejscem w terenie. W związku z tym operator pojazdu otrzymuje informacje o zachowaniu się pojazdu na odpowiednim szlaku. Gromadzone w bazie danych informacje są wykorzystywane do oceny stanu technicznego elementów podatnych i tłumiących I i II stopnia sprężynowania pojazdu oraz do oceny stanu toru. Bazując na tych informacjach możliwe jest podejmowanie decyzji o koniecznych naprawach, remontach czy wymianach elementów pojazdu

System monitorowania stanu i diagnozowania pojazdów szynowych oraz toru składa się z następujących podsystemów (rys 1.):

- podsystemu pokładowego,
- podsystemu użytkownika,
- podsystemu serwera przetwarzania danych,

Podsystem pokładowy ma budowę modułową. Składa się z modułu centralnej jednostki akwizycji danych oraz pewnej liczby modułów lokalnych jednostek akwizycji danych zależnej od liczby członów wchodzących w skład pojazdu szynowego.

Podsystem użytkownika składa się z następujących komponentów:

- centralna jednostka akwizycji danych,
- lokalne jednostki akwizycji danych (podzespół predefiniowany na potrzeby systemu),
- czujniki przyspieszeń
- czujniki temperatury,
- oprogramowanie.

Centralna jednostka akwizycji danych (CJAD) to komputer przemysłowy używany w kolejnictwie, zgodny ze standardem EN50155.

Centralna jednostka akwizycji danych znajduje się w jednym ze skrajnych członów pojazdu szynowego. Jedna centralna jednostka akwizycji danych przypada na jeden pojazd szynowy.

Rolą jej jest zbieranie sygnałów z lokalnych jednostek akwizycji danych, przeprowadzanie analiz w oparciu o te sygnały oraz przesyłanie pakietów danych i pakietów kontrolnych do podsystemu serwera przetwarzania danych.

Komunikacja między centralną jednostką akwizycji danych a lokalnymi jednostkami akwizycji danych odbywa się drogą kablową za pośrednictwem sieci typu *Ethernet*.

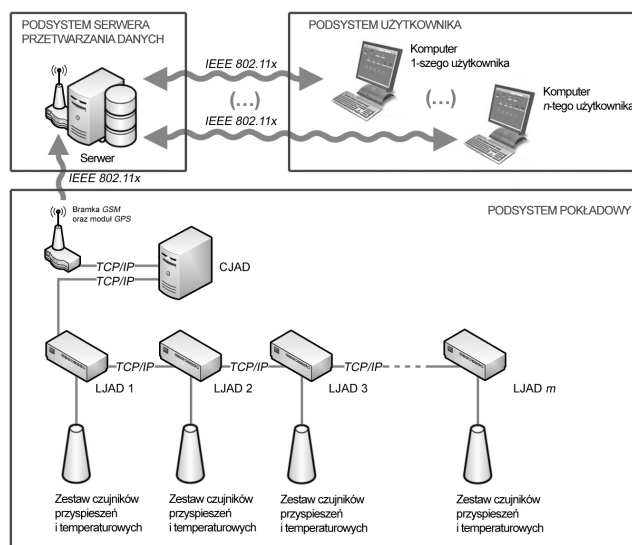
Komunikacja między centralną jednostką akwizycji danych a podsystemu serwera przetwarzania danych odbywa się bezprzewodowo, za pośrednictwem systemu telekomunikacji *GSM*.

Lokalne jednostki akwizycji danych (LJAD) zabudowane są w szczelnych obudowach. Jedna lokalna jednostka akwizycji danych przypada na jeden człon pojazdu szynowego.

Rolą lokalnych jednostek akwizycji danych jest zbieranie, kondycjonowanie i koordynacja sygnałów pochodzących z czujników, a także przesyłanie sygnałów do centralnej jednostki akwizycji danych.

Komunikacja między centralną jednostką akwizycji danych a lokalnymi jednostkami akwizycji danych odbywa się drogą kablową za pośrednictwem sieci typu *Ethernet*. Natomiast komunikacja między lokalnymi jednostkami akwizycji danych a czujnikami odbywa się drogą przewodową.

Na rys. 2. przedstawiono schemat elektrycznego zespołu trakcyjnego ED74, tj. pojazdu, na którym został zainstalowany prototyp systemu, wraz z uwzględnieniem symbolicznych oznaczeń wózków pojazdu szynowego oraz przyporządkowaniem im lokalnych jednostek akwizycji danych (LJAD) stanowiących część składową Systemu monitorowania stanu i diagnozowania pojazdów szynowych oraz toru. Gromadzenie i przesył danych do centralnej jednostki akwizycji danych (CJAD) w przypadku wózka napędowego oznaczonego symbolem A jest realizowane przez LJAD5; w przypadku wózka tocznego oznaczonego symbolem B jest realizowane przez LJAD4; w przypadku wózka tocznego oznaczonego symbolem C jest realizowane przez LJAD3; w przypadku wózka tocznego oznaczonego symbolem D jest realizowane przez LJAD2; w przypadku wózka napędowego oznaczonego symbolem E jest realizowane przez LJAD1.



Rys. 1. Schemat system monitorowania stanu i diagnozowania pojazdów szynowych oraz toru Źródło: opracowanie własne



Rys. 2. Schemat elektrycznego zespołu trakcyjnego ED74 0001 wraz z uwzględnieniem symbolicznych oznaczeń wozków pojazdu szynowego oraz przyporządkowaniem im lokalnych jednostek akwizycji danych (LJAD) Źródło: opracowanie własne na podstawie [8, 9]

Wybraną dla przeprowadzenia analiz pomiarów jest trasa stanowiąca część składową linii kolejowej nr 3, łączącej Warszawę Zachodnią z Frankfurtem nad Odrą. Linia kolejowa nr 3 stanowi jednocześnie fragment międzynarodowej linii kolejowej E20. Dokładniej rzecz ujmując rozpatrywana trasa to linia kolejowa pomiędzy Warszawą a Poznaniem (wyłączenie w relacji Warszawa-Poznań). Pojazd szynowy na tej trasie przemieszczał się w następujących dniach (przy uwzględnieniu pomiarów do dnia 7 lutego 2012 r.): 18, 19 listopada 2011 r., 23, 25, 26 stycznia 2012 r.

W poszczególnych dniach zarejestrowane zostały następujące liczby pakietów:

- 18 listopada 2011 r.: wózek A: 97 pakietów, wózek B: 97 pakietów, wózek C: 27 pakietów, wózek D: 96 pakietów, wózek E: 97 pakietów,
- 19 listopada 2011 r.: wózek A: 107 pakietów, wózek B: 108 pakietów, wózek C: 108 pakietów, wózek D: 108 pakietów, wózek E: 105 pakietów,
- 23 stycznia 2012 r.: wózek A: 15 pakietów, wózek B: 12 pakietów, wózek C: 34 pakiety, wózek D: 45 pakietów, wózek E: 46 pakietów,
- 25 stycznia 2012 r.: wózek A: 0 pakietów, wózki B, C, D, E: po 88 pakietów,
- 26 stycznia 2012 r.: wózek A: 16 pakietów, wózek B: 47 pakietów, wózek C: 46 pakietów, wózek D: 47 pakietów, wózek E: 43 pakiety.

W artykule każdorazowo, gdy mowa jest o przekroczeniach wartości dopuszczalnych dotyczących wskaźników diagnostycznych, odnosi się to do wartości wskazanych w tabeli 1.

## 2. Analiza wybranych parametrów statystycznych

W artykule analizie poddane są dwa wskaźniki diagnostyczne: *Amplituda*, *Wartość średniokwadratowa*. Pozostałe wskaźniki diagnostyczne nie są analizowane z uwagi na fakt, że trwają prace nad warto-

ściami dopuszczalnymi ich dotyczącymi. Dodatkowo omówieniu podlega *Współczynnik kurtozy*.

### Amplituda

Zgodnie z zaleceniami zawartymi w karcie UIC518 amplitudę sygnału rozpatruje się poprzez pryzmat jej percentyla 99,85%.

Z uwagi na nierównomierny rozkład liczb przesyłanych pakietów nie można jednoznacznie stwierdzić, w przypadku którego wózka występowało najwięcej przekroczeń wartości wskaźników diagnostycznych. Można jedynie wskazać procentowy udział liczby pakietów zawierających przekroczenia wobec łącznej liczby pakietów rozpatrzonych przez oprogramowanie analizujące przypadającej na poszczególne wózki pojazdu szynowego. W przypadku analizowania dopuszczalnych poziomów *Amplitudy* wyniki zawarto w tabeli 2. (wartości uznane za najwyższe pogrubiono). W ujęciu procentowym, w przypadku rozpatrywanych wskaźników diagnostycznych, do przekroczenia ich dopuszczalnych wartości najczęściej dochodzi w przypadku wozków o skrajnym położeniu tj. wozków napędowych A i E oraz w przypadku wózka D. Z kolei najwięcej, w ujęciu bezwzględnym, przekroczeń dotyczy wozków E oraz D (tabela 2.) oraz nadwozi pojazdu szynowego A i B/A (tabela 2.) w przypadku *Amplitudy*.

Z uwagi na duże liczby zarejestrowanych przekroczeń w przypadku parametru statystycznego *Amplituda* utrudnione jest przedstawienie przykładu zestawienia pakietów zawierających przekroczenia. Na przykład w dniu 26 stycznia 2012 r., na wózku A, nastąpiło zarejestrowanie przez odpowiednie czujniki 190 przekroczeń „skupionych” w 7 pakietach, [10]. Jak wykazały analizy, do największych przekroczeń doszło w miejscach rozjazdów kolejowych w okolicy dworca kolejowego Poznań Wschód, [10]. Ze względu na liczbę przekroczeń nie jest możliwe przytoczenie identyfikacji miejsc ich wystąpienia w artykule.

*Amplituda* ze względu na silną podatność na zmiany w badanym układzie (pojazd szynowym-tor) nie jest skutecznym wyznacznikiem przy monitorowaniu pojazdu prowadzącym do jego diagnozowania. Przejawem tego jest zdecydowanie rozbieżne procentowe porównanie *liczby pakietów z przekroczeniami* przypadającej na *łączną liczbę pakietów* w przypadku każdego z rozpatrywanych wozków pojazdu szynowego (tabela 2.).

Wartości dopuszczalne rozpatrywanych wskaźników diagnostycznych Tabela 1.

Lokalizacja punktu pomiarowego	Kierunek	Amplituda [m/s <sup>2</sup> ]	Wartość średniokwadratowa [m/s <sup>2</sup> ]	Współczynnik kurtozy	Rozstęp międzykwartyłowy	Stan toru
Nadwozie	poprzeczny	2,5	0,5	W fazie opracowywania		
	pionowy	2,5	0,75			
Rama wózka	poprzeczny	10,9	5			
	pionowy	20	7			
Obudowa maźnicy	poprzeczny	18	-			
	pionowy	76	-			

Źródło: opracowanie na podstawie [6, 8]

Tabela 2.

Analiza przekroczeń dopuszczalnych poziomów *Amplitudy* wg czujników pomiarowych o wskazanych położeniach na wózkach i nadwoziach pojazdu szynowego (\* E-Ø; \*\* E-czujnik 6, pionowy kierunek pomiaru)

Oznaczenie wózka	A	B	C	D	E
Liczba pakietów z przekroczeniami/ Łączna liczba pakietów	18.11.11 29/97 (30%)	32/97 (33%)	1/27 (4%)	<b>33/96 (34%)</b>	21/97 (22%)
	19.11.11 <b>54/107 (50%)</b>	35/108 (32%)	32/108 (30%)	39/108 (36%)	37/105 (35%)
	23.01.12 5/15 (33%)	3/12 (25%)	16/34 (47%)	17/45 (38%)	<b>29/46 (63%)</b>
	25.01.12 -	25/88 (28%)	27/88 (31%)	<b>29/88 (33%)</b>	24/88 (27%)
	26.01.12 7/16 (44%)	24/47 (51%)	23/46 (50%)	18/47 (38%)	<b>29/43 (67%)</b>
Czujnik 1, kierunek poprzeczny* <sup>1</sup>	76	278	219	<b>807</b>	-
Czujnik 2, kierunek poprzeczny*	0	477	252	<b>665</b>	-
Czujnik 3, kierunek pionowy	888	1368	1090	1920	<b>2568</b>
Czujnik 4, kierunek pionowy**	1137	1378	1508	462	<b>1860</b>
Oznaczenia nadwozia	A	B/A	C/B	D/C	D
Czujnik 5, kierunek pionowy	276	220	117	234	98
Czujnik 6, kierunek poprzeczny*	84	<b>154</b>	3	87	-

Źródło: opracowanie własne na podstawie [10]

Tabela 3.

Analiza przekroczeń dopuszczalnych poziomów *Wartość średniokwadratowa* wg czujników pomiarowych o wskazanych położeniach na wózkach i nadwoziach pojazdu szynowego (\* E-Ø; \*\* E-czujnik 6, pionowy kierunek pomiaru)

Oznaczenie wózka	A	B	C	D	E
Liczba pakietów z przekroczeniami/ Łączna liczba pakietów	18.11.11 17/97 (17%)	14/97 (14%)	3/27 (11%)	0/96 (0%)	0/97 (0%)
	19.11.11 19/107 (19%)	3/108 (3%)	2/108 (2%)	6/108 (6%)	8/105 (8%)
	23.01.12 0/15 (0%)	0/12 (0%)	1/34 (1%)	2/45 (1%)	1/46 (1%)
	25.01.12 -	0/88 (0%)	0/88 (0%)	1/88 (1%)	0/88 (0%)
	26.01.12 0/16 (0%)	0/47 (0%)	0/46 (0%)	0/47 (0%)	0/43 (0%)
Czujnik 1, kierunek poprzeczny*	0	0	0	0	-
Czujnik 2, kierunek poprzeczny*	0	0	0	<b>1</b>	-
Czujnik 3, kierunek pionowy	5	1	4	3	<b>6</b>
Czujnik 4, kierunek pionowy**	7	1	3	1	3
Oznaczenia nadwozia	A	B/A	C/B	D/C	D
Czujnik 5, kierunek pionowy	9	<b>12</b>	0	1	1
Czujnik 6, kierunek poprzeczny*	<b>15</b>	3	0	3	-

Źródło: opracowanie własne na podstawie [10]

Tabela 4.

Liczby przekroczeń dopuszczalnych poziomów *Wartości średniokwadratowej* wg czujników pomiarowych o wskazanych położeniach na wózkach i nadwoziach pojazdu szynowego w dniu 23 stycznia 2012 r. (\* E-Ø; \*\* E-czujnik 6, kierunek pionowy)

Oznaczenie wózka	A	B	C	D	E
Czujnik 1, kierunek poprzeczny*	0	0	0	0	-
Czujnik 2, kierunek poprzeczny*	0	0	0	0	-
Czujnik 3, kierunek pionowy	0	0	1	1	1
Czujnik 4, kierunek pionowy**	0	0	1	0	1
Oznaczenia nadwozia	A	B/A	C/B	D/C	D
Czujnik 5, kierunek pionowy	0	0	0	0	0
Czujnik 6, kierunek poprzeczny*	0	0	0	1	-

Źródło: opracowanie własne na podstawie [10]

### Wartość średniokwadratowa (RMS)

W przypadku analizowania dopuszczalnych poziomów *Wartości średniokwadratowej* wyniki zawarto w tabeli 3. Najwięcej przekroczeń tego parametru, w ujęciu bezwzględnym, dotyczy wózków A, E i nadwozia A (tabela 3.). Przy czym, ze względu na odmienną konfigurację czujników, w przypadku wózka E brak jest danych dotyczących przekroczeń w przypadku czujników 1, 2 umiejscowionych na wózku, a także czujnika 6 umiejscowionego na nadwoziu. Gdyby danymi dysponowano, niewykluczone, że to wózek E byłby „obciążony” największą liczbą

przekroczeń dopuszczalnych wartości parametru statystycznego, co dotyczy także *Amplitudy*. W tabeli pogrubiono wartości uznane za najwyższe.

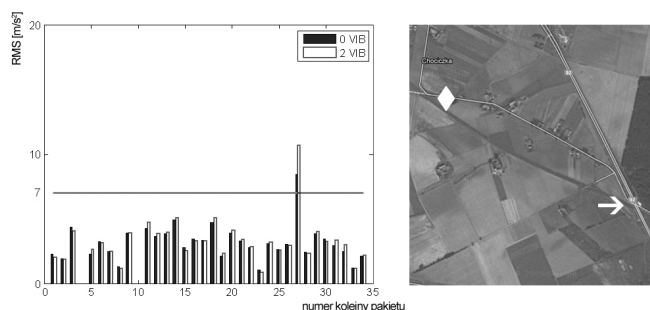
Szczegółowy wykaz pakietów (ze zmienionymi na potrzeby artykułu nazwami pakietów – pakietom z nadano numery kolejne), w odniesieniu do tabeli 4., zawierających przekroczenia *Wartości średniokwadratowej* w dniu 23 stycznia 2012 r., z podziałem na elementy pojazdu szynowego:

- wózek C: *Pakiet nr 1*:  $RMS_{0VB} = 8,47$  przy progowej wartości  $RMS_{gr} = 7,00$ ;

*Pakiet nr 2:*  $RMS_{2VIB} = 10,66$  przy progowej wartości  $RMS_{gr} = 7,00$ ;

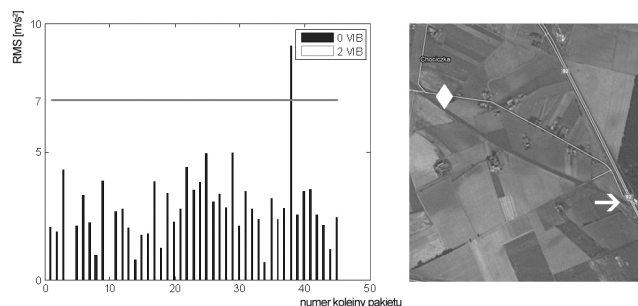
Obydwa ww. przekroczenia zostały zarejestrowane w systemie na odcinku trasy zapoczątkowanym w miejscu oznaczonym na rys. 4. symbolem białego rombu. Prawdopodobnie do przekroczeń doszło w miejscu przejazdu kolejowego krzyżującego linię kolejową nr 3 z drogą nr 92 (rys. 4., symbol białej strzałki).

- nadwozie D/C: *Pakiet nr 3:*  $RMS_{9VIB} = 0,51$  przy progowej wartości  $RMS_{gr} = 0,50$ ; Przekroczenie zostało zarejestrowane w systemie na odcinku trasy zapoczątkowanym w miejscu oznaczonym na rys. 7. symbolem białego rombu. Prawdopodobnie do przekroczeń doszło w miejscu przejazdu kolejowego krzyżującego linię kolejową nr 3 z drogą w okolicy miejscowości Barłogi (rys. 7., symbol białej strzałki).
  - wózek D: *Pakiet nr 4:*  $RMS_{0VIB} = 9,13$  przy progowej wartości  $RMS_{gr} = 7,00$ ; Przekroczenie zostało zarejestrowane w systemie na odcinku trasy zapoczątkowanym w miejscu oznaczonym na rys. 5. symbolem białego rombu. Prawdopodobnie do przekroczenia doszło w miejscu przejazdu kolejowego krzyżującego linię kolejową nr 3 z drogą nr 92 (rys. 5., symbol białej strzałki).
  - wózek E: *Pakiet nr 5:*  $RMS_{0VIB} = 8,31$  przy progowej wartości  $RMS_{gr} = 7,00$ ;  
*Pakiet nr 6:*  $RMS_{1VIB} = 7,46$  przy progowej wartości  $RMS_{gr} = 7,00$ .
- Obydwa ww. przekroczenia zostały zarejestrowane w systemie na odcinku trasy zapoczątkowanym w miejscu oznaczonym na rys. 6. symbolem białego rombu. Prawdopodobnie do przekroczeń doszło w miejscu przejazdu kolejowego krzyżującego linię kolejową nr 3 z drogą w miejscowości Milin (rys. 6., symbol strzałki).



Rys. 4. Figura po lewej: wykres dla  $RMS$  obliczonych z rozróżnieniem na poszczególne pakiety danych – analiza dla dnia 23 stycznia 2012 r., dla wózka C – przyspieszenie pionowe na wózku wg wskazań położenia czujników pomiarowych: czujnik 3, czujnik 4; figura po prawej: miejsce rejestracji pakietu z przekroczeniem wartości progowej  $RMS$  w okolicy miejscowości Chociczka

Źródło: analizator napisany w oprogramowaniu *MATLAB*, autor: Melnik R.; Google maps



Rys. 5. Figura po lewej: wykres dla  $RMS$  obliczonych z rozróżnieniem na poszczególne pakiety danych – analiza dla dnia 23 stycznia 2012 r., dla wózka D – przyspieszenie pionowe na wózku wg wskazań położenia czujnika 3; figura po prawej: miejsce rejestracji pakietu z przekroczeniem wartości progowej  $RMS$  w okolicy miejscowości Chociczka

Źródło: analizator napisany w oprogramowaniu *MATLAB*, autor: Melnik R.; Google maps

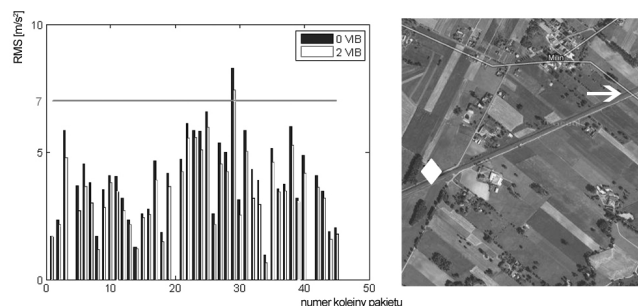
Jedyny pakiet, w odniesieniu do tabeli 5., zawierający przekroczenie *Wartości średniokwadratowej* w dniu 25 stycznia 2012 r., zarejestrowany został na:

- wózku D:

*Pakiet nr 7:*  $RMS_{0VIB} = 7,15$  przy progowej wartości  $RMS_{gr} = 7,00$ .

Przekroczenie zarejestrowano w miejscu na trasie oznaczonym na rys. 8. symbolem białego rombu. Prawdopodobnie do przekroczeń doszło w miejscu złączy szyn w okolicy stacji Koło (oznaczonego na rys. 8. symbolem białej strzałki).

W dniu 26 stycznia 2012 r. nie zarejestrowano przekroczeń *Wartości średniokwadratowych*.



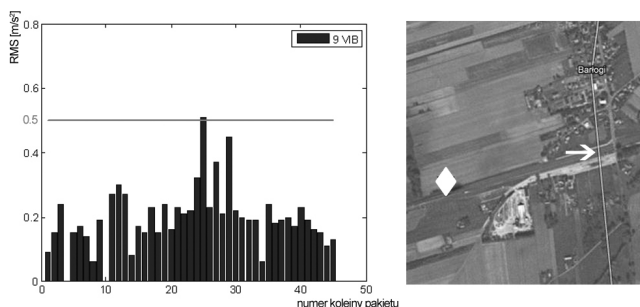
Rys. 6. Figura po lewej: wykres dla  $RMS$  obliczonych z rozróżnieniem na poszczególne pakiety danych – analiza dla dnia 23 stycznia 2012 r., dla wózka E – przyspieszenie pionowe na wózku wg wskazań położenia czujników pomiarowych: czujnik 3, czujnik 4; figura po prawej: miejsce rejestracji pakietu z przekroczeniem wartości progowej  $RMS$  w okolicy miejscowości Milin

Źródło: analizator napisany w oprogramowaniu *MATLAB*, autor: Melnik R.; Google maps

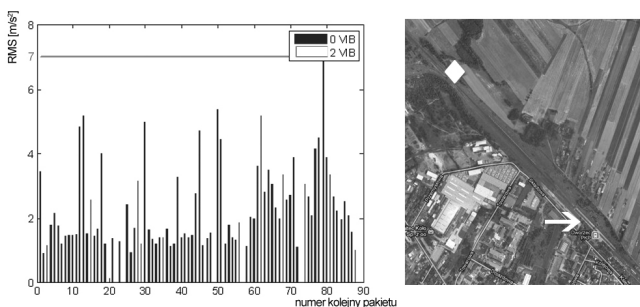
### **Współczynnik kurtozy**

W przypadku rozpatrywania współczynnika kurtozy za rozkład odniesienia przyjmuje się rozkład normalny. Dla tego rozkładu wartość współczynnika

kurtozy wynosi 3. Wówczas, gdy rozproszenie populacji (w rozpatrywanej analizie: analizowanych danych skupionych w obrębie jednego pakietu) jest większe niż w przypadku rozkładu normalnego tj. gdy współczynnik kurtozy jest  $K < 3$ , histogram dla tej populacji jest wyższy i bardziej rozłożysty, [11]. Wówczas zwyczajowo mówi się, że analizowane dane mają rozkład typu platurtycznego. W przeciwnym przypadku mówi się, że analizowane dane przyjmują rozkład typu leptokurtycznego.



Rys. 7. Figura po lewej: wykres dla RMS obliczonych z rozróżnieniem na poszczególne pakiety danych – analiza dla dnia 23 stycznia 2012 r., dla nadwozia D/C – przyspieszenie pionowe na nadwoziu wg wskazań położenia czujnika 6; figura po prawej: miejsce rejestracji pakietu z przekroczeniem wartości progowej RMS w okolicy miejscowości Barłogi  
Źródło: analizator napisany w oprogramowaniu MATLAB, autor: Melnik R.; Google maps



Rys. 8. Figura po lewej: wykres dla RMS obliczonych z rozróżnieniem na poszczególne pakiety danych – analiza dla dnia 25 stycznia 2012 r., dla wózka E – przyspieszenie pionowe na wózku wg wskazań położenia czujników pomiarowych: czujnik 3, czujnik 4; figura po prawej: miejsce rejestracji pakietu z przekroczeniem wartości progowej RMS w okolicy miejscowości Koło  
[uwaga: wartość większa od progowej znajduje się za legendą]  
Źródło: analizator napisany w oprogramowaniu MATLAB, autor: Melnik R.; Google maps

Przyjmuje się, że dla współczynnika kurtozy o wartości z przedziału od 0 do 6 występuje koncentracja danych wokół wartości średniej populacji.

Podobnie jak w przypadku pozostałych wskaźników diagnostycznych, także wartości *Współczynnika kurtozy* powinny podlegać porównywaniu z odpowiadającymi mu wartościami dopuszczalnymi. Wobec porównywania kolejnych wartości współczynnika kurtozy z wartością dopuszczalną też należałoby poczynić założenie o identyczności rozkładów danych analizowanych w jednym pakiecie z danymi analizowanymi w pozostałych pakietach. W celu weryfikacji założenia należałoby w pierwszej kolejności przeprowadzić test zgodności Kołmogorova-Smirnova (lub też test Kruskala-Wallisa, który jest rangowym testem statystycznym porównującym rozkłady zmiennych dla większej niż 2 liczby populacji analizowanych danych). Test służy weryfikowaniu hipotezy o identyczności rozkładów badanej cechy dla dwóch populacji (czyli danych w obrębie 2 pakietów). Nie jest to dobre rozwiązanie, bowiem gdyby badanie hipotezy dało wynik negatywny, skutkowałoby to wykluczeniem rozpatrywanego pakietu z dalszych analiz, a w konsekwencji z porównywania wartości diagnostycznych z ich dopuszczalnymi odpowiednikami. Metoda byłaby czasochłonna i nie dawałaby satysfakcjonującego rezultatu.

Z analizy wynika jednak wniosek przeciwny do przyjętego założenia: rozkłady analizowanych danych w obrębie danego pakietu są odmienne od rozkładów danych w przypadku innych pakietów.

*Współczynnik kurtozy* w „czystej” postaci jest w związku z powyższym niemiarodajnym wskaźnikiem diagnostycznym, jest to klasyczna miara koncentracji populacji.

W ramach analizy podjęto próbę powiązania *Wartości średniokwadratowej* z wartościami *Współczynnika kurtozy*. Porównywano dane w przypadkach, gdy wystąpiło przekroczenie wartości dopuszczalnej dla *Wartości średniokwadratowej* z wartością *Współczynnika kurtozy* obliczoną dla tego samego pakietu. Rezultatem jest brak jakiegokolwiek zależności. Można jedynie stwierdzić, że *Współczynnik kurtozy* o wartości maksymalnej wystąpił w przypadku innego pakietu z przejazdu pojazdu szynowego na tej

Tabela 5.

Liczby przekroczeń dopuszczalnych poziomów *Wartości średniokwadratowej* wg czujników pomiarowych o wskazanych położeniach na wózkach i nadwoziach pojazdu szynowego w dniu 25 stycznia 2012 r. (\* E-0; \*\* E-czujnik 6, kierunek pionowy)

Oznaczenie wózka	A	B	C	D	E
Czujnik 1, kierunek poprzeczny*	-	0	0	0	-
Czujnik 2, kierunek poprzeczny*	-	0	0	0	-
Czujnik 3, kierunek pionowy	-	0	0	1	0
Czujnik 4, kierunek pionowy**	-	0	0	0	0
Oznaczenia nadwozia	A	B/A	C/B	D/C	D
Czujnik 5, kierunek pionowy	-	0	0	0	0
Czujnik 6, kierunek poprzeczny*	-	0	0	0	-

samej trasie i tego samego dnia, a *Wartość średniokwadratowa* nie uległa przekroczeniu odpowiadającej jej wartości dopuszczalnej (kolumna 6 w tabeli 6.). Przypadek, gdy wartość maksymalna *Współczynnika kurtozy* występuje wówczas, gdy wartość dopuszczalna *Wartości średniokwadratowej* została przekroczone, został w tabeli 6. „wyróżniony” (■). Pakiet, w przypadku którego doszło do tej sytuacji, został jednak zarejestrowany na innej trasie niż rozpatrywana w artykule (Warszawa-Kraków).

### 3. Wnioski

Dokonana analiza wywarła przekonanie o niemożliwości traktowania każdego ze wskaźników diagnostycznych osobno. Wskaźniki diagnostyczne powinny być traktowane zespołowo. Do opracowania algorytmu postępowania w takim przypadku niezbędne są dodatkowe analizy obejmujące szersze spektrum wyników niż tylko dla wybranej trasy przejazdu pojazdu szynowego. Zanim jednak przygotowany zostanie algorytm prowadzący do zespolonego spojrzenia na wszystkie wskaźniki diagnostyczne, musi zostać dokonana ocena ważkości i ważności poszczególnych wskaźników diagnostycznych. Przy tym jednocześnie musi zostać dokonane określenie dopuszczalnych poziomów innych, w stosunku do podanych w treści artykułu, wskaźników diagnostycznych tj. współczynnika kurtozy, rozstępu międzykwartylowego. Wspomniane prace (w toku realizacji) pozwolą na permanentne i jednoznaczne określenie użytecznych wskaźników diagnostycznych.

Jak wskazano w podrozdziale na temat *Współczynnika kurtozy* jednoczesna analiza wartości średniokwadratowej i współczynnika kurtozy nie daje satysfakcjonujących wyników. Przekroczenia dopuszczalnych wartości średniokwadratowych występują sporadycznie i najczęściej podejrzenie ich wystąpienia ma związek z przejazdem pojazdu szynowego przez rozjazd kolejowy czy przejazd kolejowy. Zatem ów wskaźnik diagnostyczny jako taki nie może podlegać ocenie w sposób niezależny od innych wskaźników diagnostycznych. Warto rozważyć zespolone spojrzenie na pary wskaźników: *Amplituda* i *Współczynnik kurtozy* czy też *Rozstęp międzykwartylowy* i *Współczynnik kurtozy* przy jednoczesnym

braniu pod uwagę częstości przekroczenia ich wartości dopuszczalnych w przypadku sąsiadujących ze sobą pakietów czyli ich występowanie w ujęciu drogi lub upływającego czasu przejazdu pojazdu szynowego.

W celu jednoznacznego określenia miejsc występowania przekroczeń na mapie należałoby powiązać otrzymywane współrzędne geograficzne (współrzędne generowane w miejscu, z którego następuje przesłanie pakietów zebranych przez *CJAD*) i odległość podaną w pakiecie z kilometrażem kolejowym. W bazie danych musiałaby istnieć tabela danych zawierająca informacje nt. numeru linii kolejowej, słupków kilometrażu na niej występujących wraz z przyporządkowaniem ich współrzędnych geograficznych. Wówczas można by dla zarejestrowanego w pakiecie przekroczenia, wyznaczyć obszar czy miejsce wystąpienia przekroczenia na torze z dokładnością do odległości między słupkami kilometrażu.

W analizie zasadniczo pominięto wózek *E* przy porównywaniu go z innymi wózkami ze względu na brak przyporządkowania czujników wszystkim lokalizacjom przewidzianym w projekcie. Była to sprawa umowna w trakcie eksploatacji nadzorowanej pojazdu szynowego, na którym zainstalowano system. Sytuacja w bieżącej eksploatacji systemu byłaby oczywiście odmienna – montowano by czujniki konsekwentnie, w tych samych miejscach.

Kwestię sporną stanowi nierównomierny przesył pakietów. Trwają prace nad wyjaśnieniem problemu.

### Literatura

- [1.] Buda A., Jarynowski A., *Life-time of correlations and its applications vol.1*, Wydawnictwo Niezależne: 5–21, 2010
- [2.] Cohen J., *Statistical power analysis for the behavioral sciences (2nd ed.)*, Lawrence Erlbaum Associates, Inc., New Jersey, USA, 1988
- [3.] *SMPK – Konfiguracja system testowego na pojeździe ED74, MONIT – Testowanie systemu w warunkach eksploatacyjnych*, EC Systems, Kraków, listopad 2011 r.
- [4.] *EN 14363: 2005. Railway applications - Testing for the acceptance of running characteristics of railway vehicles - Testing of running behaviour and stationary tests*
- [5.] *PN-EN 14363. Badania własności dynamicznych pojazdów szynowych przed dopuszczeniem pojazdu do ruchu. Badania własności biegowych i próby stacjonarne*

Wartość średniokwadratowa a współczynnik kurtozy – porównanie wskaźników diagnostycznych Tabela 6.

Identyfikator pakietu	Kanal (wózek)	Wartość średniokwadratowa (RMS <sub>don</sub> )	Współczynnik kurtozy	Typ rozkładu	Uwagi
<b>Rozpatrywana trasa: Warszawa-Poznań</b>					
20120123_194328	7VIB (E)	8,31 (7)	4,20	Leptokurtyczny	K(18:04:14) = 20,68; RMS = 1,71
20120123_194328	8VIB (E)	7,46 (7)	5,77	Leptokurtyczny	K(20:37:20) = 37,07; RMS = 3,23
20120123_202229	0VIB (C)	8,47 (7)	3,71	Leptokurtyczny	K(18:25:32) = 58,34; RMS = 3,89
20120123_202229	2VIB (C)	10,66 (7)	3,47	Leptokurtyczny	K(18:25:32) = 61,22; RMS = 3,90
20120123_193050	9VIB (D/C)	0,51 (0,5)	5,40	Leptokurtyczny	K(18:04:14) = 14,23; RMS = 0,09
20120123_202229	0VIB (D)	9,13 (7)	4,29	Leptokurtyczny	K(19:01:29) = 73,36; RMS = 3,86
20120125_193632	0VIB (D)	7,15 (7)	82,45	Leptokurtyczny	K(19:50:37) = 96,94; RMS = 3,34
<b>Rozpatrywana trasa: Warszawa-Kraków</b>					
20120131_064934	9VIB (A/A)	0,8 (0,5)	33,99	Leptokurtyczny	



- [6] UIC 518: 2009, 4th edition, Testing and approval of railway vehicles from the point of view of their dynamic behaviour — Safety — Track fatigue; Ride quality
- [7] Analiza drgań elementów i zespołów pojazdów szynowych w oparciu o wyniki badań eksperymentalnych, EZT – przyspieszenia, Monit, IK (dawniej CNTK), Warszawa, 2009
- [8] Chudzikiewicz A., Sowiński B., Drożdźiel J.: Zadanie 6. Testowanie prototypu systemu w warunkach eksploatacyjnych, Temat 6.2 Opracowanie planu i procedury badań eksploatacyjnych prototypu systemu monitorowania pojazd szynowy – tor, raport MONIT, 2012
- [9] Prospekt reklamowy: [http://pesa.pl/pl/Oferta/Elektryczne\\_zespoły\\_trakcyjne/ED74\\_Bydgoscia](http://pesa.pl/pl/Oferta/Elektryczne_zespoły_trakcyjne/ED74_Bydgoscia)
- [10] Chudzikiewicz A., Sowiński B., Drożdźiel J., Opala M., Kostrzewski M., Michalski K., Melnik R.: Zadanie 6. Testowanie prototypu systemu w warunkach eksploatacyjnych, Temat 6.4 Analiza wyników testów eksploatacyjnych, raport MONIT, 2012
- [11] Moszczyński L., Interpretacja współczynnika kurtozy w analizie danych, Przegląd Elektrotechniczny, R. 79, nr 9(1), s.558–560, Wydawnictwo SIGMA-NOT, 2003

**dr inż. Zygmunt Marciniak, prof. IPS**  
**mgr inż. Mikołaj Antkowiak**  
 Instytut Pojazdów Szynowych „TABOR”

## **Stale instalacje gaszące stosowane w spalinowych i elektrycznych pojazdach szynowych**

*W eksploatacji nowoczesnych pojazdów szynowych powinno być zagwarantowane pełne bezpieczeństwo przeciwpożarowe również dla zabudowanych urządzeń, aparatów i zespołów, których cena jest coraz wyższa i w przypadku pożaru może spowodować duże straty finansowe. W związku z tym należy dążyć w procesie projektowania nowoczesnych pojazdów szynowych do właściwego doboru materiałów niemetalowych, wyposażać pojazdy w urządzenia wykrywania i sygnalizacji pożaru, oraz zabudowy przenośnych i stałych urządzeń gaśniczych.*

*Prezentowany referat jest poświęcony właśnie zagadnieniom traktującym o bezpieczeństwie przeciwpożarowym w pojazdach szynowych. Zaprezentowano w nim przepisy i normy oraz przedstawiono układy stałych instalacji gaszących na gaz obojętny i mgłą wodną zastosowane w nowych i modernizowanych lokomotywach spalinowych i elektrycznych projektowanych między innymi w Instytucie Pojazdów Szynowych „Tabor” w Poznaniu.*

*Ponadto zwrócono uwagę na dokładne badania nowych i zmodernizowanych pojazdów trakcyjnych w zakresie ochrony przeciwpożarowej w tym doboru odpowiednich materiałów konstrukcyjnych, zapewnienia przejść ewakuacyjnych oraz działania przenośnych i stałych urządzeń gaszących. Referat został przygotowany w ramach następujących projektów celowych realizowanych w Instytucie Pojazdów Szynowych „Tabor” w Poznaniu: 04491/C.ZR 6-6/2009 pt.: „Zmodernizowana lokomotywa spalinowa serii SU46 przystosowana do wymagań TSI obowiązujących w Unii Europejskiej”; 6 ZR 6 2008 C/0708S pt.: „Zmodernizowana lokomotywa manewrowa typu 6D (serii SM42) z silnikiem spalinowym spełniającym wymagania normy „Euro IIIa”; 04425/C.ZR 6-6/2009 pt.: „Uniwersalna lokomotywa elektryczna wielosystemowa o budowie modułowej na prędkość powyżej 200 km/h”.*

### **1. Wprowadzenie**

Bezpieczeństwo pożarowe jest niezwykle ważne w taborze szynowym zarówno dla przewożonych pasażerów jak i samej obsługi, gdyż ogień i wydzielane podczas spalania produkty uboczne stanowią poważne a nawet śmiertelne niebezpieczeństwo dla ludzi. Ponadto nowoczesne pojazdy szynowe (w tym lokomotywy elektryczne i spalinowe) tworzone są z coraz

droższych materiałów a zabudowane aparaty, urządzenia, zespoły, układy i systemy są coraz bardziej zaawansowane technicznie, co w przypadku ich utraty w wyniku nieopanowanego i niezlikwidowanego pożaru może prowadzić do dużych strat materialnych i finansowych.

Dlatego w procesie projektowania nowoczesnych

pojazdów trakcyjnych w tym lokomotyw, dla zapewnienia bezpieczeństwa przeciwpożarowego należy zwracać uwagę na [2]:

- Właściwy dobór materiałów niemetalowych, charakteryzujących się niską zapalnością, małą prędkością rozprzestrzeniania się płomienia a także niską emisją gazów toksycznych i dymu podczas spalania.
- Odpowiednią zabudowę wnętrza pojazdu (minimalizację otwartych wnęk z materiałami łatwopalnymi) oraz na tworzenie barier ogniowych utrudniających lub uniemożliwiających rozprzestrzenianie się ognia (płomienia).
- Zabudowę w pojazdach urządzeń detekcji i sygnalizacji pożaru.
- Wyposażenie pojazdów w przenośne urządzenia gaśnicze (instalowane w kabinach sterowniczych i przedziałach pasażerskich).
- Zabudowę stałych instalacji gaśniczych dla ochrony przedziałów zajmowanych przez pasażerów i obsługę oraz przedziałów maszynowych (silnikowych i elektrycznych), w których znajduje się najczęściej droga aparatura, maszyny i urządzenia.

W procesie spalania oprócz ciepła wydzielane są produkty uboczne jak tlenek węgla (CO), tlenek azotu (NO<sub>x</sub>) oraz dymy (w składzie: sadza, cząstki stałe, popioły, pary), które jako toksyczne są niebezpieczne dla zdrowia prowadząc do ciężkich zachorowań a w wielu przypadkach również do uduszenia. Związki toksyczne (najczęściej stałe) prowadzą również do uszkodzenia nowoczesnych aparatów, urządzeń i zespołów (mimo ugaszenia ognia) stwarzając ryzyko groźnych wypadków. Dlatego tak ważna jest również ochrona przeciwpożarowa wyposażenia nowoczesnych pojazdów szynowych [3]

Dalsza część referatu jest właśnie poświęcona układom i urządzeniom gaśniczym, w które wyposażone są coraz częściej nowoczesne pojazdy szynowe zarówno nowo budowane jak i modernizowane.

## 2. Wymagania dla ochrony przeciwpożarowej pojazdów szynowych

Wytyczne i wymagania wyznaczające „kanony” ochrony przeciwpożarowej pojazdów szynowych ujęte są przede wszystkim w [1,2,4,5]:

- Technicznych specyfikacjach interoperacyjności:
  - Podsystem „Tabor kolejowy – lokomotywy i tabor pasażerski” – System Kolei Konwencjonalnych. Załącznik do Dyrektywy 2008/57/WE w sprawie interoperacyjności systemu kolei we wspólnocie.
  - Podsystem „Bezpieczeństwo w tunelach kolejowych transeuropejskiego systemu kolei konwencjonalnych i transeuropejskiego systemu kolei dużych prędkości. Załączniki do

- Dyrektywy 2001/16/WE – Interoperacyjność transeuropejskiego systemu kolei konwencjonalnych i Dyrektywy 96/48/WE – Interoperacyjność transeuropejskiego systemu kolei dużych prędkości.
- Kodeksach (kartach) UIC (ERRI) w tym UIC 564-2:1991 i UIC 642:2001.
- Normie europejskiej EN 45545 części 1 ÷ 7 pt. „Ochrona przeciwpożarowa pojazdów szynowych”
- Normach krajowych (obowiązujących), z których najważniejsze to PN-K-02506:1998, PN-K-02507: 1998 i PN-K-02511:2000.

## 3. Klasyfikacja pożarów i kategorie pojazdów ze względu na ochronę przeciwpożarową

Głównym zagrożeniem występującym wraz z pojawieniem się pożaru to zagrożenie życia i zdrowia oraz straty materialne, przy czym charakter pożaru w tym różnorodność płonących materiałów oraz środki stosowane w ich gaszeniu najlepiej obrazuje tablica 1.

Klasyfikacja pożarów Tablica 1

Klasyfikacja pożaru	Rodzaj materiału	Środki gaszące
A	Paliwa stałe jak drewno, papier, guma	Woda, mgła wodna, piana, proszki, gazy
B	Paliwa ciekłe jak rozpuszczalniki, benzyna, oleje napędowe czy mineralne	Mgła wodna, piana, CO <sub>2</sub> , proszki
C	Paliwa gazowe jak metan, butan, etylen	Mgła wodna, CO <sub>2</sub> , gazy obojętne i chemiczne, proszki
D	Metale palne jak magnez, potas, sód, tytan	CO <sub>2</sub> , gazy obojętne, proszki
E	Urządzenia pod napięciem (klasa uwzględniana w Ameryce Pn., Australii, nieuwzględniana w Europie)	CO <sub>2</sub> , gazy obojętne i chemiczne, mgła wodna (z dopuszczeniem do określonych napięć)
F	Oleje i tłuszcze (w kuchniach przemysłowych)	Mgła wodna, piana, CO <sub>2</sub> , gazy obojętne i chemiczne

We względu na bezpieczeństwo pożarowe wyróżnia się dwie klasyfikacje pojazdów szynowych (kategoria projektowa, kategoria operacyjna). Według kategorii projektowej pojazdy dzieli się na cztery grupy:

- A - zespoły trakcyjne bezzałogowe (sterowane automatycznie)
- D - pociągi z wagonami piętrowymi
- S - wagony sypialne i z miejscami do leżenia (kuszetki)
- N - pociągi standardowe (pozostałe)

Natomiast według kategorii operacyjnej dzielimy na:

- Kategorię 1 – Pojazdy zaprojektowane lub wyposażone do eksploatacji pod ziemią, w tunelach i na konstrukcjach podniesionych, przy czym mogą być one zatrzymane z minimalnym opóźnieniem zapewniając szybka ewakuację boczną

- Kategorię 2 – Pojazdy zaprojektowane lub wyposażone do eksploatacji pod ziemią, w tunelach i na konstrukcjach podniesionych z możliwością bocznej ewakuacji a stacje (w tym stacje „awaryjne”) gwarantują pełne bezpieczeństwo osiągnięte po krótkim czasie jazdy.
- Kategorię 3 – Pojazdy zaprojektowane lub wyposażone do eksploatacji pod ziemią, w tunelach i na konstrukcjach podniesionych z możliwością bocznej ewakuacji a stacje (w tym stacje „awaryjne”) gwarantują pełne bezpieczeństwo osiągnięte po długim czasie jazdy.
- Kategorię 4 – Pojazdy zaprojektowane lub wyposażone do eksploatacji pod ziemią, w tunelach i na konstrukcjach podniesionych bez możliwości bocznej ewakuacji a stacje (w tym stacje „awaryjne”) gwarantują pełne bezpieczeństwo osiągnięte po krótkim czasie jazdy.

Te dwie wyżej wymienione klasyfikacje pojazdów na kategorie pozwalają określić dla jakiej kategorii pojazdu, oraz w której kategorii operacyjnej, pojazdy wymagają zabudowy stałych urządzeń (instalacji) gaszących w konkretnych przedziałach (przestrzeniach) na pojeździe (tablica 2).

#### 4. Środki gaszące stosowane w układach gaszenia pojazdów szynowych

Środkami gaszącymi używanymi do gaszenia pożarów w pojazdach szynowych są woda, mgła wodna, piana, proszki oraz gazy [1, 2]. Najpopularniejszym środkiem gaśniczym jest woda, która nie jest stosowana jako środek jednorodny w gaszeniu przedziałów wysokiego napięcia oraz przedziałów silnikowych. W większości stosowana jest woda zdemineralizowana. Wadą stosowania wody jest również bardzo duży wydatek niezbędny do ugaszenia, oraz wymagane duże zbiorniki oraz duża przestrzeń.

Na bazie wody wytwarza się również mgłę wodną różniącą się od systemów zraszaczowych wykorzystujących wodę przede wszystkim wielkością kropeł wody oraz ilością wody zużytej do akcji pożarniczej. Ponadto mgła znacznie lepiej wypełnia kubaturę

chronionej przestrzeni, jest bezpieczniejsza dla urządzeń elektrycznych i elektronicznych, oraz charakteryzuje się brakiem szkodliwego oddziaływania na organizm ludzki.

Innymi środkami wytwarzanymi na bazie wody są również środki pianowe mniej popularne w gaszeniu pojazdów szynowych ponieważ nie nadają się do ochrony urządzeń elektrycznych i elektronicznych, a ponadto może prowadzić do zatrucia lub uduszenia osób chronionych. Mimo popularności, w gaszeniu pożarów pojazdów szynowych nie znalazły zastosowania proszki chemiczne ponieważ nie są zalecane do gaszenia przedziałów, w których znajdują się ludzie, a ponadto osiadłe na urządzeniach (w wyniku działania wilgoci) są trudne do usunięcia i powodują ich korozję.

Najpopularniejszymi środkami gaszącymi są środki gazowe, które znajdują szerokie zastosowanie w ochronie urządzeń elektrycznych oraz przestrzeni z miejscami trudnodostępnymi. Środki gazowe dzielimy na trzy grupy:

- Oparte na dwutlenku węgla ( $\text{CO}_2$ ) stosowane w gaśnicach ręcznych działających bezpośrednio na źródło ognia
- Składające się z mieszaniny azotu ( $\text{N}_2$ ), argonu (Ar) i dwutlenku węgla ( $\text{CO}_2$ ) znane jako Inergen lub Argonite
- Oparte na pierwiastkach takich jak wodór ( $\text{H}_2$ ), tlen ( $\text{O}_2$ ), węgiel (C) oraz fluor (F), chlor (Cl), brom (Br). W praktyce stosowane były i są haloony (obecnie ze względu na niszczenie warstwy ozonowej zakazane), fenony i ketony fluorowe.

#### 5 Układy wykrywania i sygnalizowania pożaru

W kompletnych systemach przeciwpożarowych kluczową rolę odgrywają układy wykrywania pożaru, ponieważ nawet najdoskonalszy system gaszenia nie spełni swojej roli, jeśli nie zostanie uruchomiony w odpowiednim momencie [2].

Systemy detekcji pożaru działają na zasadzie wykrywania wzrostu temperatury, pojawienia się dymu i gazów, oraz na zasadzie wykrywania wizualnej emisji promieniowania. Do wykrywania pożaru służą

Przedziały (pomieszczenia) wymagające zabudowy stałych urządzeń (instalacji) gaszących Tablica 2

Przedział (pomieszczenie) pojazdu	Zabudowa silnika spalinowego pod podłogą	Zabudowa wyposażenia elektrycznego pod osłoną	Zabudowa silnika spalinowego wewnątrz pojazdu	Zabudowa wyposażenia elektrycznego wewnątrz pojazdu	Zabudowa silnika spalinowego w przedziałach wewnętrznych lokomotywy
N, D	3, 4	3, 4	3, 4	3, 4	3, 4
S, D	3, 4	3, 4	3, 4	3, 4	3, 4
A	3, 4	3, 4	3, 4	3, 4	3, 4

więc czujniki temperatury (punktowe i liniowe), czujniki dymu lub gazu, oraz wykrywacze płomieni (kamery). Sygnalizacja wykrytego pożaru ma za zadanie alarmować obsługę pojazdu (lokomotywy, zespołu trakcyjnego) lub pociągu (przedziały i pomieszczenia pasażerskie). Sygnalizacja może być optyczna za pomocą lampek sygnalizacyjnych, wyświetlaczy cyfrowych lub monitorów, oraz akustyczna za pośrednictwem syren, gwizdałek elektrycznych i pneumatycznych.

Wszystkie elementy i aparaty systemów wykrywania i sygnalizacji przeciwpożarowej umiejscowione są w przedziałach objętych ochroną takich jak przedziały elektryczne i silnikowe oraz w kabinach sterowniczych. Uruchomienie systemów gaszących odbywa się automatycznie oraz ręcznie. Często (w nowoczesnych lokomotywach) ręczne uruchomienie systemu gaszenia może być realizowane z zewnątrz za pośrednictwem przycisku zabudowanego na podwoziu.

## 6. Stałe instalacje gaszące stosowane w pojazdach szynowych

W pojazdach szynowych w tym w lokomotywach elektrycznych i spalinowych stosowane są najczęściej dwa typy stałych instalacji gaszących:

- Gazowe (na gaz obojętny)
- Wodne (na mgłą wodną)

### 6.1. Stałe instalacje gaszące na gaz obojętny

Stałe instalacje gaszące na gaz obojętny Inergen (mieszanka azotu – 52%, argonu – 40%, dwutlenek węgla – 8%) stosowane były w nowoczesnych lokomotywach elektrycznych serii EU11 i EU43 przeznaczonych dla PKP (lokomotywy nie były nigdy eksploatowane w Polsce i zostały sprzedane kolejom włoskim – FS) [2].

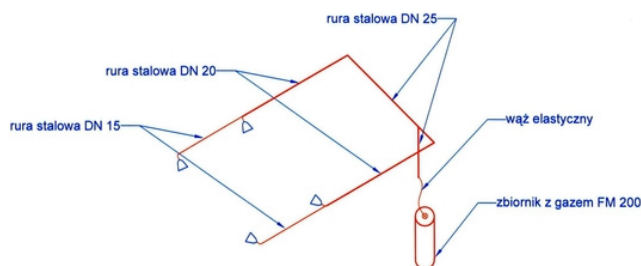
Drugim gazem najczęściej stosowanym w stałych instalacjach gaszących nowych i modernizowanych lokomotyw spalinowych i elektrycznych jest FM-200 zawierający mieszkankę gazową typu siedmiofluoropropen [6]. Środek gaśniczy FM-200 jest gazem nieprzewodzącym prąd, a jego główną zaletą jest to, że może być wykorzystany do ochrony pomieszczeń, w których normalnie pracują ludzie.

W skład systemu wykorzystującego FM-200 wchodzi zbiornik na środek gaśniczy, zawór butlowy, wąż wylotowy, manometr kontaktowy, siłownik elektryczny, siłownik ręczny, czujnik ciśnienia, czujnik wyzwolenia, rurociąg oraz dysze wylotowe. Środek gaśniczy po wyzwoleniu przechodzi przez zawór butlowy, wąż wylotowy do rurociągu rozprowadzającego w pomieszczeniu chronionym i dalej do dysz rozpylających. Instalacja gaśnicza zapewnia całkowite rozprowadzenie środka gaśniczego w czasie do 10 sekund. Środek gaśniczy może być wyzwolony automatycznie, ręcznie (przyciskiem start) oraz awaryjnie za pomocą siłownika ręcznego zabudowanego

na zaworze butli [6].

Stałe instalacje gaszące na środek FM-200 zastosowano już w lokomotywach SM42, ST44, S-200, T448P, 740, 741, 744, 753-7 i E6ACT „Dragon”, przy czym pojemność zbiornika (lub zbiorników) dobierana jest indywidualnie do objętości chronionego pomieszczenia (przedziału) [2, 6].

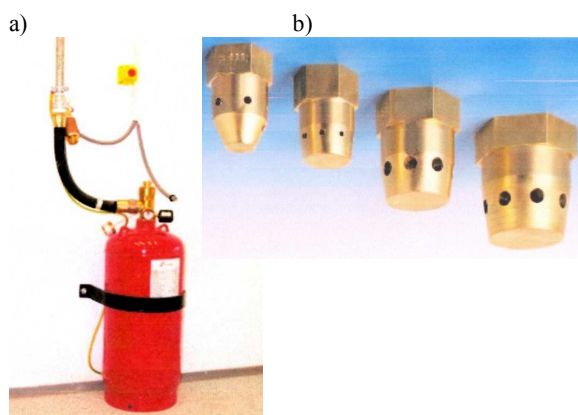
Schemat blokowy instalacji na środek FM-200 przedstawiono na rys. 1, jego zabudowę w lokomotywach na rys. 2, a dysze rozpylające i zbiornik z gazem na rys. 3.



Rys. 1 Schemat instalacji gaśniczej lokomotywy spalinowej

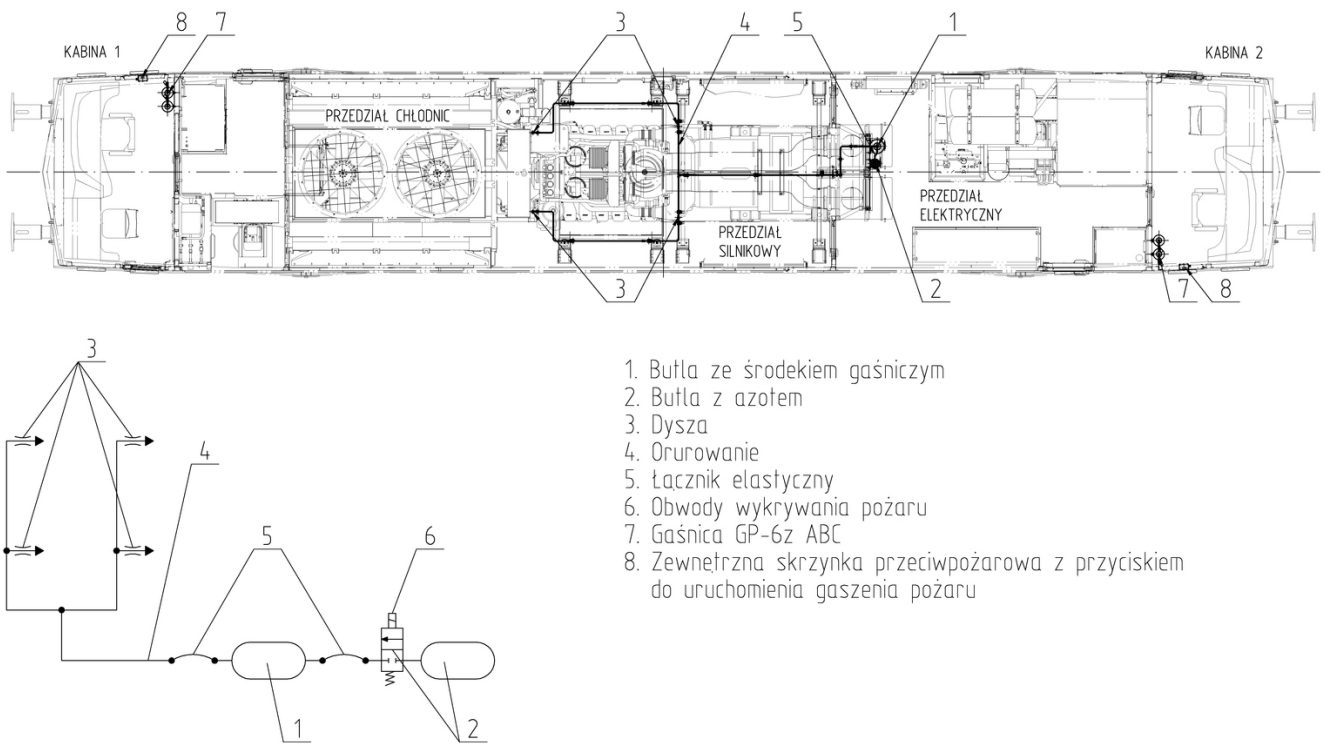


Rys.2 Zabudowa stałej instalacji gaśniczej na gaz FM-200  
a – w lokomotywach ST44BF i ST44PC  
b – w lokomotywach ST44 dla LHS, PKP i Pol Miedź Trans



Rys.3 Zbiornik na środek gaśniczy FM-200 i dysze rozpylające

Obecnie w miejsce środka gaśniczego FM-200 używany jest gaz nowocześniejszy (droższy) stworzony do gaszenia ewentualnych pożarów w pomieszczeniach statków kosmicznych, rakiet i samolotów.



1. Butla ze środkiem gaśniczym
2. Butla z azotem
3. Dysza
4. Orurowanie
5. Łącznik elastyczny
6. Obwody wykrywania pożaru
7. Gaśnica GP-6z ABC
8. Zewnętrzna skrzynka przeciwpożarowa z przyciskiem do uruchomienia gaszenia pożaru

Rys.4 Schemat instalacji gaśniczej firmy Fogtec dla lokomotywy spalinowej serii ST46

a)



b)



c)

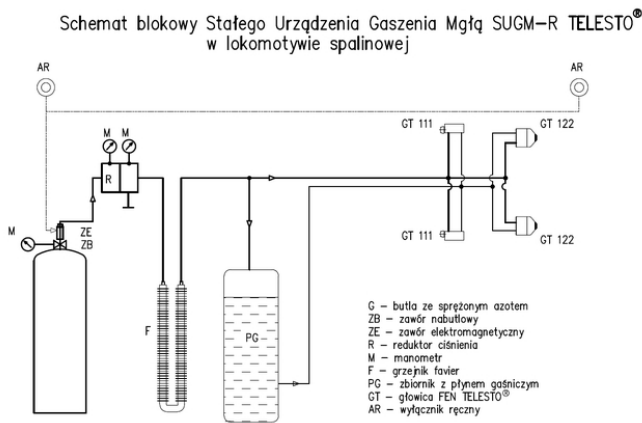


Rys.5 Zabudowa butli ze środkiem gaśniczym Tempa S30 i azotem w zmodernizowanych lokomotywach SM42-6Dk(a), ST45-301Dd(b) i ST46-303Da(c)

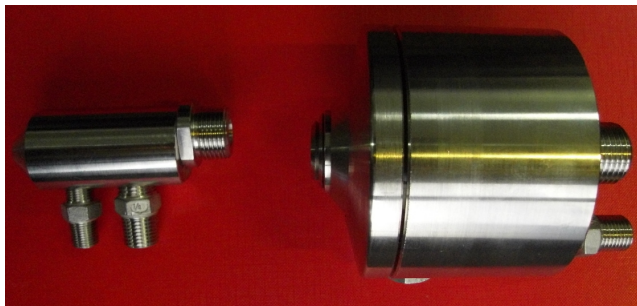
Rys.6 Widok zabudowanej dyszy rozpylającej instalacji gaśniczej firmy Fogtec

W skład instalacji gaszącej oferowanej przez firmę Telesto wchodzi butle ze sprężonym azotem i płynem gaśniczym, zawory nabutlowe i elektromagnetyczne, regulator ciśnienia, manometr, grzejnik, włącznik ręczny, orurowanie i głowice [8]. Głowice generują strumień mgły o optymalnych parametrach (wielkości kropli, wartości energii kinetycznej) pozwalających na szybkie i wydajne wypełnienie przedziału chronionego minimalizując ilość wody i czas reakcji.

Schemat blokowy instalacji gaśniczej firmy Telesto przedstawiono na rys. 7, a głowice FEN-GT111 i GT-122 na rys. 8.



Rys.7 Schemat instalacji gaśniczej na mgłę wodną firmy Telesto



Rys. 8 Widok głowic FEN-GT111(a) i GT-122(b) stanowiących integralną część instalacji gaśniczej firmy Telesto

## 7. Podsumowanie

Nowoprojektowane i modernizowane pojazdy szynowe (w tym lokomotywy spalinowe i elektryczne) wyposażane są w stałe instalacje gaszące. Wybór instalacji uzależniony jest od kwoty przeznaczonej na modernizację oraz od maszyn i urządzeń podlegających ochronie. Należy zauważyć, że zaletami instalacji wykorzystujących jako środek gaśniczy gaz obojętny jest całkowite wypełnienie gazem chronionej przestrzeni, brak wilgoci w gazie oraz niewielkie przestrzenie przechowywania gazu, natomiast wady to konieczność stosowania tylko w szczelnych przestrzeniach oraz zakaz stosowania w przedziałach pasażerskich i ograniczony w przedziałach służbowych.

Dla instalacji wykorzystujących jako środek gaśniczy mgłę wodną zaletami są nieszkodliwość środka dla człowieka i środowiska, poprawa warunków środowiskowych, minimalne koszty montażu, utrzymania i akcji pożarnej, możliwość stosowania w przedziałach pasażerskich, maszynowych i elektrycznych oraz możliwość gaszenia w pomieszczeniach nieszczelnych, natomiast wadą jest konieczność chronienia butli przed mrozem (za pomocą mat grzewczych lub środków przeciw zamarzaniu). Prezentowany referat zwrócił uwagę na zagrożenia związane z ochroną przeciwpożarową pojazdów szynowych (w tym lokomotyw elektrycznych i spalinowych) w odniesieniu do stałych instalacji gaszących. Należy jednak zagadnienia ochrony przeciwpożarowej rozwiązywać kompleksowo dobierając również odpowiednie materiały na etapie projektowania oraz zabezpieczając przejścia ewakuacyjne, a ponadto badając pojazdy w procesie ich dopuszczenia do eksploatacji na torach PKP PLK S.A.

## Literatura

- [1] Barbagli M., *Rolling Stock and Fire Protection – An Overview of aspects, solutions and requirements.* Sesto Fiorentino, Italy 2011
- [2] Marciniak Z., Antkowiak M., *Bezpieczeństwo przeciwpożarowe lokomotyw elektrycznych i spalinowych. Materiały Międzynarodowej Konferencji Naukowej QSET 2011, Kraków – Niepołomice, 06.2011.*
- [3] Marciniak Z., *Zmodernizowane w ostatnich latach lokomotywy elektryczne i spalinowe w Polsce, Technika Transportu Szynowego, 2011, nr 4.*
- [4] Dyrektywa 2008/57/WE w sprawie interoperacyjności systemu kolei we Wspólnocie, załącznik: *Techniczna specyfikacja interoperacyjności – Podsystem „Tabor kolejowy – Lokomotywy i tabor pasażerski”.*
- [5] PN-EN 45545 cz. 1 ÷ 7, *ochrona przeciwpożarowa pojazdów szynowych.*
- [6] *Projekty wykonania stałych instalacji gasniczych dla lokomotyw elektrycznych i spalinowych (E6ACT, 6Di, ST44, 753-7, 740, 741, 744, S-200, T448P, ST46) – Materiały firmy PPHU Supdroż i Med.-Gaz-Bis, 2008÷2011.*
- [7] *System wykrywania i gaszenia pożaru, Materiały firmy Fogtec Fire Protection, 07.2008.*
- [8] *System mgłowy Telesto, Materiały firmy Telesto.*

## **Uproszczony model pulpitu maszynisty dla symulatora pojazdu szynowego do celów szkolenia maszynistów**

*Proponowany układ modelu pulpitu maszynisty pozwala na sterowanie jazdą, hamowaniem, rozrządem sprężonego powietrza oraz innymi obwodami pojazdu szynowego. Składa się z dwóch podzespołów – ze stanowiska maszynisty i sterownika mikroprocesorowego. Model wzorowany jest na pulpicie nowoczesnej lokomotywy elektrycznej. Proponowany symulator pulpitu ma cechy typowe dla nowoczesnych pulpitu tego typu, takie jak: możliwość sterowania z aktywnego stanowiska maszynisty za pośrednictwem binarnych sygnałów elektrycznych i równolegle przesyłanych sygnałów po sieci RS-485 lub CAN, możliwość połączenia systemu sterowania magistralą danych CAN z innymi sterownikami. Zaprojektowany symulator pulpitu wraz z zewnętrznym systemem komputerowym umożliwi szkolenie maszynistów dla nowoczesnego taboru kolejowego.*

*Artykuł powstał w ramach projektu badawczego „Symulator jazdy pojazdów szynowych do optymalizacji zużycia energii podczas ruchu pociągów, projektowania nowych tras kolejowych oraz szkolenia maszynistów” N N509 501338 finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.*

### **1. Wprowadzenie**

W artykule przedstawiona została uproszczona wersja pulpitu maszynisty przeznaczona dla symulatora pojazdów szynowych. Pulpit maszynisty wzorowany jest na pulpicie dla zmodernizowanej lokomotywy EP07A. Pulpit obejmuje wszystkie manipulatory potrzebne do prowadzenia jazdy lokomotywy a także manipulatory umożliwiające manewry lokomotywy (np. dojazd do składu pociągu). Aparaty zostały rozmieszczone na pulpicie zgodnie z kartą UIC 612-0. W uproszczonej wersji pulpitu zachowana pozostaje funkcja poszczególnych manipulatorów natomiast niższy koszt wykonania pulpitu uzyskany jest poprzez zastosowanie ogólnie dostępnych łączników.

### **2. Struktura układu sterowania**

Na symulatorze stanowiska maszynisty (rys. nr 1) znajdują się głównie elektryczne urządzenia nastawcze układu pośredniczące w sterowaniu jazdą, hamowaniem i pozostałymi obwodami pomocniczymi lokomotywy. Wybrane płyty symulatora przedstawione zostały na rysunkach umieszczonych w opisie.

Zastosowane zostały przełączniki ze stykami zwierno/rozwiernymi, podłączone do złącz WAGO. Dzięki temu istnieje możliwość szybkiego dostosowania wyjść do dowolnego układu sterowania i wykonawczego jak również dostosowanie do dowolnego napięcia zasilania.

Obwody lokomotywy zastąpione zostaną przez

magistralę danych i sterowniki mikroprocesorowe - będą one przyjmować i wysyłać sygnały sprzętowe napięciowe (wartość znamionowa 24V DC). Dzięki magistrali danych, mamy możliwość połączenia systemu sterowania składającego się z sterownika pneumatyki, układu przeciwpoślizgowego, sterownika lokomotywy, pulpitu i itp. Wszystkie te sterowniki są segmentami układu sterowania lokomotywą. Za pośrednictwem tej magistrali będą wysyłane między innymi sygnały niezbędne do sterowania jazdą lokomotywy oraz sygnały diagnostyczne, które umożliwią maszyniście ocenę stanu urządzeń lokomotywy.

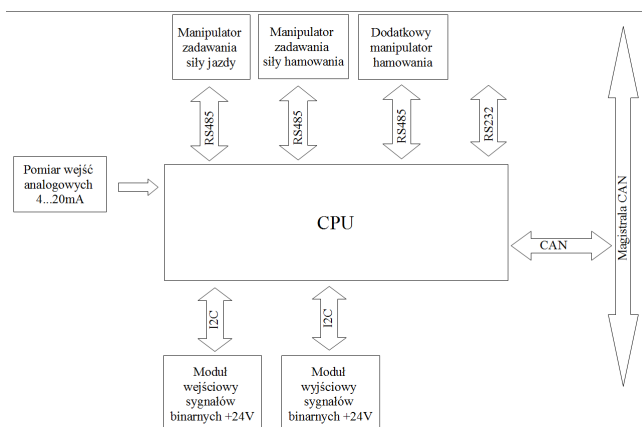


Rys. 1 Stanowisko maszynisty

### **3. Opis sterownika mikroprocesorowego**

Mikroprocesorowy sterownik pulpitu maszynisty został opracowany na potrzeby wysterowania uproszczonego modelu pulpitu. Zadaniem sterownika

pulpitowego jest zbieranie danych sprzętowych, przetwarzanie informacji o stanie położenia manipulatorów jazdy i hamowania, komunikacji z urządzeniami zewnętrznymi po sieci CAN.



Rys 2. Schemat blokowy sterownika pulpitu wraz z jego peryferiami sterującego uproszczonym modelem pulpitu maszynisty.

System mikroprocesorowy nadzorujący pracę symulatora pulpitu maszynisty składa się z następujących bloków funkcjonalnych zobrazowanych na rysunku 2:

- głównego modułu nadzorczego CPU
- modułu wyjściowego realizującego stany logiczne
- modułu wejściowego zbierające wszystkie stany sprzętowe symulatora pulpitu
- modułów komunikacyjnych RS485, obsługujących transmisję z manipulatorami
- modułu komunikacji z zewnętrzną siecią CAN
- modułu zawierającego tory pomiarów analogowych 4..20mA

Zadaniem głównego członu nadzorującego CPU jest zarządzanie poszczególnymi powyżej wymienionymi modułami, które stanowią całość systemu sterowania. Moduły wejść i wyjść sprzętowych oraz moduły analogowe współpracują z główną jednostką logiczną za pomocą magistrali I2C. Dzięki zastosowaniu standardu magistrali I2C było możliwe sprzężenie poszczególnych modułów wykonawczych w taki sposób aby umożliwić szybką wymianę danych pomiędzy mikroprocesorem a jego peryferiami.

Kolejnymi modułami, którymi bezpośrednio zarządza moduł CPU są moduły komunikacyjne, odpowiedzialne za odbieranie danych po magistrali RS485 z manipulatorów zamontowanych w uproszczonym modelu pulpitu. W celu komunikowania się sterownika pulpitu z urządzeniami zewnętrznymi jak np. komputer, sterownik został dodatkowo wyposażony w przyłącze sieci CAN, poprzez które zostają wysyłane aktualne stany jak i

również zostają odbierane komendy wysterowujące odpowiednie funkcje uproszczonego modelu pulpitu maszynisty.

Symulator w postaci wykonanego w skali modelu pulpitu sterowniczego maszynisty, został podzielony na pola, w których znajdują się manipulatory o powiązanych tematycznie funkcjach jak np. jazdy, hamowania, oświetlenia itp.

### Płyta dolna prawa

Na tej płycie zabudowane zostały następujące przełączniki i przyciski:

- przełączniki wycieraczki lewej i prawej
- przycisk - spryskiwacz lewy i prawy
- manipulator hamulca zespolonego
- przycisk czuwaka
- przycisk kierunek przód
- przycisk kierunek tył
- przycisk stan spoczynkowy
- przełącznik jazda manewrowa.

### *Manipulator hamulca zespolonego*

Manipulator hamulca zespolonego umożliwia manualne sterowanie tym hamulcem za pośrednictwem elektrycznych sygnałów binarnych. Osiem akcentowanych i oznaczonych pozycji dźwigni sterującej tego manipulatora posłuży do proporcjonalnego sterowania hamowaniem służbowym.

Pozostałe położenia umożliwią utrzymanie hamulca w stanie gotowości (z napełnianiem przewodu głównego), jego wyluzowanie z wykorzystaniem pełnego przekroju przewodu głównego oraz wywołanie hamowania nagłego za sprawą sygnału elektrycznego generowanego redundancyjnie przez dwa łączniki działające niezależnie.

Dla wyluzowania hamulca wysokim ciśnieniem i wyrównania ciśnienia w przewodzie głównym niezbędne będzie użycie przycisku „p↑” opisanego w dalszej części tego artykułu.

Dodatkowo manipulator posiada wyjście umożliwiające bezpośrednią współpracę ze sterownikiem mikroprocesorowym po sieci RS485. W przypadku symulatora informacja o położeniu dźwigni manipulatora będzie przesyłana po sieci RS485 do pulpitu sterownika mikroprocesorowego.

### *Wycieraczki i spryskiwacze*

Działanie wycieraczek i spryskiwaczy szyb czołowych: załączenie wycieraczki szyb czołowych następuje przełącznikiem „Wycieraczka lewa” lub „Wycieraczka prawa”, załączenie pompki spryskiwaczy szyb następuje przyciskiem „Spryskiwacz lewy”, „Spryskiwacz prawy”. Sygnały uruchamiające te funkcje są na poziomie „1” logicznej. Informacja jest podawana na panel operatorski. Działanie wycieraczek i spryskiwaczy sprawdzane jest przez maszynistę na pojeździe przed przystąpieniem do



jazdy. Na symulatorze jest to stan dodatkowy nie mający bezpośredniego elementu wykonawczego.



Rys. 3. Płyta prawa dolna

### **Przycisk czujności**

Czuwak elektroniczny przeznaczony jest do okresowej kontroli czujności maszynisty na jadącym pojeździe trakcyjnym oraz do kontroli pojazdu przy staczaniu się z prędkością większą od 10%  $V_{max}$ . Powyższe zadanie czuwak realizuje poprzez włączenie sygnalizacji optyczno – akustycznej i w przypadku braku odpowiedniej reakcji maszynisty powoduje nagłe hamowanie lokomotywy.

### **Wybór kierunku jazdy**

Do wyboru kierunku jazdy służą następujące przyciski:

- kierunek przód
- stan spoczynkowy
- kierunek tył.

Przed przystąpieniem do jazdy lokomotywą należy wybrać kierunek jazdy przez naciśnięcie przycisku kierunku przód lub kierunku tył. Po wybraniu kierunku należy dokonać jego potwierdzenia na panelu operatorskim. Każda zmiana kierunku (po za parametrami obowiązującymi na pojeździe trakcyjnym i uzależnieniu od zdefiniowanych stanów blokujących jazdę) jest możliwa tylko przez załączenie przyciskiem „Spoczynkowy”.

### **Jazda manewrowa**

Wybór trybu jazdy manewrowej odbywa się za pomocą przełącznika „jazda manewrowa”. Po uruchomieniu lokomotywy automatycznie realizowana jest jazda normalna, ale przy tym trybie sterowania można załączyć tryb jazdy manewrowej w celu zwiększenia precyzji zadawania siły trakcyjnej/hamowania elektrodynamicznego w pracach manewrowych.

### **Płyta środkowa**

Na płycie środkowej pulpitu zabudowane są następujące przełączniki:

piaskowanie

- odluźniacz
- przełącznik reflektorów

- przyciemnienie reflektorów
- podhamowanie dojazdowe



Rys. 4. Płyta środkowa

### **Piaskowanie**

Do realizacji funkcji „Piaskowanie” zastosowany został przełącznik przechyłny umożliwiający wybór jednego z trzech stanów.

- piaskowanie automatyczne – położenie stabilne środkowe przełącznika. W tym trybie załączone jest piaskowanie wymuszone przez układ wykrywania poślizgu oraz w przypadku wdrożenia hamowania nagłego
- piaskowanie w trybie: „R” (piaskowanie ręczne – położenie niestabilne górne) – uzyskuje się po przesunięciu przełącznika przez maszynistę. Jest ono wymuszone przez maszynistę w sytuacji kiedy piaskowanie jest niezbędne,
- wyłączenie funkcji piaskowania poprzez przestawienie dźwigni w położenie „WYŁ” – położenie niestabilne dolne.

### **Przycisk odluźniacza elektrycznego**

Za pomocą przycisku odluźniacza „Odluźniacz” można zainicjować dwie funkcje. Pierwsza z nich to luzowanie hamulca zespolonego lokomotywy w wyniku połączenia jej zbiornika sterującego z przewodem głównym. Druga, wykonywana za sprawą tego przycisku i manipulatora hamulca zespolonego, luzowanie hamulca zespolonego pociągu po hamowaniu nagłym.

### **Przełącznik reflektorów**

Bezpośrednio przed przystąpieniem do jazdy należy załączyć oświetlenie zewnętrzne przełącznikiem „Reflektory”. Oświetlenie czołowe może zostać włączone, (wyłączone) na pojeździe trakcyjnym z aktywnej obsadzonej kabiny maszynisty. Opis kolejnych ustawień przełącznika oraz sposób oświetlenia pojazdu trakcyjnego został przedstawiony w tabeli.

Na symulatorze pulpitu zabudowany jest przełącznik „Reflektorów” natomiast stany reflektorów przedstawione zostaną na panelu operatorskim.

Reflektory czołowe oprócz podstawowej funkcji oświetlania drogi przejazdu służą również do osygnalizowania pojazdu/ pociągu na szlaku kolejowym – od ich sprawności zależy więc bezpieczeństwo prowadzenia ruchu kolejowego. Dlatego też realizuje się

<b>0</b>	reflektory wyłączone
<b>Pc5</b>	oznaczenie końca pociągu, dzienne i nocne: dwa światła czerwone ciągle
<b>A1</b>	alarm, dwa światła migające na czole lokomotywy i jednocześnie jeden długi i trzy krótkie dźwięki syreny lokomotywy (przy dodatkowo załączonym przełączniku „Flesz-alarm”)
<b>P6</b>	oznaczenie czoła pociągu z jednoosobową obsługą pojazdu trakcyjnego, jedno światło białe i światła czerwone
<b>Pc1</b>	oznaczenie czoła pociągu dzienne lub nocne: dwa lub trzy światła białe
<b>Pc2</b>	oznaczenie czoła pociągu dzienne lub nocne: dwa lub trzy światła z których górne i prawe w kierunku jazdy są białe, lewe czerwone (jazda po torze niewłaściwym)
<b>Tb1a</b>	załączenie światła białego prawego dla kabiny 1 (tryb pracy manewrowej)
<b>Tb1b</b>	załączenie światła białego prawego dla kabiny 2 (tryb pracy manewrowej)

układ diagnostyki świateł zewnętrznych pojazdu przez sterownik mikroprocesorowy.

### Przełącznik reflektorów

Przełącznik ten służy do ewentualnego załączenia przyciemnienia wybranego za pomocą przełącznika reflektora. Przełącznik umożliwia realizację następujących funkcji:

- położenie „L + P” - odpowiada za przyciemnienie obu reflektorów światła białego,
- położenie „P” – odpowiada za przyciemnienie reflektora prawego światła białego.

### Podhamowanie dojazdowe

W celu umożliwienia płynnego dojazdu lokomotywy do wagonów „Manipulatorem jazdy i hamulca dodatkowego” i po naciśnięciu przycisku „Podhamowanie dojazdowe”, spowoduje wdrożenie hamowania z siłą odpowiadającą drugiemu stopniowi hamowania hamulcem dodatkowym, przy możliwości utrzymania zadawanej siły trakcyjnej.

### Płyta lewa dolna

Na tej płycie zabudowane zostały następujące przełączniki:

- odbierak przód
- odbierak tył
- wyłącznik szybki,
- zasilanie pociągu
- ogrzewanie szyb
- tryb pracy sprężarki
- jazda manewrowa
- sygnał dźwiękowy
- zwiększenie ciśnienia w przewodzie głównym
- zawór hamulca bezpieczeństwa
- manipulator jazdy i hamowania



Rys. 6. Manipulatory syreny i jazdy i hamowania

### Tryb pracy sprężarki

Samoczynne uruchomienie sprężarek głównych napełniających przewód zasilający – następuje po przestawieniu przełącznika dźwigienkowego „Tryb pracy sprężarek” w położenie „A” (tryb automatyczny); w przypadku przestawienia tego przełącznika w położenie „0” (tryb ręczny) załączenie sprężarek następuje po wychyleniu dźwigni w położenie „R”, a wyłączenie po powrocie dźwigni w położenie „0”.

### Jazda manewrowa

Podobnie, jak przy płycie dolnej prawej, na płycie dolnej lewej znajduje się zestaw manipulatorów do jazdy manewrowej. Ma to ułatwić maszyniście w zależności od sytuacji, prowadzenie jazdy manewrowej z drugiej strony pulpitu.

### Manipulator jazdy i hamowania

Zadawanie siły odbywa się za pomocą manipulatora „Jazdy i hamulca dodatkowego”. Osiągnięcie zadanej wartości siły trakcyjnej odbywa się z uwzględnieniem dopuszczalnego przyspieszenia, ograniczeń energetycznych i poślizgów kół. W przypadku ograniczonej przyczepności kół i wystąpienia poślizgu podczas rozruchu, należy odpowiednio ograniczyć zadaną siłę trakcyjną „Manipulatorem jazdy i hamulca dodatkowego”, a następnie stopniowo ją zwiększać aż do uzyskania żądanej siły.

„Manipulatorem jazdy i hamulca dodatkowego” zadaje się siłę hamulca dodatkowego - kąt wychylenia dźwigni manipulatora określa wartość żądanej siły

## Sygnal dźwiękowy

Syreny są uruchamiane :

- o automatycznie (w razie wystąpienia pożaru)
- o wskutek użycia manipulatora 4+1 – położeniowego na pulpicie maszynisty lub dodatkowo na pojeździe trakcyjnym z pulpitu pomocnika maszynisty.

Wychylenie dźwigni w górę od środkowego położenia spoczynkowego („*Syrena W*”) powoduje uruchomienie syreny wysokotonowej nad kabiną maszynisty

Wychylenie dźwigni w dół od środkowego położenia spoczynkowego („*Syrena N*”) powoduje uruchomienie syreny niskotonowej nad kabiną maszynisty. Wychylenie dźwigni w prawo od środkowego położenia spoczynkowego („*Syrena W+N*”) powoduje uruchomienie syreny wysokotonowej i niskotonowej nad kabiną maszynisty.

## Kabinowy zawór hamulca bezpieczeństwa

Kabinowy zawór hamulca bezpieczeństwa o dużej średnicy nominalnej umożliwi wywołanie hamowania nagłego hamulcem zespolonym pociągu przez bezpośrednie połączenie przewodu głównego z atmosferą. Naciśnięcie przycisku dłoniowego (grzybka) „*Hamulca bezpieczeństwa*” powoduje wdrożenie hamowania nagłego i opuszczenia odbieraków prądu

## Zwiększenie ciśnienia w przewodzie głównym

Naciśnięcie przycisku „*Zwiększenie ciśnienia w PG*” – powoduje podanie logicznego sygnału do sterownika mikroprocesorowego pulpitu. Zobrazowanie reakcji układu pneumatycznego po podaniu sygnału z tego przycisku zostanie przedstawione na panelu operatorskim. Warunkiem koniecznym wzbudzenia zaworu „*DP*” jest pozostawanie systemu sterowania w trybach pracy „*I*”. W trybie „*I*” zawór „*DP*” nie jest wzbudzony tylko w razie wystąpienia choćby jednego z dwóch poniższych warunków:

- o dźwignia manipulatora hamulca zespolonego w aktywnej kabinie „*A*” w położeniu „*RP*” i sygnał (Ap?) = 0,
- o dźwignia wyżej wymienionego manipulatora w położeniu „*FS*” i sygnał (MG) > 480kPa utrzymujący się dłużej jak 6s i sygnał (Ap?) = 0

## Płyta prawa górna

Na płycie tej zabudowane są następujące podzespoły:

- lampka sygnalizacji „*SNP*”
- lampka sygnalizacji „*0 JAZDY*”
- przełącznik hamulca postojowego
- przełącznik wyboru hamulca
- nastawnik hamowania

## Nastawnik hamowania

Nastawnik o programie podanym w *Tabeli nr 1* umożliwi:

- o pozycje „*1*” - uaktywnienie wybranego pulpitu (kabiny),
- o pozycja „*PS*” – umożliwi przeprowadzenie próby szczelności
- o pozycja „*P*” – praca lokomotywy jako popychacz,

## Przełącznik „*T/O/P*”

Przełącznik „*T/O/P*”, umożliwi wybór jednego spośród trzech nastawień („*Towarowy*”, „*Osobowy*” albo „*Pospieszny*”) hamulca zespolonego lokomotywy i właściwych dla tego nastawienia niskiego albo wysokiego zakresu ciśnień cylindrowych oraz długich albo krótkich czasów napełniania i opróżniania cylindrów hamulcowych.

## Hamulec postojowy

W trybach pracy „*I-A*”, „*PS-A*”, „*P-A*” zawór hamulca postojowego (na pojeździe szynowym jest to zawór „*ZHS*”) jest wzbudzony za sprawą sygnału hamulec postojowy =1. W trybie „*0*” i w stanie „*2AK*” zawór ten nie jest wzbudzany.

Przed przystąpieniem do jazdy należy sprawdzić, czy hamulec postojowy jest wyluzowany - przestawić przełącznik dźwigienkowy „*Hamulec postojowy*” w położenie „*WYL*”.

Informacja o wyłączeniu lub załączeniu hamulca postojowego pojawi się na panelu operatorskim w normalnych warunkach jest to manometr.

## Lampka SNP

Lampka sygnalizacyjna „*SNP*” informuje o zwiększonym natężeniu przepływu powietrza przez przekładnik ciśnienia przewodu głównego ((*SNP*) = 1 - przepływ zwiększony). Lampka załączana przez

Tryb działania systemu sterowania	Znaczenie kombinacji		
	ANUH3	ANUH4	
1-A	1	1	W aktywnej kabinie nastawienie „ <i>1</i> ” (pełne możliwości sterowania hamulcami), na pojeździe szynowym w drugiej kabinie nastawienie „ <i>0</i> ” (kabina nie jest aktywna)
PS-A	1	0	W aktywnej kabinie nastawienie „ <i>PS</i> ” (próba szczelności), na pojeździe szynowym w drugiej kabinie nastawienie „ <i>0</i> ” (kabina nie jest aktywna)
P-A	0	1	W aktywnej kabinie nastawienie „ <i>P</i> ” (popychacz), na pojeździe szynowym w drugiej kabinie nastawienie „ <i>0</i> ” (kabina nie jest aktywna)
2AK	stan nieprawidłowy na pojeździe szynowym (usiłowanie jednoczesnego uaktywnienia obu kabin)		

sterownik mikroprocesorowy po podaniu sygnały z przełącznika „Zwiększone ciśnienie w przewodzie głównym”.

### **Lampka sygnalizacyjna „0J”**

Lampa sygnalizacyjna „0J” - zero jazdy załącza na jest w przypadku nie możliwości jazdy. Sygnały podawane są przez sterownik pulpitu i większości związane są z układem pneumatycznym. W dalszej kolejności przesyłane są po magistrali CAN.

### **Płyta lewa górna**

Na płycie tej zabudowano przyciski umożliwiające :

- załączenie baterii akumulatorów
- wyłączenie baterii akumulatorów
- załączenie sprężarki pomocniczej
- woltomierz pomiaru napięcia baterii akumulatorów.

### **Załączenie baterii**

Przycisk o działaniu impulsowym. Naciśnięcie przycisku załącza przełącznik, którego styk podtrzymuje zasilanie jego cewki. Następuje załączenie napięcia zasilania pulpitu. Woltomierz wskazuje aktualne napięcie baterii.

### **Wyłączenie baterii**

Wyłączenie baterii wywołuje zdjęcie „minusa” zasilania przełącznika i odłączenie napięcia zasilania cewki przełącznika. Następuje wyłączenie napięcia zasilania pulpitu. Woltomierz wskazuje brak napięcia baterii, pulpit jest nie aktywny.

### **Sprężarka pomocnicza**

Załączenie sprężarki pomocniczej odbywa się za pomocą przycisku „Sprężarka pomocnicza” i jest możliwe jedynie po załączeniu baterii akumulatorów przez podanie sygnału na poziomie „1” logicznej do sterownika pulpitu. Na pojeździe szynowym wyłączenie sprężarki pomocniczej odbywa się w trybie automatycznym po spełnieniu określonych warunków związanych z pomiarem ciśnienia

### **Płyta środkowa górna**

Na płycie tej zabudowane zostały następujące aparaty:

- lampki kontroli SHP i CA
- wyłącznik rozrządu
- panel operatorski

### **Wyłącznik rozrządu**

Przestawienie wyłącznika rozrządu z pozycji „0” na „1” umożliwia zasilanie wszystkich przełączników zabudowanych na symulatorze, równocześnie informacja podawana jest do sterownika pulpitu.

### **Panel lampek SHP i CA**

Lampki „SHP” i „CA” załączane są przez sterownik mikroprocesorowy pulpitu. Lampki działają tylko w aktywnej kabinie. Czuwak aktywny – moment wzbudzenia czuwaka następuje w chwili zwolnienia przycisku czujności. Jeżeli w czasie około 2,5 sekundy od włączenia się migania lampki sygnalizacyjnej nie nastąpi wciśnięcie i zwolnienie przycisku czujności to włączy się sygnał buczka . Jeżeli w czasie około 2 sekundy od włączenia się buczka nie nastąpi wciśnięcie i zwolnienie przycisku czujności to włącza się hamowanie nagłe.

### **Panel operatorski**

Po załączeniu rozrządu lokomotywy w danej kabinie następuje załączenie panelu operatorskiego. Po uruchomieniu systemu pojawia się ekran powitalny, który jest również ekranem diagnostycznym wszystkich elementów z których składa się cały system sterowania.

### **Płyta z lampkami kontrolnymi**

Jest to płyta na której zgromadzone są lampki diodowe kontrolne załączane przez sterownik mikroprocesorowy pulpitu. Załączenie „Wyłącznika szybkiego”, „Ogrzewanie szyb”, „Ogrzewanie pociągu” – sygnalizacja na lampkach diodowych koloru niebieskiego. Przełącznik „Oświetlenie kabiny” - przełącznik ten podaje informację do sterownika mikroprocesorowego i jego stan wskazywany jest na panelu operatorskim.

Zabudowane zostały również lampki informujące o stanach kontrolowanych na pojeździe takich jak: „Jazda”, „Pożar”, „Poślizg”, „Przełącznik nadmiarowy ogrzewania pociągu”. Kolory lampek kontrolnych dobrane zostały zgodnie z karta UIC 612. Pod lampkami kontrolnym zabudowane zostały przełączniki umożliwiające regulację świecenia lampek oraz oświetlenia przyrządów do potrzeb indywidualnych maszynistów.

## **5. Podsumowanie i wnioski**

Pulpit uproszczony pozwoli na wyprowadzenie wszystkich potrzebnych do prowadzenia jazdy sygnałów na sterownik pulpitu współpracujący z wirtualnym modelem lokomotywy. Będzie więc stanowił bardzo dobre narzędzie dla projektantów systemu sterowania lokomotywą (również obciążoną składem pociągu). Umożliwi doskonalenie programów sterowania lokomotywą. Pozwoli na sprawdzenie reakcji pulpitu na zasymulowane sytuacje awaryjne i ekstremalne. W swoim podstawowym zastosowaniu pulpit umożliwi uruchomienie i przetestowanie symulatora pociągu w wersji uproszczonej. Pulpit uproszczony nie stanowi jednak odpowiednika pulpitu rzeczywistego pod względem ergonomii. Nie może zatem służyć jako pulpit szkoleniowy dla osób prowadzących jazdę. Z tego względu uzasadnione jest.

perspektywicznie wykonanie pulpitu docelowego, który umożliwi ćwiczenia z zakresu prowadzenia jazdy zarówno w zwykłych warunkach jak i sytuacjach krytycznych

## Literatura

- [1] Bejenka K., *Opis uproszczonego modelu pulpitu maszynisty*, OR-10079, Praca niepublikowana, Instytut Pojazdów Szynowych „TABOR”, Poznań, 2012.
- [2] Stegenta P., *Sterownik do pulpitu maszynisty*, OR-10078, Praca niepublikowana, Instytut Pojazdów Szynowych „TABOR”, Poznań, 2012.
- [3] Ziółkowski M., *Panel operatorski*, OR-10147, Praca niepublikowana, Instytut Pojazdów Szynowych „TABOR”, Poznań, 2012.
- [4] *Praca zbiorowa, Dokumentacja Techniczno Ruchowa - zmodernizowanej elektrycznej lokomotywy liniowej typu 303Eab serii EU07A (tom I opis techniczny) 303Ea0159-01-1*, Praca niepublikowana, Instytut Pojazdów Szynowych „TABOR”, Poznań, 2012.
- [5] UIC, *Karta UIC 612-0, Interfejsy Maszynista - Pojazd dla EMU/DMU, Lokomotyw i Napędnych Wagonów Pasażerskich – Funkcjonalne i systemowe wymagania związane ze współpracującymi Interfejsami Maszynista – Pojazd*, wyd. I, czerwiec 2009.

---

**Prof.dr hab.inż. Eugene Kossov**

*Instytut Naukowo-Badawczy Transportu Kolejowego, Moskwa*

**dr inż. Marek Babel**

*Politechnika Krakowska*

## Lokomotywy z silnikiem turbinowym

*W artykule przedstawiono zagadnienia celowości zastosowania silników turbinowych na środkach transportu, określono zadania, rozwiązanie których pozwoli zbudować lokomotywę nowego pokolenia z silnikiem turbinowym. Zaprezentowano obliczenia trakcyjne dla trzech wariantów lokomotyw z silnikiem turbinowym, opisano schemat perspektywnego silnika turbinowego dla lokomotyw, przedstawiono charakterystyki porównawcze sprawności silników turbinowych i silnika wysokoprężnego lokomotyw, dokonano oceny wskaźników trakcyjnych i energetycznych perspektywicznych lokomotyw liniowych z silnikiem turbinowym.*

Powrót do rozwiązań z lat poprzednich, w tym do zastosowania silników turbinowych (ST) na środkach transportu, jest procesem naturalnym, potwierdzonym przez historię rozwoju techniki. Można przytoczyć wiele przykładów, kiedy wspomniany powrót podyktowany był osiągnięciami ogólnego rozwoju technologii. W obecnym okresie, w porównaniu do lat 70-ch XX wieku, nastąpiły duże zmiany. Powstały następujące okoliczności, potwierdzające celowość zastosowania ST w pojazdach.

1. Zużycie paliwa przez lokomotywę określane jest sprawnością zespołu napędowego, która to z kolei zależy od maksymalnej temperatury cyklu pracy silnika. Rozwój lotniczych ST i materiałów konstrukcyjnych pozwolił na znaczne podniesienie maksymalnej dopuszczalnej temperatury cyklu pracy w komorze spalania, np. w 1960-1970-ch latach temperatura ta wynosiła 700-750°C, a obecnie osiąga ona wartość 1700°C. Oznacza to, że sprawność termiczna prostego cyklu ST może być zwiększona z 20 do 48%.

2. W sposób znaczący zmieniły się możliwości przemysłu elektrotechnicznego w zakresie budowy prądnic wysokoobrotowych, zapewnienia przekazania mocy od zespołu napędowego do kół, realizacji sterowania silnikiem i urządzeniami pomocniczymi. W chwili obecnej nie ma problemu z wykorzystaniem dowolnego pierwotnego źródła napędu dla realizacji siły pociągowej niezależnie od jego charakterystyk (zależność momentu i mocy od prędkości obrotowej).
3. W porównaniu do lat poprzednich znaczącej zmianie uległ na świecie stosunek społeczeństw do problemów ochrony środowiska. Normy emisji szkodliwych substancji do atmosfery, zwłaszcza tlenków azotu, stały się bardziej rygorystyczne. W omawianych ST emisje szkodliwych substancji do atmosfery na jednostkę wytworzonej energii są 10-15 razy mniejsze, niż dla silników spalinowych, przez co ich zastosowanie staje się coraz bardziej uzasadnione.
4. Znaczącą zaletą silnika turbinowego w porównaniu z innymi silnikami są jego wskaźniki dotyczące ciężaru i wymiarów gabarytowych. Ma to duże ogólne znaczenie dla transportu, a w szczególności przy organizacji ruchu pasażerskiego dużych prędkości.
5. Jednym z ważnych czynników, wpływających na podjęcie decyzji o zastosowaniu ST, jest możliwość jego zasilania różnymi rodzajami paliw, w tym także gazem ziemnym. W tym przypadku jest to związane z ceną, jak i ze zmniejszeniem emisji szkodliwych substancji do atmosfery.
6. W zespole napędowym z ST nie jest wymagany układ chłodzenia nośników ciepła, co jest szczególnie ważne przy eksploatacji w niskich temperaturach. W tych warunkach zwiększają się sprawność i moc silnika turbinowego, a zmniejszają się koszty obsługi.
7. Niezmiernie ważnym czynnikiem przy zastosowaniu ST na środkach transportu jest pracochłonność obsługi i napraw w miejscu eksploatacji. Przy obsłudze silników turbinowych w warunkach lokomotywni nie jest wymagany demontaż rewizyjny silnika, dlatego przy tworzeniu nowych linii znacznie zmniejszają się nakłady na infrastrukturę.
8. Producenci posiadają określone doświadczenie w zakresie budowy i eksploatacji wysokotemperaturowych wymienników ciepła dla realizacji złożonych cykli w ST. Sprawność silnika turbinowego z wymiennikiem - podgrzewaczem zwiększa się o 8-10%, a przy mocach powyżej 4000 kW i umiarkowanej temperaturze w komorze spalania (1500K) może być o 2-8% wyższa, niż dla nowoczesnego silnika spalinowego

(43%). Zastosowanie dodatkowego chłodzenia międzystopniowego powietrza w sprężarce pozwala zwiększyć sprawność ST do 55% i więcej.

Wymienione osiągnięcia w rozwoju technologii pozwalają zbudować lokomotywy z silnikiem turbinowym (LST) o wysokich wskaźnikach techniczno-ekonomicznych. W tym celu należy rozwiązać szereg odpowiednich zadań, a mianowicie opracować i zbudować:

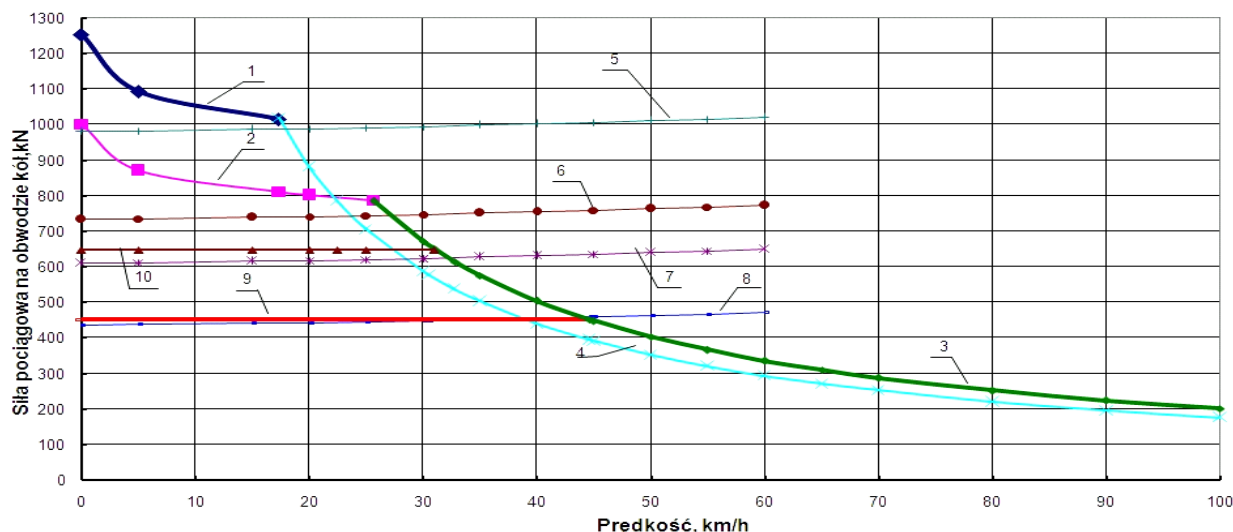
- specjalny silnik turbinowy dla lokomotyw z wymiennikiem - podgrzewaczem i dodatkowym chłodzeniem powietrza w sprężarce;
- wysokoobrotową prądnicę o odpowiedniej mocy, połączoną bezpośrednio (bez przekładni redukującej) z wałem ST;
- wyposażenie elektryczne, zapewniające realizację siły pociągowej z silnikami prądu przemiennego, zasilanie wszystkich urządzeń pomocniczych i sieci pokładowej z jednej prądnicy;
- odpowiedni zespół przetwornic (falowników trakcyjnych);
- układ sterowania, diagnostyki i bezpieczeństwa, zapewniający współpracę układów lokomotywy;
- zasobnik energii, włączony w obwód główny, w celu wykonywania manewrów lokomotywą, rekuperacji energii hamowania i stabilizacji warunków pracy ST;
- układ przechowywania i dawkowania skroplonego gazu ziemnego do silnika z układem zabezpieczenia przeciwpożarowego i przeciwybuchowego.

Można skonstatować, że aktualnie dostępne są wszystkie niezbędne środki do rozwiązania problemów budowy lokomotyw z silnikami turbinowymi nowej generacji, znacznie różniących się od pojazdów budowanych w latach 70-ch zeszłego wieku.

W pierwszej kolejności należy ocenić, jaka powinna być moc lokomotywy na liniach kolejowych. Proponuje się wykorzystać pojęcia zunifikowanej masy pociągów towarowych (6000 Mg), średniej prędkości technicznej (47 km/h) i realnych profili linii kolejowych na odcinkach obsługi trakcyjnej. Skład wagonów o masie 6000 Mg i długości 850 m zestawiony jest z 60-u wagonów o masie 100 Mg każdy.

Na rys. 1 przedstawiono charakterystyki trakcyjne lokomotyw z 12-a i 16-a osiami napędnymi, o nacisku 250 kN na oś i mocy, odpowiednio, 5600 i 4900 kW. Na ww. rysunku wykreślono także charakterystyki całkowitych oporów ruchu dla pociągu 6000 Mg na wzniesieniach 9, 11 i 15 %.

Lokomotywa z 12-a osiami nie może prowadzić pociągu o masie 6000Mg na wzniesieniu powyżej 11%. Zwiększenie mocy trakcyjnej z 4900 do 5600kW nie rozwiązuje problemu. Przy 16-u osiach napędnych do prowadzenia pociągu 6000Mg na



Rys. 1. Charakterystyki trakcyjne lokomotyw z silnikiem turbinowym LST1, LST2 i LST3

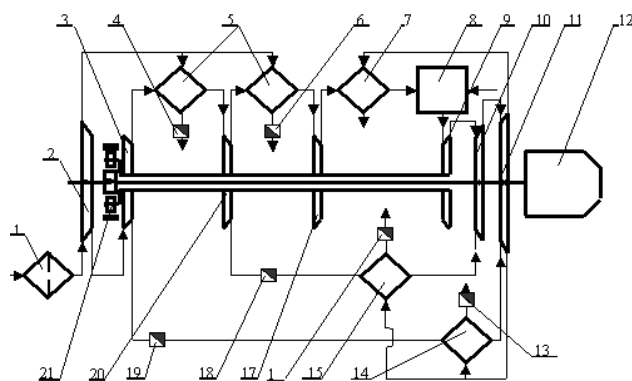
1 – ograniczenie przyczepności przy masie lokomotywy 376t (LST2, LST3); 2 – ograniczenie przyczepności przy masie lokomotywy 300Mg (LST1); 3 – siła pociągowa na obwodzie kół przy mocy 5600kW (LST1); 4 – siła pociągowa na obwodzie kół przy mocy 4900kW (LST2, LST3); 5,6,7 – opory ruchu pociągu o masie 6000Mg na wzniesieniach odpowiednio 15, 11 i 9%; 8 – opory ruchu pociągu o masie 4100Mg na wzniesieniu 9%; 9 – ograniczenie siły pociągowej ciąglej lokomotywy LST1; 10 – ograniczenie przy prędkości  $V = 31,1$  km/h

wzniesieniu 15% wystarczy 4900kW, jednakże należy zapewnić siłę pociągową ciągłą 1000kN przy prędkości 17,5 km/h.

Obliczenia wykazują, że moc 4900kW jest wystarczająca dla zapewnienia średniej prędkości technicznej 47km/h przy masie pociągu 6000Mg na wszystkich odcinkach obsługi trakcyjnej. Przy współczynniku wykorzystania mocy 0,82 zainstalowana moc silnika powinna wynosić 6000kW. Przy wyborze lokomotywy nowej generacji należy uwzględnić fakt, że silnik turbinowy przy wtrysku wody pozwala zwiększyć moc o 25-30% bez zmniejszenia sprawności. W tym przypadku moc silnika turbinowego może wynosić 4500kW.

Głównym zagadnieniem jest oczywiście budowa silnika turbinowego dla lokomotyw o mocy 6000kW. Na rys. 2 przedstawiono schemat ST dla lokomotyw opracowany przez Centralny Instytut Lotnictwa (CIAM) [1].

W silniku należy realizować złożony obieg termodynamiczny. Wentylator (2) tłoczy powietrze do silnika i do chłodnicy powietrza (5) za pierwszą (3) i drugą (20) sprężarką. Po sprężeniu w trzeciej sprężarce (17) powietrze ogrzewa się w wymienniku – podgrzewaczu (7) i przepływa do komory spalania (8). Turbina posiada trzy stopnie rozprężania. Pierwszy stopień (9) napędza sprężarki (3, 20, 17). Dwa drugie stopnie (10, 11) napędzają wentylator (2) i prądnicę (12). Wał sprężarek (3, 17, 20) i turbiny (9) połączony jest z wałem wentylatora (2), turbiny (10, 11) i prądnicy (12) poprzez reduktor synchronizujący (21). Przewidziana jest możliwość przepuszczania powietrza pierwszego i drugiego stopnia sprężania przez wymienniki ciepła (14, 15)



Rys. 2. Schemat silnika turbinowego GTD-7,5 CIAM (7500 kW)

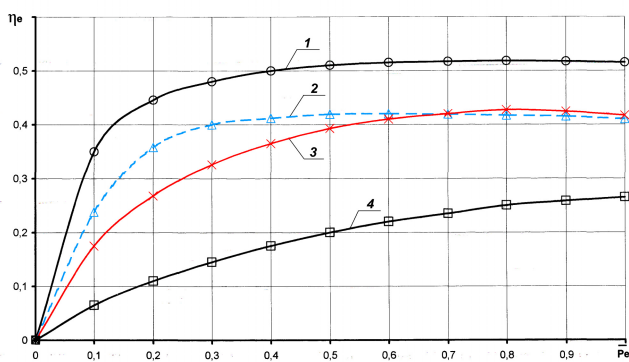
1 - filtr; 2 – wentylator chłodzenia powietrza; 3, 17, 20 - sprężarki; 4, 6, 13, 16, 18, 19 – przysłony regulacyjne; 5 – chłodnice powietrza pierwszej i drugiej sprężarki; 7,14,15 – wymienniki ciepła-podgrzewacze; 8 – komora spalania; 9 – turbina gazo-generatora; 10,11 – turbina prądnicy; 12 - prądnica; 21 – reduktor synchronizujący

do drugiego (10) i trzeciego (11) stopnia turbiny. Pozwala to zwiększyć sprawność ST na obciążeniach częściowych. Do sterowania stopniem chłodzenia i przepuszczaniem powietrza przewidziano przysłony regulacyjne (4, 6, 13, 16, 18, 19).

Podstawowe zespoły tego silnika zostały już opracowane, sprawdzone (zbadane) i wykonane są w metalu. Dopracowania wymagają turbina i wymiennik - podgrzewacz.

Na rys. 3 przedstawiono charakterystyki porównawcze sprawności silników turbinowych i silnika spalinowego. Zastosowanie silnika turbinowego wg obiegu pracy zaproponowanego przez CIAM (krzywa 1, rys. 3) pozwala na znaczne zwiększenie sprawno-

ści silnika w całym zakresie charakterystyk dławiających.



Rys. 3. Sprawność efektywna silników turbinowych i spaliniowych w zależności od względnego ciśnienia użytecznego  
1 – ST-7,5 CIAM (7500 kW); 2 – ST1000 - jednostka napędowa lokomotywy manewrowej GEM10 (1000 kW); 3 – silnik spaliniowy D49 lokomotywy 2TE70 (3000 kW); 4 – ST HK-361 – jednostka napędowa instalacji energetycznej GTE-8.3/HK (8300 kW).

Niezmiernie ważnym jest fakt, że w układzie silnika nie przewidziano przekładni redukujących, napędów pomocniczych, prądnicy pomocniczej, urządzenia rozruchowego itp., w sposób znaczący wpływających na cenę, niezawodność i koszty wyposażenia.

Uproszczenie układu mechanicznego i zastosowanie międzystopniowego chłodzenia powietrza pozwala w efekcie osiągnąć wysoką niezawodność i trwałość eksploatacyjną silnika. Planowany resurs silnika – 100 tys. motogodz., przebieg do pierwszego przeglądu – 25 tys. motogodz.

Dla zapewnienia charakterystyk trakcyjnych lokomotywy koniecznym jest opracowanie prądnicy (12) i przetwornic (falowników), pozwalających na obracanie wałem ST z zasobnika energii, zasilanie silników trakcyjnych, urządzeń pomocniczych, sieci pokładowej i innych układów.

Część postawionych zadań rozwiązywana jest w trakcie budowy lokomotywy manewrowej GEM10 z silnikiem turbinowym o mocy 1000kW. Silnik GTD 1000 pracuje na skroplonym gazie ziemnym. ST wyposażony jest w wymiennik - podgrzewacz i napędza prądnicę synchroniczną. Dzięki zastosowaniu wymiennika ciepła maksymalna sprawność silnika wynosi 42% przy stosunkowo niskiej temperaturze gazu w komorze spalania 1220K (krzywa 2, rys. 3). Wał silnika i wirnik wysokoobrotowej prądnicy synchronicznej tworzą wspólną konstrukcję, opartą na łożyskach powietrznych i magnetycznych. Prędkość obrotowa prądnicy - 433 1/s (26 000 obr/min).

Układ elektryczny zespołu napędowego przewiduje zasilanie z jednej prądnicy silników trakcyjnych, silników sprężarek i wentylatorów, rozruch silnika turbinowego z zasobnika energii, zasilanie sieci pokładowej i ładowanie akumulatorów. Przewidziano

możliwość przekazania energii do zasobnika i wykorzystanie tej energii przy zmianie warunków pracy trakcyjnej.

Wszystkimi procesami steruje pokładowy sterownik mikroprocesorowy, który realizuje także funkcje kontrolne przed rozruchem i kontroluje stan techniczny układów lokomotywy.

Można przewidzieć pracę silnika turbinowego na skroplonym gazie ziemnym lub na innych rodzajach paliwa. Przejście na jakościowo inną moc nie wymaga wprowadzania zasadniczych modyfikacji w układzie elektrycznym, wymagane są tylko zmiany ilościowe.

Dla dokładnej oceny wskaźników trakcyjnych i energetycznych lokomotyw liniowych z silnikiem turbinowym przeprowadzone zostały porównawcze obliczenia trakcyjne lokomotywy spaliniowej 2TE70 i proponowanych do budowy lokomotyw LST2 i LST3 z silnikami turbinowymi.

Na lokomotywie LST2 zaproponowano do realizacji obieg ST z wymiennikiem - podgrzewaczem, bez dodatkowego chłodzenia powietrza. Na perspektywicznej lokomotywie LST3 dzięki zastosowaniu wtrysku wody zainstalowana moc jest o 25% mniejsza, niż na lokomotywie LST2. Oprócz tego, na tej lokomotywie należy realizować obieg pracy ST wg propozycji CIAM.

Porównanie charakterystyk technicznych tych lokomotyw zestawiono w tabelicy 1. Masa pociągu była wybierana z uwzględnieniem warunków przejazdu składu na wybranym odcinku linii kolejowej, no nie większy niż 6000 Mg. Wyniki obliczeń trakcyjnych przedstawiono w tabelicy 2.

Wyprodukowanie silnika turbinowego dla lokomotyw pozwoli zbudować lokomotywy LST2 i LST3 ze wskaźnikami, znacznie przewyższającymi analogiczne parametry współczesnych lokomotyw spaliniowych: odnośnie zużycia paliwa – o 1,1 -1,3 razy (tabl. 2), kosztów eksploatacji – o 30 - 40% i wskaźników ekologicznych – o 10-15 razy.

Niezmiernie interesującym jest zastosowanie współczesnych silników turbinowych do lokomotyw pasażerskich i manewrowych. Sprzyjające wskaźniki dotyczące ciężaru i wymiarów gabarytowych silników turbinowych pozwalają zbudować środki transportu, łączące właściwości pojazdów elektrycznych i autonomicznych.

W najbliższym dziesięcioleciu pojawią się na świecie w transporcie kolejowym seryjnie produkowane autonomiczne lokomotywy z silnikami turbinowymi.



**Tablica 1**

**Przyjęte do obliczeń trakcyjnych i energetycznych charakterystyki lokomotyw 2TE70, LST1, LST2, LST3**

Lp.	Nazwa	2TE70	LST1	LST2	LST3
1	Zainstalowana moc jednostki napędowej, kW	6000	8200	6000	4500
2	Moc lokomotywy godzinna, kW	6000	7000	6000	6000
3	Moc na cele trakcyjne godzinna, kW	4680	5600	4900	4900
4	Ilość osi	12	12	16	16
5	Masa, Mg	282	300	376	376
6	Nacisk zestawu na tor, kN	230	245	230	230
7	Siła pociągowa przy prędkości ciągłej, kN	600	427	1040	1040
8	Prędkość ciągła, m/s (km/h)	7,8(28)	13,1(47)	4,7(17)	4,7(17)
9	Maksymalna sprawność jednostki napędowej	0,43	0,26	0,46	0,56
10	Sprawność lokomotywy	0,34	0,21	0,38	0,46
11	Godzinowe zużycie paliwa, kg/h	1170	1980	960	786
12	Zużycie paliwa na biegu jałowym, kg/h	32	400	96	80

**Tablica 2**

**Porównanie wskaźników lokomotywy spalinowej 2TE70 i lokomotyw z silnikami turbinowymi LST1, LST2, LST3 (na podstawie wyników obliczeń trakcyjnych na odcinkach linii kolejowych)**

Typ lokomotywy i moc, kW	Nr odcinka trakcyjnego	Masa pociągu	Prędkość		Jednostkowe zużycie paliwa		Cena paliwa za przejazd	
		Mg	minimalna, km/h	średnia techniczna, km/h	kg/10 <sup>4</sup> btkm	krotność	PLN	krotność
2TE70, 2*3000	1	6000	25,0	47,0	16,1	1,0	7293,4	1,00
	2	2900	28,0	48,3	27,2	1,0	3427,6	1,00
	3	6000	36,2	47,0	12,3	1,0	8988,2	1,00
LST1, 7000	1	6000	28,0	47,1	33,2	2,06	9483,8	1,30
	2	3000	32,0	49,5	60,1	2,21	4938,3	1,44
	3	6000	39,8	47,0	29,3	2,38	13558,6	1,51
LST2, 6000	1	6000	24,3	47,2	14,9	0,93	4270,1	0,58
	2	4200	18,0	48,4	23,8	0,87	2739,5	0,80
	3	6000	36,3	47,0	12,3	1,00	5738,7	0,63
LST3, 6000	1	6000	24,3	47,0	12,3	0,76	3514,2	0,48
	2	4200	18,0	48,4	19,6	0,72	2253,3	0,66
	3	6000	36,3	47,2	10,2	0,83	4726,3	0,52

1. Odcinek trakcyjny – długość 429 km, maksymalne wzniesienie 18,3 ‰.
2. Odcinek trakcyjny – długość 247 km, maksymalne wzniesienie 25,0 ‰.
3. Odcinek trakcyjny – długość 692 km, maksymalne wzniesienie 9,4 ‰.

## Literatura

[1] Коссов Евгений: Газотурбовоз: будет ли место? Под солнцем ли? РЖД-Партнер. №6(130) 2008.

## **Elektroniczny nastawnik jazdy i bocznikowania oraz system diagnostyki w zmodernizowanej lokomotywie 201Ek**

*W artykule zaprezentowano opis elektronicznego nastawnika jazdy i bocznikowania oraz systemu diagnostyki na zmodernizowanej lokomotywie elektrycznej towarowej serii ET22 (201Ek). Modernizacja została opracowana w Instytucie Pojazdów Szynowych TABOR w Poznaniu, a wykonana w Zakładach Naprawczych Lokomotyw Elektrycznych S.A. w Gliwicach.*

*Blok elektronicznego nastawnika jazdy i bocznikowania zastępuje dotychczas używany nastawnik typu NTR-201E. W szafie niskiego napięcia znajduje się grupa przekaźników, które zastępują styki dotychczasowego nastawnika w obwodzie rozrządu. Sposób ichysterowania odpowiada programowi krzywek nastawnika NTR-201E. Uzależnienia (blokady) mechaniczne zostały zastąpione uzależnieniami elektrycznymi. Pozycje jazdy i bocznikowania są wyświetlane na ekranie pulpituowego wyświetlacza pozycji.*

*Dotykowy wyświetlacz informacji zabudowany na pulpicie, wraz z urządzeniem pomiarowym w szafie wysokiego napięcia, zastępuje dotychczas stosowane mierniki analogowe napięcia w sieci trakcyjnej i prądów w gałęziach silników trakcyjnych. Umożliwia również wizualizację w celach diagnostycznych wartości ciśnień, liczby motogodzin pracy sprzęzarek, oraz wyświetlanie pojawiających się alarmów i komunikatów.*

### **1. Wstęp**

Modernizacja lokomotyw 201Ek umożliwiła wprowadzenie nowego elektronicznego nastawnika jazdy i bocznikowania w systemie rozrządu i sterowania lokomotywy. Głównym założeniem było zachowanie, intuicyjnego dla maszynistów, manualnego sposobu zmiany rezystancji oporników rozruchowych. Pozwala to na pełną kontrolę prądów silników trakcyjnych, a co za tym idzie dobranie optymalnej mocy lokomotywy do aktualnie panujących warunków. Usunięcie nastawnika NTR-201E pozwoliło na uzyskanie większej przestrzeni na pulpicie maszynisty, a zabudowane nowe elementy poprawiają wygodę obsługi pojazdu.

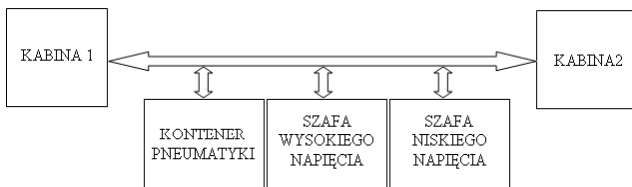


Rys. 1. Widok pulpitu maszynisty lokomotywy 201Ek

### **2. Opis i budowa elektronicznego nastawnika jazdy i bocznikowania**

Elementy elektronicznego nastawnika jazdy i bocznikowania rozmieszczone są w pulpitych maszynisty oraz w szafie niskiego napięcia. Komunikacja między nimi zapewniona jest przy pomocy głównej magistrali informatycznej CAN pojazdu, dzięki czemu możliwa stała się diagnostyka poszczególnych podzespołów. Elektroniczny nastawnik jazdy i bocznikowania zastępuje dotychczas używane nastawniki typu NTR-201E. Maszynista za jego pośrednictwem dokonuje włączenia i wyłączenia obwodu głównego, regulacji prądu silników przez zmianę rezystancji oporników rozruchowych, przez stosowanie osłabienia pola wzbudzenia oraz zmianę układu połączeń silników trakcyjnych. Do realizacji nastawnika jazdy i bocznikowania zastosowane zostały manipulatory typu V62L B2 firmy Gessmann o trwałości łączeniowej 10 mln operacji oraz pulpituowy wyświetlacz pozycji oparty na technologii LED.

Elektroniczny nastawnik jazdy i bocznikowania umożliwia ustawienie 48 pozycji jezdnych i 6 pozycji bocznikowania. Zmiana pozycji jezdnej jest możliwa



Rys.2. Uproszczony schemat magistrali informatycznej CAN

tylko w aktywnej kabinie, po wybraniu kierunku jazdy. W przypadku próby zmiany kierunku podczas jazdy zostaje zdjęty napęd. Stan ten utrzymuje się do czasu ponownego wyboru kierunku, który jest możliwy dla prędkości poniżej 0.5 km/h.

Oslabienie pola wzbudzenia silników trakcyjnych możliwe jest wyłącznie dla pozycji jezdnych: 21, 36 i 48 odpowiadających charakterystykom naturalnym silników trakcyjnych (jazda bezoporowa) dla następujących połączeń grup silników: szeregowego, szeregowo-równoległego i równoległego. Na wyświetlaczu pozycji, na polu bocznikowania pojawia się cyfra zero, oznaczająca możliwość osłabienia pola wzbudzenia przy pomocy nastawnik. Próba zmiany pozycji jezdnej przy włączonym bocznikowaniu powoduje powrót do charakterystyki naturalnej, kolejny ruch nastawnikiem jazdy (lub utrzymanie pracy ciągłej nastawnika) spowoduje zmianę pozycji jezdnej. Wprowadzona jest blokada programowa uniemożliwiająca osłabienie pola wzbudzenia dla pozycji oporowych. Dla pozycji oporowych na pozycji osłabienia pola wyświetlacza pojawia się kreska oznaczająca brak możliwości bocznikowania. Ponadto na pulpicie znajduje się kontrolka „jazda oporowa” pozwalająca rozróżnić jazdę bezoporową i oporową. Przełożenie przełącznika pulpitu na „wysoki rozruch”, oznaczający wyższy próg zadziałania wyłączników nadmiarowych silników trakcyjnych, powoduje zablokowanie możliwości osłabienia pola wzbudzenia dla połączenia szeregowego grup silników trakcyjnych. Dla pozostałych układów połączeń położenie przełącznika „rozruch wysoki” jest ignorowane, a system rozrządu i sterowania realizuje jazdę dla założeń rozruchu normalnego.

Manipulator elektronicznego nastawnika jazdy umożliwia ciągłą lub impulsową zmianę pozycji jezdnej przez maszynistę. W przypadku ciągłego zadawania pozycji, gdzie czas oczekiwania pomiędzy kolejnymi pozycjami wynosi 300 ms, po osiągnięciu pozycji bezoporowej należy cofnąć rączkę manipulatora w pozycję neutralną. Pozwala to maszyniście uniknąć nieumyślnej zmiany sposobu połączeń grup silników trakcyjnych i utrzymanie ekonomicznej, bezoporowej pozycji jezdnej. Dopiero kolejny ruch do przodu nastawnikiem spowoduje zmianę sposobu połączeń grup silników trakcyjnych.

Dwa przyciski umieszczone w rękojeści manipulatora elektronicznego nastawnika jazdy umożliwiają zdjęcie napędu poprzez sekwencyjne, automatyczne

przejście z bocznikowania na charakterystykę naturalną (w przypadku jazdy na bocznikach), następnie przełączenie na pierwszą pozycję oporową w danym połączeniu silników trakcyjnych, rozłączenie styczników liniowych i wyzerowanie pozycji jezdnej na wyświetlaczu. Takie rozwiązanie ogranicza znacznie prąd płynący przez styczniki liniowe w momencie ich rozłączenia. Zwiększa to znacznie ich trwałość.

Aktualna pozycja jazdy i bocznikowania pokazywana jest na wyświetlaczu LED zabudowanym w pulpicie maszynisty. Posiada on regulację jasności w postaci czujnika natężenia światła oraz poprzez dwa przyciski obsługiwane przez maszynistę. Przyciski umożliwiają regulację natężenia światła kontrolki pulpitu, panelu dotykowego i wyświetlacza pozycji. Czujnik służy do korekty natężenia światła wyświetlacza pozycji nastawnika jazdy i bocznikowania, w zależności od natężenia oświetlenia padającego na wyświetlacz.

Przypadek awarii wyświetlacza nie uniemożliwia jazdy. Przy ciągłym zadawaniu pozycji jezdnej, po osiągnięciu pozycji bezoporowej, zostaje zatrzymane zadawanie kolejnych pozycji i konieczne jest cofnięcie rączki nastawnika w pozycję neutralną. W tym momencie maszynista osiągnął pozycję bezoporową (jednocześnie gaśnie kontrolka jazdy na oporach) i możliwe jest przejście na kolejne pozycje osłabienia pola wzbudzenia. Przy impulsowym zadawaniu pozycji jezdnej konieczna jest obserwacja kontrolki „jazda oporowa”.

Dla jazdy awaryjnej szeregowy nastawnik umożliwia przełączanie pozycji tylko do pozycji 21. Dla jazdy awaryjnej równoległej należy przejść nastawnikiem do pozycji 22, od której umożliwiona jest jazda. W przypadku nieprawidłowego stanu odłączników silników trakcyjnych zostanie zablokowana możliwość zadawania pozycji, a na wyświetlaczu informacji w zakładce „Awarie” wyświetlony zostanie stosowny komunikat [1].

Rys.3. Manipulator elektronicznego nastawnika jazdy i bocznikowania

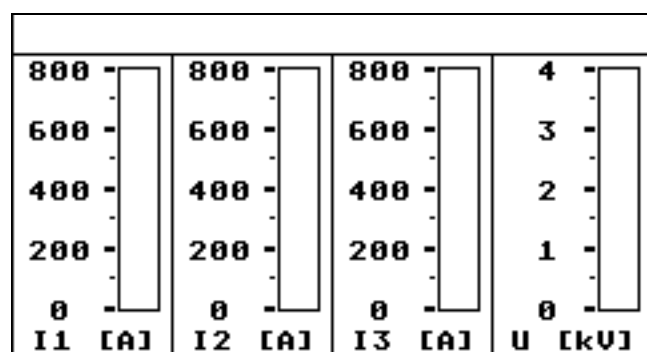




Rys.4. Wyświetlacz pozycji elektronicznego nastawnika jazdy i boczniowania

### 3. Opis dotykowego wyświetlacza informacji

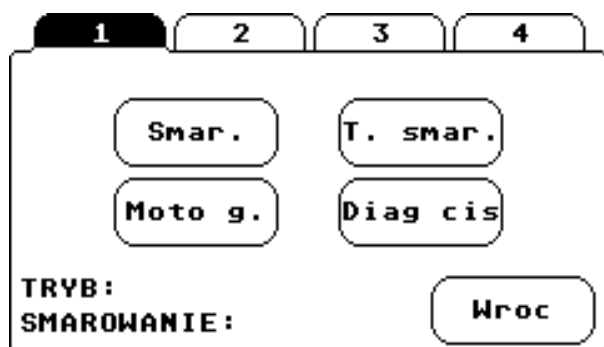
Dotykowy wyświetlacz informacji ma za zadanie wizualizację: wartości prądów płynących w gałęziach silników trakcyjnych i napięcia w sieci trakcyjnej, wartości ciśnień w celach diagnostycznych, wartości motogodzin sprężarek, jak również wyświetlenie komunikatów dla maszynisty. Wyświetlacz komunikuje się ze sterownikiem za pomocą łącza RS232. Wyświetlacz posiada siedem okien. Poniżej przedstawiono i krótko opisano niektóre z nich.



Rys. 5. Dotykowy wyświetlacz informacji – zakładka główna

Na głównej zakładce widnieją wartości prądów mierzonych w gałęziach silników trakcyjnych i napięcia zasilającego. Wartości te są przedstawione w postaci słupków w celu łatwiejszego odczytu poszczególnych danych. W razie wystąpienia jakiegokolwiek alarmu w górnym pasku pojawia się migający napis, informacja o typie alarmu. W zależności od pojawiającego się typu należy przejść do odpowiedniej zakładki w celu odczytania treści problemu.

Kolejnym oknem jest okno wyboru opcji oraz zakładek.



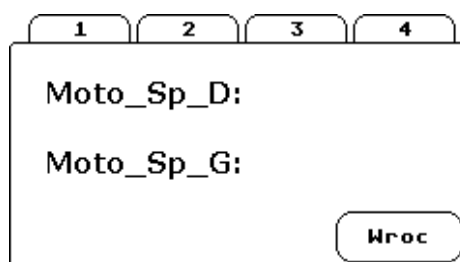
Rys. 6. Dotykowy wyświetlacz informacji – zakładka opcji

W przypadku naciśnięcia któregoś z pola na zakładce głównej następuje przejście do następnego okna. W zakładce nr 1 użytkownik ma do wyboru 4 przyciski, który odpowiadają za:

- o przycisk „Smar.” - włączanie/wyłączanie układu smarowania obrzeży kół
- o przycisk „T. smar.” - test układu smarowania obrzeży kół
- o przycisk „Moto g.” - przejście do zakładki motogodziny
- o przycisk „Diag cis” - przejście do zakładki diagnostyka ciśnień

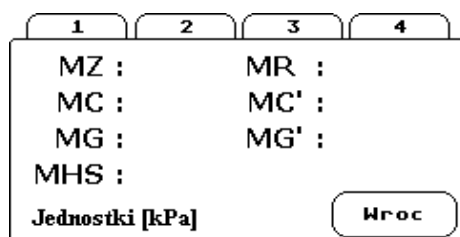
Na dole ekranu wyświetlana jest informacja dotycząca trybu oraz czy dany tryb jest uruchomiony. Jako „Tryb” użytkownik widzi czy jest wybrany tryb normalny czy testowy układu smarowania obrzeży kół. Wiersz „Smarowanie” mówi użytkownikowi o tym czy dany tryb jest włączony czy wyłączony.

W przypadku wciśnięcia przycisku „Moto g.” użytkownik przechodzi do kolejnej zakładki, przedstawionej poniżej, w której użytkownik może podejrzeć liczbę motogodzin sprężarek głównych zarówno dolnej jak i górnej. Po naciśnięciu przycisku „Wróć” użytkownik powraca do zakładki poprzedniej (zakładka opcji):



Rys. 7. Dotykowy wyświetlacz informacji – zakładka motogodzin

Kolejnym oknem, do którego można przejść, jest zakładka diagnostyki ciśnień (przycisk „Diag cis”).



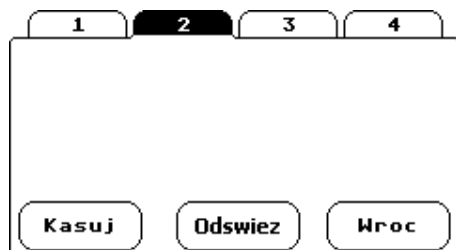
Rys. 8. Dotykowy wyświetlacz informacji – zakładka ciśnień

W oknie tym można odczytać wartości poszczególnych ciśnień:

- MZ - ciśnienie w przewodzie zasilającym
- MR - ciśnienie w zbiornikach rozrządu
- MC - ciśnienie w cylindrach hamulcowych
- MC' - ciśnienie w komorze sterującej przekładnika cylindrów hamulcowych
- MG - ciśnienie w przewodzie głównym
- MG' - ciśnienie w komorze sterującej przekładnika cylindrów hamulcowych

- MHS - ciśnienie w siłownikach sprężynowych hamulca postojowego

Pozostałe zakładki z numerami 1,2 oraz 3 służą do wyświetlania informacji dotyczących stanów alarmowych pojazdu, warunków „zera jazdy” oraz diagnostyki układu przeciwoślizgowego.



Rys. 9. Dotykowy wyświetlacz informacji – zakładka awarii

Po wybraniu zakładki 2 na wyświetlaczu pojawia się treść komunikatów. Przycisk „Kasuj” służy do kasowania zawartości okna. Naciśnięcie przycisku „Wroc” powoduje powrót do zakładki głównej. Przycisk „Odswiez” służy ponownemu wyświetleniu aktywnych awarii. Komunikaty, jakie w tej zakładce występują, dotyczą wszystkich ważniejszych elementów w które wyposażona jest lokomotywa (komunikaty dotyczą zadziałania zabezpieczeń, stanów awaryjnych czujników, przekroczenia prądu lub napięcia czy też braku komunikacji między układami).

Kolejne dwie zakładki (zakładka 3 i 4) dotyczą kolejno warunków „0 jazdy” oraz awarii układu wykrywania poślizgu. W zakładce 3 pokazane są wiadomości dotyczące przyczyn wyłączenia napędu. Występuje tu 11 komunikatów i każdy z nich jest przypisany do odpowiedniego miejsca na ekranie. W zakładce 4 diagnozowane są niepoprawne działania układu przeciwoślizgowego. Użytkownik otrzymuje informacje o między innymi braku sygnału prędkości z danej osi, wyłączeniu układu przeciwoślizgowego, czy też o uszkodzeniu poszczególnych zaworów.



Rys. 10. Dotykowy wyświetlacz informacji

## 6. Podsumowanie

Wprowadzenie elektronicznego nastawnika jazdy i bocznikowania poprawiło komfort pracy maszynisty, zarówno w kontekście zwiększenia przestrzeni pracy, jak i możliwości szybkiej diagnostyki stanów awaryjnych podczas eksploatacji pojazdu. Podczas modernizacji w pełni zastąpiono nastawnik NTR-201E zachowując jego funkcjonalność oraz wprowadzono wiele udogodnień dla użytkownika. Zastosowano wielostopniową regulację jasności lampek, panelu diagnostycznego i wyświetlacza pozycji. Zastosowanie dotykowego wyświetlacza informacji ułatwiło rozpoznawanie występujących awarii, komunikatów oraz warunków zakazu jazdy. W prosty sposób zostały zastąpione wskaźniki prądów i napięć, dzięki czemu uzyskano więcej miejsca na pulpicie. Dodatkowo na wyświetlaczu informacji możliwa jest bezpośrednia diagnostyka wartości ciśnień w kontenerze pneumatycznym, co umożliwia pełniejszą informację o stanie układu pneumatycznego, niż w pojazdach starego typu.

## Literatura

- [1] Cierniewski M., Radziszewski P., Ziółkowski M., Synak S., Dokumentacja techniczno-ruchowa systemu rozrządu i sterowania dla lokomotywy 201Ek. Instytut Pojazdów Szynowych „Tabor”, Poznań 2010.

## **Nowe układy i rozwiązania techniczne w modernizowanej lokomotywie spalinowej serii SM42 typu 6Di**

*Lokomotywy spalinowe serii SM42 były produkowane przez Fabrykę Lokomotyw w Chrzanowie przez ponad 30 lat. Ogółem wyprodukowano około 1800 lokomotyw. W latach 70-tych część lokomotyw wyposażono w instalację ogrzewania wagonów, a w latach 1999-2000 40 sztuk lokomotyw wyposażono w agregat prądowórczy i trójfazową prądnicę synchronizowaną do ogrzewania wagonów. Lokomotywy serii SM42 należą do najpopularniejszych lokomotyw spalinowych eksploatowanych w Polsce. Próby modernizacyjne lokomotyw rozpoczęto w połowie lat 90-tych. W ostatnich latach Newag Nowy Sącz oraz Pesa Bydgoszcz podjęły się kompleksowej modernizacji lokomotyw serii SM42 dla potrzeb PKP Cargo SA oraz zakładów przemysłowych w oparciu o silnik CAT C27 i C15 firmy Caterpillar.*

*Prezentowany artykuł jest poświęcony trzeciemu wariantowi modernizacji, realizowanemu wspólnie przez Instytut Pojazdów Szynowych „TABOR” w Poznaniu i Fablok Chrzanów, w oparciu o silnik spalinowy firmy MAN.*

*W artykule zaprezentowano charakterystyki trakcyjne i możliwości pociągowe lokomotywy oraz jej podstawowe parametry. Ponadto przedstawiono opisy nowych i zmodernizowanych zespołów i układów oraz zakres prób i badań będących do wykonania dla uzyskania świadectwa dopuszczenia do eksploatacji. Referat powstał w ramach realizowanego projektu celowego nr 6ZR6 2008C/07089 pt. Zmodernizowana lokomotywa manewrowa typu 6D (serii SM42) z silnikiem spalinowym spełniającym wymagania normy EURO IIIa.*

### **1. Wprowadzenie**

Lokomotywy spalinowe serii SM42 (6D) zaprojektowane w CBK PTK w Poznaniu w połowie lat pięćdziesiątych były produkowane przez Fabrykę Lokomotyw w Chrzanowie przez ponad 30 lat.

Ogółem wyprodukowano około 2000 sztuk tych najbardziej popularnych lokomotyw z czego około 1200 na potrzeby Polskich Kolei Państwowych, 600 sztuk dla zakładów przemysłowych a 37 sztuk wyeksportowano do Maroka. Lokomotywy przeznaczone były do prowadzenia prac manewrowych i pracy liniowej z pociągami towarowymi i wyposażone były w wózki typu 6D, 1LN i 1LNa.

W latach 1975-1977 około 40 lokomotyw zostało przystosowanych do ogrzewania wagonów osobowych. Przebudowa lokomotyw (oznaczonych SU42) polegała na wyposażeniu ich w instalację elektryczną o napięciu 500V zasilaną z prądnicy głównej. Wymagało to wykonania dodatkowego okablowania i montażu sprzęgów grzewczych.

W latach 1999-2000 lokomotywy serii SP42 przeznaczone do prowadzenia pociągów pasażerskich (wyposażonych wcześniej w kocioł grzewczy typu WB-5 do wytwarzania pary) zostały przystosowane do ogrzewania elektrycznego wagonów osobowych. W miejsce kotła typu WB-5 zabudowany został agregat prądowórczy składający się z silnika spalinowego typu CAT 3208 o mocy 180kW, synchronicznej prądnicy trójfazowej i układu prostownikowego, dostarczającego prąd o napięciu 3000V. Ogółem przebudowano 40 lokomotyw.

Lokomotywy serii SM42 nie były kompleksowo modernizowane przez ponad 40 lat.

Dopiero w 1996r. Zakłady Naprawcze Taboru Kolejowego w Pile wspólnie z Ośrodkiem Badawczo – Rozwojowym Pojazdów Szynowych (obecnie IPS „Tabor”) w Poznaniu została wykonana pierwsza modernizacja lokomotywy SM42, którą oznaczono SM42-2000 (6Dc).

Lokomotywa została wyposażona w silnik typu 12V396TC12 produkcji Faur (Rumunia) na licencji MTU, elektroniczny regulator, prądnicę główną prądu przemiennego i sprężarkę śrubową oraz tablicę pneumatyczną (pierwszą zainstalowaną w krajowych pojazdach trakcyjnych zaprojektowaną w OBRPS Poznań). Ponadto, dla poprawy warunków pracy maszynistów lokomotywa została wyposażona w zmodernizowaną kabinę sterowniczą (opartą na amortyzatorach) z dwoma pulpitemi sterowniczymi i drzwiami wejściowymi z bocznych pomostów, smarowaniem obrzeży kół oraz halogenowym oświetleniem zewnętrznym.

Ogółem wyprodukowano tylko jedną lokomotywę przystosowaną do sterowania radialnego eksploatowaną obecnie przez PKP Cargo SA.

W latach 1997-1999 w przedsiębiorstwie Taboru Kolejowego i Gospodarki Kamieniem w Rybniku dokonano również modernizacji lokomotywy SM42 (oznaczonej LS1000 – 6Dd dla kopalni węgla kamiennego) w oparciu o silnik wysokoprężny typu 8V396TC14 o mocy 785kW firmy MTU i synchroniczną prądnicę główną typu LSG 850 – 90 wraz ze wzbudnicą, prądnicą pomocniczą i zespołem prostownikowym produkcji ABB Dolmel Drives. Ponadto w lokomotywie zabudowano nowy agregat chłodniczy silnika spalinowego, sprężarkę śrubową i oświetlenie halogenowe. Lokomotywa wyposażona została także w nowoczesną kabinę sterowniczą odizolowaną od podwozia, dwa pulpity sterownicze i nowoczesne fotele oraz nowoczesne układy sterowania i diagnostyki.

Ogółem wyprodukowano 2 sztuki lokomotyw które powstały dopiero na początku 2002r.

Przez następne kilka lat nie było zainteresowania modernizacją lokomotyw serii SM42.

Dopiero w 2007r. powstała prototypowa lokomotywa serii SM42 (6Dg) zmodernizowana przez Newag Nowy Sącz, a kilka lat później w Pesa Bydgoszcz wyprodukowano zmodernizowaną lokomotywę typu 6Dk z dwoma zespołami prądowórczymi.

W lokomotywie 6Dg zastosowano zespół prądowórczy w oparciu o silnik CAT C27 o mocy 652kW, a w lokomotywie 6Dk dwa silniki CAT 15 o mocy 403kW każdy [2,3].

Pozostałe modernizacje (różnice w zastosowanych różnych aparatach i urządzeniach) dotyczyła dla obu typów lokomotyw (6Dg i 6Dk) zespołu prądnic synchronicznych, kabin sterowniczych i pulpitemi, mikroprocesorowych układów diagnostyki i sterowania, wprowadzenie napędów asynchronicznych dla napędu sprężarek i wentylatorów, silników trakcyjnych (w lokomotywie 6Dk zastosowany napęd hydrauliczny), zabudowy systemu gaśniczego, elektronicznych prędkościomierzy i urządzeń do pomiaru paliwa, urządzeń smarowania obrzeży kół i układu hamulca (wprowadzono tablice pneumatyczne, mani-

pulatory pulpitemi, hamulec postojowy typu sprężynowego) oraz oświetlenia zewnętrznego i sygnalizacji.

Oba typy lokomotyw eksploatowane są głównie przez PKP Cargo SA, przy czym 3 sztuki lokomotyw typu 6Dg produkcji Newag Nowy Sącz wykorzystywane są w ISD Huta Częstochowa Sp z o. o. [2,3]

Podobna w zakresie modernizacji powstaje lokomotywa SM42 (typ 6Di) przygotowywana w Pierwszej Fabryce Lokomotyw Spalinowych w Polsce – Fablok Chrzanów wspólnie z Instytutem Pojazdów Szynowych „Tabor” w Poznaniu. Lokomotywa przygotowywana jest w oparciu o silnik spalinowy firmy MAN oraz krajowy zespół prądnic. [1]

Widok ogólny modernizowanych lokomotyw serii SM42 wykonanych przez Newag Nowy Sącz i Pesa Bydgoszcz przedstawiono na rys 1 i 2 a porównanie parametrów wszystkich trzech lokomotyw zaprezentowano w tabelicy 1.



Rys.1 Widok zmodernizowanej lokomotywy SM42 (6Dg) wykonanej przez Newag Nowy Sącz



Rys.2 Widok zmodernizowanej lokomotywy SM42 (6Dk) wykonanej przez Pesa Bydgoszcz

## 2. Charakterystyka trakcyjna i parametry lokomotywy SM42 (6Di)

Zmodernizowana lokomotywa spalinowa serii SM42 typu 6Di będzie przeznaczona do prowadzenia ciężkich prac manewrowych oraz lekkich pociągów towarowych z prędkością do 90 km/h.

Zasadniczo (ze względu na ograniczony zakres modernizacji i niskie jej koszty) lokomotywa będzie

**Parametry techniczne lokomotyw spalinowych serii SM42 zmodernizowanych w ostatnich latach. Tablica 1**

L.p.	Wielkość lub parametr	Jednostka	Typ lokomotywy / Producent		
			6Dg/Newag	6Dk/Pesa	6Di/Fablok
1	Układ osi	-	Bo-Bo	Bo-Bo	Bo-Bo
2	Szerokość toru	mm	1435	1435	1435
3	Moc znamionowa	kW	652	2x403	662
4	Prędkość max.	km/h	85	90	90
5	Siła pociągowa max.	kN	219	279,6	240
6	Masa lokomotywy	Mg	70±3%	70	74
7	Typ silnika spalinowego	-	C27	2xC15	D2842LG622
8	Typ prądnicy głównej	-	Siemens 1FC454-480SZ	2xSiemens 1FC2401	Ghp400M4C, 59
9	Typ prądnicy pomocniczej	-	Siemens 1FC2282-6BO992	Prądu przemiennego z napędem hydrost.	Ghp315S4R63
10	Typ silnika trakcyjnego	-	LSa430	LSa430	LSa430
11	Rodzaj przekładni	-	AC/DC	AC/DC	AC/DC
12	System hamulca	-	Oerlikon	Oerlikon	Oerlikon
13	System sterowania	-	mikroprocesorowy	mikroprocesorowy	mikroprocesorowy

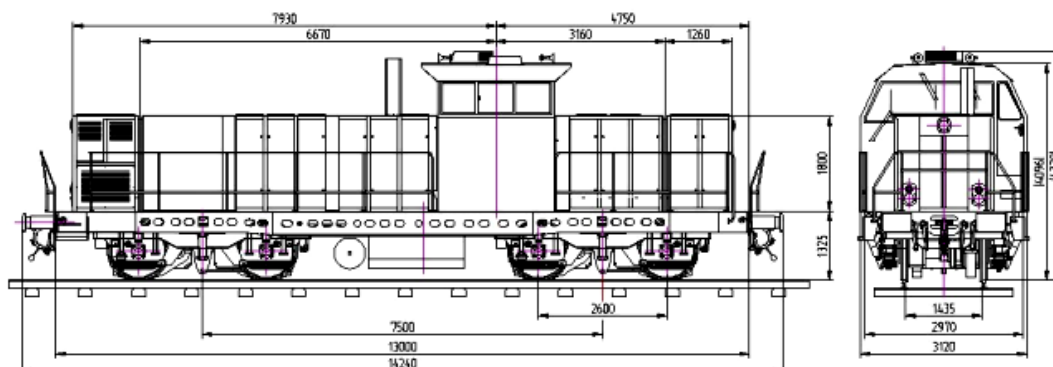
oferowana zakładom przemysłowym, dla zmniejszenia kosztów eksploatacji w wyniku zastosowania silnika spalinowego o mniejszym zużyciu oleju napędowego i środków smarnych, wydłużonymi przebiegami do poszczególnych poziomów utrzymania, zabudowy nowoczesnych podzespołów i aparatów o niskich kosztach utrzymania oraz nowoczesnej kabiny sterowniczej poprawiającej warunki pracy, obsługi i komfortu cieplnego i akustycznego [1].

Widok ogólny modelu zmodernizowanej lokomotywy typu 6Di przedstawiono na rys.3 a jej charakterystykę trakcyjną na rys.4.

### 3. Ogólny opis nowych i zmodernizowanych urządzeń, zespołów i układów.

W modernizowanej lokomotywie jest przewidziana budowa modułowa tzn. każdy z głównych jej układów zostanie umieszczony w modułach (sekcjach samonośnych), z możliwością ich podnoszenia za pośrednictwem suwnicy dla realizacji prac montażowych, przeglądowych i naprawczych. Moduły lokomotywy będą połączone z ostoją (niezmodernizowaną w ogólnym kształcie) gwarantując pewną szczelność.

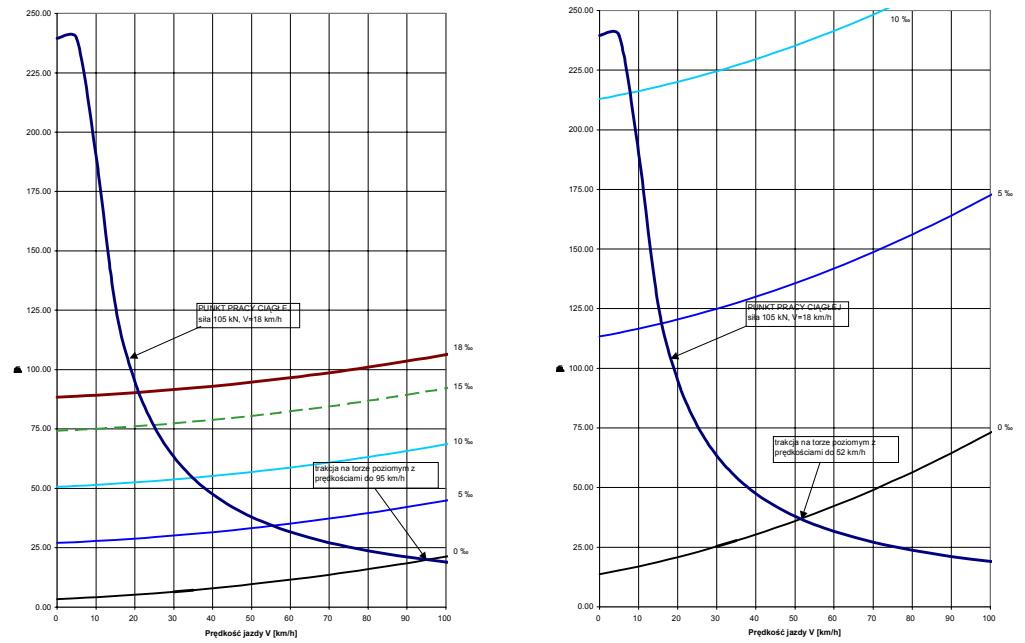
Widok ogólny rozmieszczenia maszyn i urządzeń w zmodernizowanej lokomotywie przedstawiono na rys.5, a ogólne zestawienie głównych modułów – ostoi, układów i zespołów elektrycznych, pneumatycznego, zespołu prądotwórczego, kabiny sterowniczej i sprężarkowo – wentylacyjnego na rys.6.



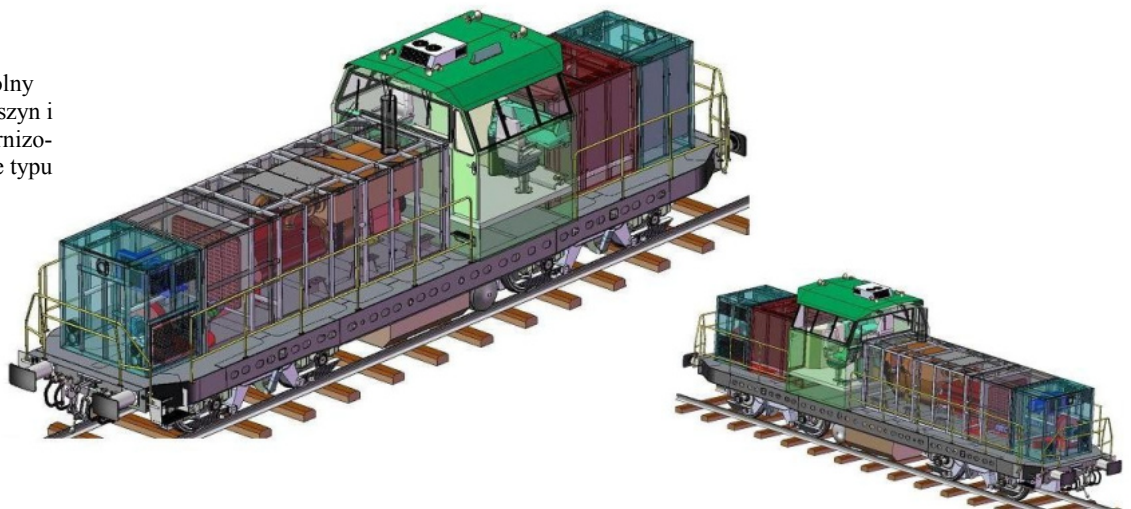
Rys.3 Widok ogólny lokomotywy wraz z wymiarami zmodernizowanej lokomotywy typu 6Di z silnikiem MAN



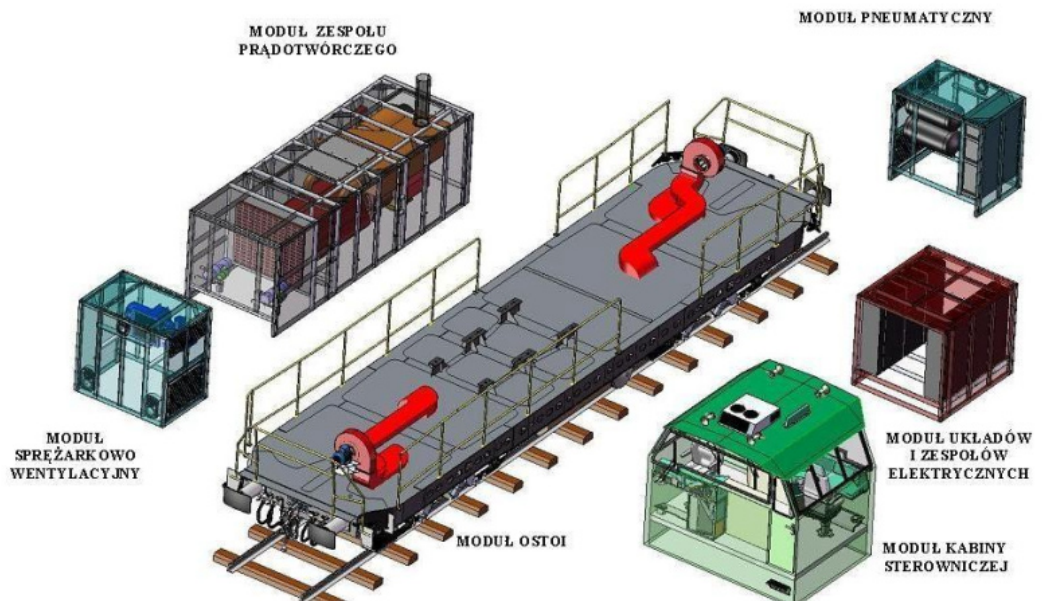
Rys.4 Charakterystyki trakcyjne zmodernizowanej lokomotywy typu 6Di z silnikiem MAN (a-dla pociągu o masie 400 t, b-dla pociągu o masie 2000 t)



Rys.5 Widok ogólny rozmieszczenia maszyn i urządzeń w zmodernizowanej lokomotywie typu 6Di



Rys.6 Ogólne zestawienie głównych modułów w zmodernizowanej lokomotywie typu 6Di

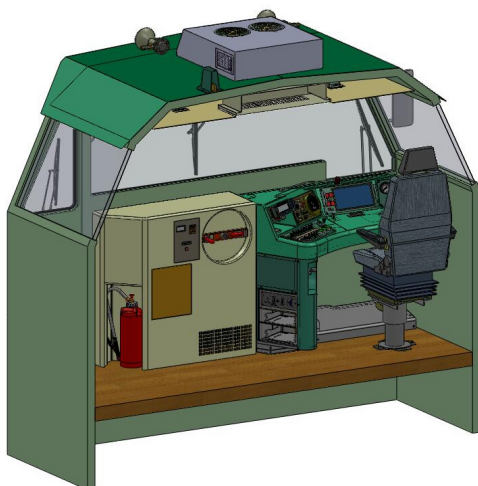


W modernizowanej lokomotywie zachowana zostanie ostoja (przystosowana do mocowania nowych modułów, kanałów kablowych oraz o zwiększonej wytrzymałości) oraz wózki typu 1LN (lub 1LNa) ze zbiornikami piasku. Cała ostoja zostanie wzmocniona płytą o grubości 20mm.

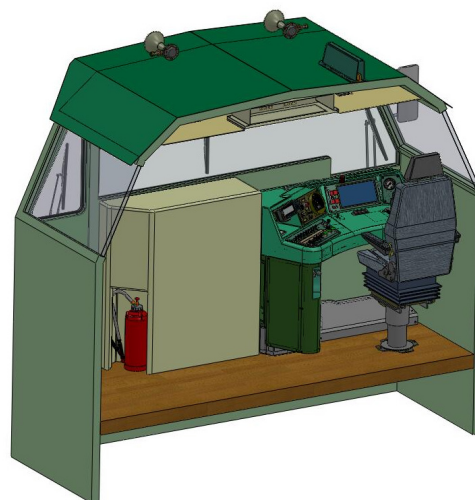
Pozostałe zmodernizowane i nowe urządzenia, aparaty, maszyny i układy to [1,4]:

- silnik spalinowy typu D2842LE622 o mocy 662 kW, spełniający wymagania toksyczności spalin poziom IIIa o minimalnym zużyciu paliwa 202g/kWh
- zespół prądnic – główna Ghp 400M4C o mocy 590kW, z zabudowaną wzbudnicą i pomocniczą Ghp 315S4K o mocy 63kW
- tablica pneumatyczna
- agregat sprężarkowy ze sprężarką śrubową napędzaną silnikiem prądu przemiennego
- kabina sterownicza z dwoma niezależnymi pulpitemi i fotelami, o wysokiej izolacji cieplnej i akustycznej, szybami ogrzewanymi elektrycznie, lusterkami zewnętrznymi lub kamerami, szafami sterowniczymi, szafami z generatorami SHP i CA oraz centralką p-poż. Kabina została posadowiona na amortyzatorach gumowo-metalowych, a dach kabiny przystosowany do zabudowy wentylatora wyciągowego lub schładzacza
- układ sterowania i diagnostyki (mikroprocesorowy)
- układ przeciwpoślizgowy przy rozruchu i hamowaniu
- urządzenia związane z bezpieczeństwem ruchu oraz łączności radiowej
- elektroniczne prędkościomierze i rejestratory głównych parametrów pracy lokomotywy
- halogenowe oświetlenie zewnętrzne i lampy sygnałowe

a)



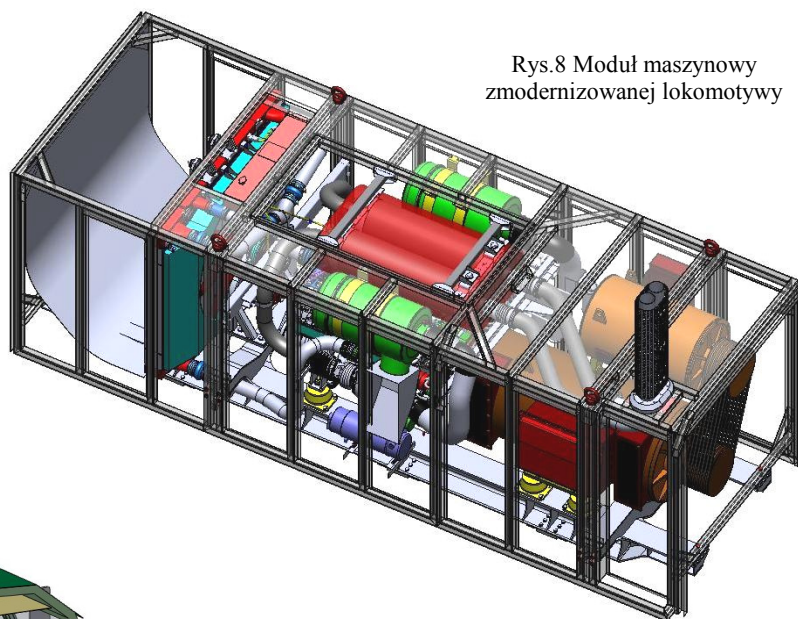
b)



Rys.7 Moduł zmodernizowanej kabiny sterowniczej z zabudowanym schładzaczem a-widok na stronę modułu prądotwórczego, b-widok na stronę modułu elektrycznego

Lokomotywa jest przystosowana do zabudowy innych typów silników spalinowych (spełniających również wymagania poziomu IIIb) oraz innego wyposażenia zgodnego z wymaganiami każdego użytkownika.

Widok ogólny na wybrane zmodernizowane moduły przedstawiono na rys.7-10 a schemat blokowy układu elektrycznego na rys.11.



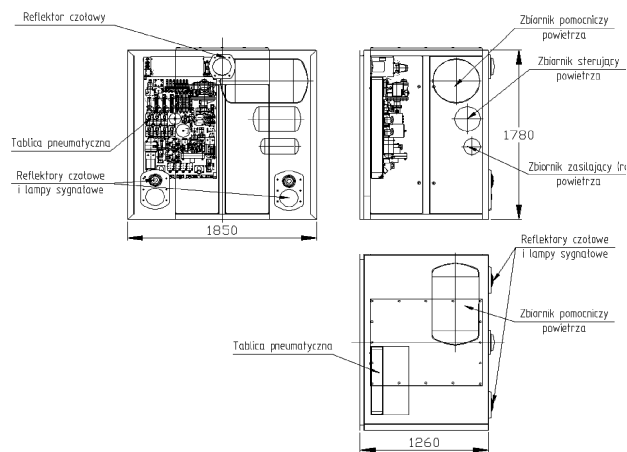
Rys.8 Moduł maszynowy zmodernizowanej lokomotywy

#### 4. Podsumowanie

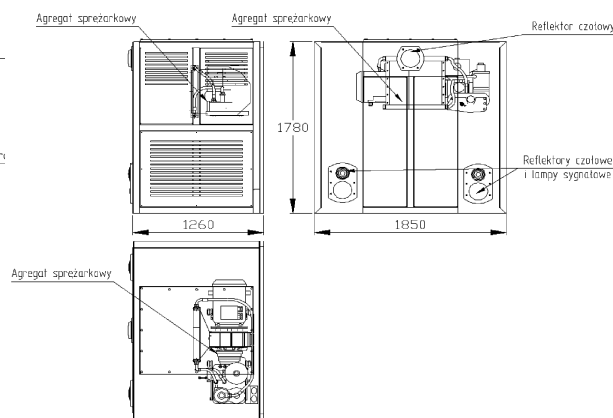
Odbudowana lokomotywa po wykonaniu modernizacji zostanie skierowana do prób i badań zgodnie z obowiązującym jeszcze zakresem wymienionym w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 12.10.2005r. (Dz. U. nr 212 poz. 1772 §4 pkt 1).

Zakres prób i badań obejmować będzie:

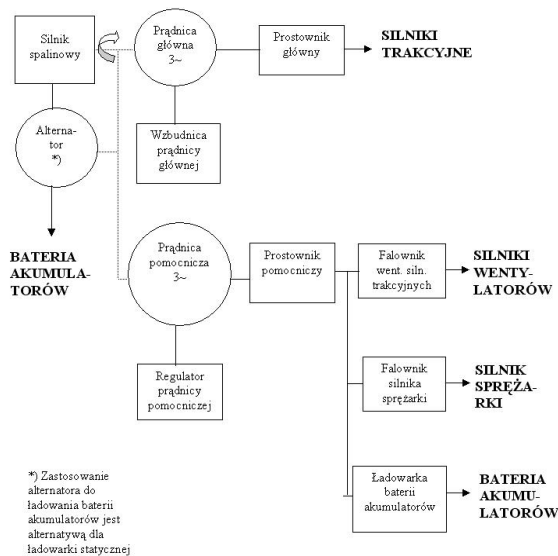
- odbiory zgodnie z wymaganiami ujętymi w Warunkach Technicznych Odbioru
- analizy dynamiczne, wytrzymałościowe i kinematyczne



Rys.9 Widok ogólny modułu pneumatycznego



Rys.10 Widok ogólny modułu sprężarkowego



Rys.11 Schemat układu elektrycznego zmodernizowanej lokomotywy

- określenie rzeczywistych charakterystyk trakcyjnych
- badanie układów hamulca, urządzeń przeciwpoślizgowych oraz urządzeń związanych z bezpieczeństwem ruchu i rejestracją parametrów pracy lokomotywy
- badanie hałasu zewnętrznego oraz oświetlenia i sygnalizacji (światłowej i akustycznej)
- badanie wpływu lokomotywy na pracę urządzeń sterowania ruchem kolejowym i sygnalizacji
- ocena zakłóceń radioelektrycznych i elektromagnetycznych (wewnętrznych i zewnętrznych)
- ocena warunków pracy maszynistów (hałas, oświetlenie wewnętrzne, ergonomia, ogrzewanie, schładzanie, indukcja pola magnetycznego)
- 6-miesięczne próby eksploatacyjne po uzyskaniu terminowego świadectwa dopuszczenia do eksploatacji pojazdu kolejowego.

Największe korzyści z modernizacji zostaną osiągnięte po wdrożeniu do eksploatacji większej liczby zmodernizowanych lokomotyw. Ponadto ciekawym byłoby porównanie eksploatacyjne wszystkich zmodernizowanych lokomotyw typu 6Dg, 6Di, 6Dk (serii SM42) w porównywalnych warunkach pracy. Z analizy rynku spalinowych lokomotyw eksploatowanych w Polsce do modernizacji nadawałyby się jeszcze lokomotywy serii SM30, SM31 i typu 401Da, których ilość przyniosłaby oczekiwane efekty ekonomiczne.

## 5. Literatura.

- [1] Marciniak Z. + zespół; *Założenia do projektu technicznego zmodernizowanej spalinowej lokomotywy serii SM42. Opracowanie 6Di (SM42) 0005-2, IPS TABOR Poznań, 2009*
- [2] Marciniak Z.; *Projekty modernizacyjne spalinowych lokomotyw liniowych i manewrowych wykonanych w Instytucie Pojazdów Szynowych, Logistyka, 2010, nr 4.*
- [3] Marciniak Z.; *Zmodernizowane w ostatnich latach lokomotywy elektryczne i spalinowe w Polsce. Technika Transportu Szynowego, 2011, nr 4.*
- [4] *Dokumentacja konstrukcyjna zmodernizowanej lokomotywy spalinowej typu 6Di. Opracowanie IPS TABOR Poznań, 2010/2011*

## Przyczyny pęknięć osi napędnych oraz tocznych pojazdów w eksploatacji

*W artykule przedstawiono przyczyny pęknięć osi pojazdów trakcyjnych oraz tocznych w eksploatacji. Artykuł został opracowany w ramach projektu badawczo-rozwojowego nr R 10 004806/2009 pt. „Mikroprocesorowy system diagnostyczny głównych systemów trakcyjnego pojazdu szynowego uwzględniający ocenę bieżącą i prognozowanie stanów”, finansowanego z budżetu Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego.*

### 1. WSTĘP

Oś zestawu kołowego należy do jednych z najbardziej obciążonych elementów pojazdu szynowego [1,3÷8], dlatego też tak poważne znaczenie ma prawidłowe utrzymanie zestawu kołowego w procesie eksploatacji. Drugim czynnikiem decydującym o niezawodności osi zestawu kołowego jest przeprowadzenie prawidłowych kontroli diagnostycznych, polegających na stosowaniu badań nieniszczących przez wykwalifikowany i certyfikowany personel. Do podstawowych badań diagnostycznych, które należy stosować dla osi zestawów kołowych należą badania ultradźwiękowe oraz badania magnetoskopowe. Badania te powinny być wykonywane wg instrukcji opracowanych przez producenta osi i zatwierdzonych przez użytkownika pojazdu. Pewnym postępowaniem konstrukcyjnym w zakresie dostępności poszczególnych obszarów osi do badań ultradźwiękowych jest stosowanie osi drażonych, w wyniku czego można przeprowadzić badania szczegółowe, nawet podczas eksploatacji po odkręceniu pokryw maźniczych. Osie drażone są bardziej pracochłonne w wykonaniu, a naprężenia dopuszczalne dla przekrojów osi drażonych są mniejsze aniżeli w przypadku osi pełnych. W przypadku osi pełnych można wykonać w zależności od rodzaju naprawy czy przeglądu, a zatem dostępności poszczególnych fragmentów osi następujące rodzaje badań ultradźwiękowych tzn.:

- ⇒ badania uproszczone
- ⇒ badania częściowo uproszczone
- ⇒ badania szczegółowe.

Aby oś zestawu kołowego była niezawodna w eksploatacji musi być spełnionych szereg warunków. I tak:

- ⇒ właściwe zaprojektowanie osi zgodnie z normą PN-EN 13103:2011+A1 [12] (pojazdy toczne oraz PN-EN 13104+A1 [13] (pojazdy trakcyjne)
- ⇒ właściwe wykonanie osi zgodnie z wytycznymi PN-EN 13261:2011+A1[15]

- ⇒ prawidłowe wykonanie zestawu kołowego zgodnie z wytycznymi PN-EN 13260:2011+A1 [14]
- ⇒ utrzymanie osi zgodnie z wytycznymi PN-EN 15315:2010 [19].

Jak wykazuje praktyka eksploatacyjna bezpieczeństwa osi nie można rozpatrywać w oderwaniu od stanu i utrzymania innych sąsiadujących elementów do jakich należą koła, tarcze hamulcowe łożyska wraz z korpusami maźnic, koła zębate. W przypadku spełnienia ww. wymogów można oczekiwać, że oś zestawu kołowego wykaże dużą żywotność bez potrzeby jej wymiany na nową.

### 2. PRZYCZYNY PĘKNIEĆ OSI TOCZNYCH ORAZ NAPĘDNYCH

#### 2.1. Uwagi ogólne

Przyczyny pęknięć osi tocznych oraz napędnych, które pojawiają się z eksploatacji komercyjnej wynikają z następujących czynników:

- ⇒ obecności wad wewnętrznych w strukturze wewnętrznej osi oraz wad zewnętrznych na powierzchni osi
- ⇒ braku właściwego zabezpieczenia korozyjnego, w wyniku czego poszczególne powierzchnie osi są narażone na działanie agresywnych tlenków SO,SO<sub>2</sub>, CO oraz CO<sub>2</sub> oraz innych czynników chemicznych, wywołujących korozję
- ⇒ braku odpowiedniej chropowatości osi w poszczególnych strefach osi
- ⇒ zatarcie łożyska (łożysk)
- ⇒ wykonywania niedopuszczalnych operacji cieplnych, przeprowadzonych w strukturze osi w celach naprawczych np. napawanie
- ⇒ uderzeniami mechanicznymi podczas napraw lub przeglądów okresowych, powstałymi w sposób niezamierzony skutek niewłaściwej obsługi zestawu kołowego

- ⇒ niewłaściwie przeprowadzonym procesem rolowania powierzchniowego, w wyniku którego ukrywa się wady powierzchniowe w osi
- ⇒ niewłaściwie przeprowadzonym procesem technologicznym wytwarzania osi, w wyniku którego powstają naprężenia rozciągające na powierzchni osi o wartościach znacznie przekraczających wartości dopuszczalne, wymienione w p. PN-EN 13261+A1:2011 [15]
- ⇒ nadzwyczajne obciążenia osi, znaczenie przekraczające te które są wymienione w PN-EN 13103+A1:2011 [12] oraz PN-EN 13104+A1:2011 [13], pojawiające się cyklicznie.

Traktując ogólnie oś zestawu kołowego, przyczyny pęknięć zmęczeniowych mogą pojawić się:

- na etapie wytwarzania (niewłaściwie przeprowadzony proces kucia, obróbki cieplnej, obróbki mechanicznej oraz rolowania powierzchniowego lub innych zabiegów wzmacniających)
- podczas niewłaściwej eksploatacji
- podczas napraw i przeglądów pojazdów szynowych, podczas których może być dokonana niewłaściwa kwalifikacja osi do dalszej eksploatacji komercyjnej.

Pęknięcia zmęczeniowe pojawiają się w różnym wieku osi, co oznaczałoby że wiek osi nie ma wpływu na bezpieczną eksploatację, o ile jest ona prawidłowo utrzymana. Pozytywny wynik badań stanowiskowych przeprowadzonych na próbkach osi w zakresie do  $10^7$  cykli obciążeń nie gwarantują jeszcze, że pęknięcia zmęczeniowe nie wystąpią w eksploatacji. Jak wykazano we wcześniejszych opracowaniach w pojazdach trakcyjnych osie zestawów kołowych posiadają bardzo duże przebiegi i pracują w zakresie giga-cyklowym obciążeń zmęczeniowych tzn.  $2 \times 10^9$  cykli obciążeń zmęczeniowych. Ilość cykli obciążeń w zależności od przebiegu kilometrowego pojazdu z kołami o średnicach  $\phi 920$  mm oraz  $\phi 1000$  mm jest przedstawiona w tabeli 1. Niniejsze zestawienie zostało wykonane w oparciu o założenie, że pełny cykl zmęczeniowy odpowiada jednemu obrotowi koła, natomiast obrót koła odpowiada drodze pojazdu odpowiadającej pełnemu obwodowi koła, liczonemu na bazie średnicy tocznej koła. Zdecydowana większość uszkodzeń w trakcie eksploatacji ma charakter przełomów zmęczeniowych.

**Przełomy zmęczeniowe pojawiają się w różnych sektorach osi w różnym wieku osi zestawu kołowego.** Spostrzeżenie to, oparte na faktach zebranych z eksploatacji komercyjnej jest kluczowe do wyciągania następujących wniosków. Wychodząc z założenia, że pomimo odpowiednio wysokiej granicy zmęczenia (wynoszącej dla pełnej osi zestawu kołowego EAIN – 200MPa) i zapewnieniu współczynników bezpieczeństwa, wymaganych przez PN-EN 13103+A1:2011 [12] oraz PN-EN 13104:2011+A1 [13] nie można rezygnować z dodatkowych zabiegów technologicznych,

zwiększających wytrzymałość zmęczeniową, do których można zaliczyć między innymi rolowanie powierzchni (wałczkowanie). Przekonania o braku odpowiedniego oprzyrządowania nie są do końca przekonujące, zwłaszcza że maszyny do rolowania osi można nabyć w firmie Hegenscheidt- MFD GmbH & Co.KG w Erkelenz. Istotną cechą innowacyjną nowej maszyny jest pełna automatyka procesu w wyniku sterowania procesem rolowania za pośrednictwem komputera. Maszyna do automatycznego wałczkowania osi zestawów kołowych jest przedstawiona na fotografii, zamieszczonej na rys.1.



Rys.1. Maszyna do automatycznego wałczkowania osi zestawów kołowych firmy Hegenscheidt- MFD GmbH & Co.KG w Erkelenz wg [1]

Urządzenie jest maszyną wyposażoną w dwa niezależne suporty, które posiadają trzy pary rolek dogniających oraz wygładzających.

Oczywiście możliwe jest stosowanie innych zabiegów technologicznych, zwiększających wytrzymałość zmęczeniową, które są wymienione w opracowaniu [5]. Ww. metoda opisana w [1] potwierdza słuszność wałczkowania, której metodyka jest przedstawiona w instrukcji OW-1166/1 [33] a jej skuteczność potwierdzona wytrzymałościowymi badaniami stanowiskowymi przeprowadzonymi w IPS „Tabor” [8]. Dodatkowe czynniki technologiczne, gwarantujące większą granicę zmęczenia dla materiału osi, a tym samym większe naprężenia dopuszczalne, zapewniają:

- większą żywotność osi zestawu kołowego
- większą odporność osi na nadzwyczajne czynniki pojawiające się w eksploatacji, jak np. nadzwyczajne obciążenia o charakterze udarowym, lub obciążenia zmęczeniowe o większej amplitudzie pojawiające się okresowo
- zachowanie geometrii osi w stanie wyjściowym, osiągniętej u producenta przez większość lub cały okres eksploatacji
- tworzenie pewnego zapasu bezpieczeństwa, związanego z nieprawidłową kwalifikacją osi podczas przeglądów, napraw okresowych oraz głównych.

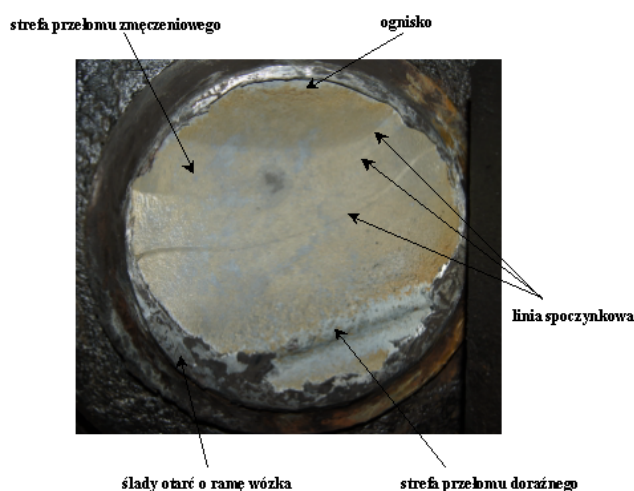
Skuteczność czynników technologicznych przed wprowadzeniem osi do eksploatacji komercyjnej

powinna być potwierdzona badaniami stanowiskowymi na próbkach w skali 1:1 przez certyfikowaną jednostkę badawczą. Bezpieczeństwo osi zestawu kołowego w zakresie wytrzymałości zmęczeniowej zależy nie tylko od czynników ww. wymienionych, ale również od prawidłowego montażu oraz stanu technicznego elementów montowanych na osi do jakich należą:

- koła monoblokowe lub koła obręczowane
- tarcze hamulcowe
- koła zębate napędu
- maźnice wraz z łożyskami.

## 2.1. Analiza przełomu zmęczeniowego

Jak wykazuje praktyka eksploatacyjna osie pękają podczas eksploatacji w różnych przekrojach, co świadczyłoby raczej o braku jednolitej przyczyny uszkodzeń osi w eksploatacji. Oś nie jest przecież belką o równomiernej wytrzymałości. Pęknięcia najczęściej mają charakter zmęczeniowy. Przykład takiego przełomu zmęczeniowego jest przedstawiony na fotografii, zamieszczonej na rys.1. Pęknięcie to wystąpiło na przedpiałcu osi, która została wyprodukowana 25 lat temu.



Rys.2. Przykładowy przełom zmęczeniowy w osi zestawu kołowego z czopem 120×179 mm

Pozostałe wymiary osi zgodne z normą PN-92/K-91048 [24] oraz z kartą UIC 510-1 [26]. Jak widać z fotografii na rys.2. przekrój zmęczeniowy dzieli się na dwie strefy. Pierwsza strefa charakteryzuje się gładką powierzchnią, natomiast druga ma charakter złomu doraźnego. W podanym przykładzie przełomu zmęczeniowego zdecydowanie większy udział zajmuje przekrój o powierzchni gładkiej o charakterze drobnoziarnistym. Powierzchnia ta jest tym bardziej gładka im niższe działały naprężenia zmęczeniowe a więc im dłuższy był czas rozwijania pęknięcia. Gładkość powierzchni jest spowodowana wzajemnym tarcieniem (kontaktowaniem się) powierzchni lub z udziałem wyrwanych cząstek materiału. W strefie zmęczeniowej

daje się zauważyć ślady przesuwania się czoła pęknięcia pod postacią mniej lub bardziej wyraźnie zaznaczonych linii. Linie te, których powstanie nie wydaje się być dotychczas dostatecznie wyjaśnione, spotyka się pod nazwą linii zmęczeniowych, spoczynkowych, umocnienia, strefowych lub warstwowych (niem. Rastringen, Bruchlinien, ang. lines of arrest, beach markings).

Powstanie tych linii przypisywano:

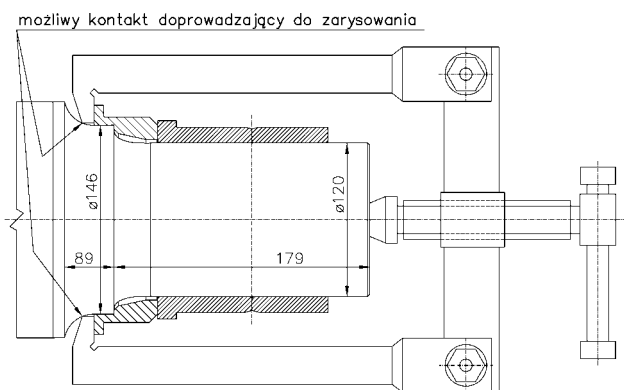
- odkształceniom plastycznym występującym na czole pęknięcia, wynikającym z krótkotrwałych przeciążeń
- zmianie kierunku obciążenia
- zmianie wartości obciążenia
- pokonaniu obszarów o różnych własnościach
- przerwom w obciążeniu.

Linie zmęczeniowe są definiowane jako makroskopowe symptomy złomu zmęczeniowego. Można postawić hipotezę, że linie zmęczeniowe są wywoływane najprawdopodobniej zatrzymaniem lub zmniejszeniem rozwoju pęknięcia z różnych przyczyn zewnętrznych i wewnętrznych. W liniach mogą znaleźć swoje odbicie te wartości amplitudy naprężenia które nie przyczyniają się do chwilowego wzrostu pęknięcia po okresach działania wyższych. Można w tym przypadku postawić tezę o wzroście umocnienia w miejscach linii. Brak linii zmęczeniowych może świadczyć o ustalonej i ciągłej pracy elementów przy niezmiennym amplitudzie. Regularny układ linii sygnalizuje o regularnych, okresowo zmiennych warunkach obciążenia. Nieregularne odstępy między liniami mogą być spowodowane różnie powtarzającymi się zmianami obciążenia w czasie pracy układu. Coraz silniejsze osłabienie przez postępujące pęknięcie prowadzi na ogół gwałtownej „dekohezji”. Tę strefę zniszczoną, końcową część przełomu nazywa się złomem lub strefą reszkową (final rupture surface, Restbruchfläche). Strefa ta podobna jest do złomu wywołanego jednorazowym przetrwaniem, co wcale nie oznacza, że nastąpiło ono w czasie jednego cyklu obciążenia. Ze stosunku powierzchni zmęczeniowej do reszkowej można wnioskować orientacyjnie o współczynniku bezpieczeństwa. Im stosunek jest mniejszy tym, tym niższy wybrano współczynnik bezpieczeństwa i tym większe było przeciążenie.

Podany wyżej przykład pęknięcia osi zestawu kołowego jest z pewnością wynikiem splotu kilku niekorzystnych czynników, które pojawiły się w eksploatacji:

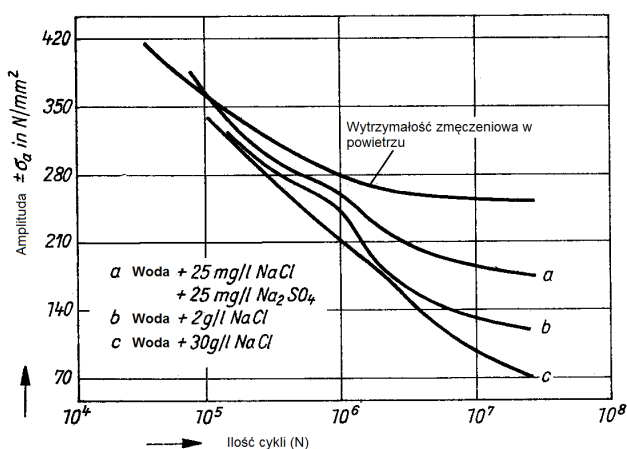
- zarysowanie powierzchniowe oraz uszkodzenia mechaniczne pojawiające się w trakcie napraw i przeglądów okresowych, spowodowane przypadkowymi (niezamierzonymi) uderzeniami, które w pewnym momencie eksploatacji przerodziło się w pęknięcie zmęczeniowe; przykład takiego zarysowania powierzchni

spowodowanego przypadkowym uszkodzeniem podczas użycia przyrządu mechanicznego do ściągania pierścieni łożysk oraz pierścienia oporowego. Przykład taki jest przedstawiony na rys.3. W związku z powyższym zaleca się stosowanie urządzenia indukcyjnego do ściągania pierścieni wewnętrznych łożysk.



Rys.4. Mechaniczny ściągacz do łożysk tocznych i potencjalna możliwość uszkodzenia podpięcia osi

- korozja atmosferyczna, wywołana takimi czynnikami jak klimat wilgotny, klimat morski, atmosfera przemysłowa, woda, roztwory soli; jak okazuje się z praktyki tlen atmosferyczny zmniejsza wytrzymałość zmęczeniową, dlatego też doświadczenia badawcze przeprowadzone w próżni wykazały większą wytrzymałość zmęczeniową, aniżeli niż w powietrzu atmosferycznym [8]; przykład spadku wytrzymałości zmęczeniowej w zależności od zawartości soli w powietrzu atmosferycznej jest przedstawiony na wykresie, zamieszczonym na rys.5.



Rys.5. Spadek wytrzymałości zmęczeniowej przy zginaniu obrotowym próbki ze stali o zawartości 0,42% węgla i wytrzymałości na rozciąganie  $R_m=680$  MPa w zależności od zawartości soli w wodzie [9]

- niewłaściwe zabezpieczenie antykorozyjne, niespełniające wymagań dotyczących powłok malarskich dla osi zestawów kołowych, które są przedstawione w PN-EN 13261+A1:2011 [15].
- działanie okresowo większych sił niż zakładano w metodyce obliczeń osi PN-EN 13103+A1:2011 [12]. Działanie okresowo zmiennych sił może być wywołane płaskim miejscem na kole.

Wpływ poszczególnych mediów na granicę zmęczenia dla stali C45 w stanie normalizowanym na granicę zmęczenia jest przedstawiony w tabeli 1.

Wpływ różnych mediów na wytrzymałość zmęczeniową stali C45 ( w stanie normalizowanym) na granicę zmęczenia przy obustronnym zginaniu. Tabela 1

L.p.	Medium	Granica zmęczenia [MPa]	[%]
1.	Powietrze	255	100
2.	Roztwór NaCl 0,004%	147	58
3.	Roztwór NaCl 3%	100	39
4.	Roztwór NaCl, nasączony $H_2S$	92	28
5.	Roztwór z 0,5n Cl; n $Na_2CO_3$ , 0,8 n $NaHCO_3$	200	78

## 2.2. Ukłęcia czopa osi zestawu kołowego

Omawiane pęknięcie zmęczeniowe pojawiło się na przedpięści osi, a przyczyna była ściśle związana ze stanem osi zestawu kołowego. Inny przypadek pęknięcia osi jest przedstawiony na rys.6.



Rys.6. Ukłęcony czop osi zestawu kołowego wagonu towarowego

Przypadek ten pojawia się relatywnie często wśród analizowanych wypadków uszkodzenia osi zestawu kołowego. Przypadek ten jest wynikiem złej współpracy czopa z łożyskami NJ+NJP 120×240×80 mm. Nieprawidłowa współpraca czopa z łożyskami może pojawić się w wyniku:

- braku smaru lub niewłaściwie dobranego gatunku smaru; zwraca się uwagę na fakt że smary łożyskowe powinny przejść pełną homologację wg karty UIC 814 [31]; stan techniczny uszczelnień powinien uniemożliwiać wpływ smaru oraz wnikanie zanieczyszczeń zmieniających własności smaru

- nieprawidłowego montażu łożysk, wskutek czego luzy promieniowe lub poosiowe są zbyt małe
- pęknięć zmęczeniowych elementów łożysk, jak pierścienie wewnętrzne, wałeczki lub pierścienie zewnętrzne.

Bardzo niebezpieczne jest pęknięcie pierścieni wewnętrznych, które prowadzi do ich poluzowania, a następnie zejścia maźnicy z czopa. Rysunek czopa po zejściu z niego maźnicy przedstawiono na rys.7. Maźnica, która spadła z osi, jest przedstawiona na rys.8. Przypadek ten przeanalizowano dokładnie, wspomagając się obliczeniami wytrzymałościowymi.



Rys.7. Czop osi zestawu kołowego o wymiarach 120×179 mm, z którego spadła maźnica



Rys.8. Maźnica, która spadła z czopa osi zestawu kołowego

Jeśli przyjąć, że średnica czopa osi w stanie nowym wynosi  $\varnothing 120p6$  mm ( $\varnothing 120_{+0,037}^{+0,059}$  mm) natomiast pomierzone średnice nie wskazują na zastosowanie łożysk naprawczych wówczas należy wyjść z założenia, że zmniejszone średnice na czopie osi świadczą o wytarciu materiału czopa osi przez obydwa pierścienie wewnętrzne łożysk tocznych. Ww. zjawisko można wytłumaczyć tym, że istnieje bardzo duża różnica twardości pomiędzy materiałem użytym na pierścienie łożysk. Twardość czopa osi, wykonanej z materiału P35N wg PN-84/H-84027/03 [22] w stanie normalizowanym po operacji rolowania powierzchniowego wg instrukcji OW-1166/1 [33] wynosi co najwyżej 240 HB (ok. 22,5 HRC wg PN-93/H-04357 [25]), natomiast pierścieni wewnętrznych łożysk 59±84 HRC (stal ŁH15SG wg PN-74/H-84041 [21]).

W przejściu między obydwo w wytartymi strefami znajduje się „wypływka” materiału czopa osi. Wypływka nie ma regularnej średnicy i powstała w strefie przejściowej pomiędzy mocowaniem obydwu pierścieni wewnętrznych. Niniejsze zjawisko świadczyłoby o poluzowaniu się pierścieni wewnętrznych łożysk w stosunku do czopa osi. Należy nadmienić, że wciski przy średnicy pierścienia wewnętrznego  $120_{-0,015}$  mm oraz średnicy czopa  $120_{+0,037}^{+0,059}$  mm wynoszą odpowiednio:

$$w_{\min} = 120_{+0,037} - 120 = 0,037 \text{ mm} \quad (1)$$

oraz

$$w_{\max} = 120_{-0,015}^{+0,059} - 120_{-0,015} = 0,074 \text{ mm} \quad (2)$$

Przy obliczeniach pominięto udział chropowatości czopa osi oraz powierzchni wewnętrznej pierścieni wewnętrznych na wielkość wcisku:

- wpływ wcisku; przy obliczeniach należy pamiętać, że efektywny wcisk jako różnica pomiędzy średnicami czopa oraz pierścienia wewnętrznego jest pomniejszony o udział chropowatości wg następującej zależności:

$$w' = w_{\text{NOM}} - 2\varphi \cdot (R_{z1} + R_{z2}) \quad (3)$$

gdzie:

$w'$  - wcisk rzeczywisty

$w_{\text{NOM}}$  - wcisk nominalny (różnica pomiędzy średnicą czopa osi i pierścienia wewnętrznego łożyska)

$\varphi$  - współczynnik zgniecenia nierówności, wynoszący w zakresie  $\varphi = 0,5 \div 0,6$  (przyjmowany wg literatury)

$R_{z1}, R_{z2}$  - wysokość nierówności wtlaczanych powierzchni tzn. otworu pierścienia wewnętrznego łożyska oraz czopa osi.

Stopień zgniecenia nierówności zależy od wielkości wcisku, wysokości, kształtu i gęstości rozmieszczenia nierówności, twardości i wytrzymałości elementów, obejmującego i obejmowanego. Rzeczywisty stopień zgniecenia nierówności, ustalający się po pewnym czasie użytkowania, który określa eksploatacyjna nośność połączenia, zależy od wielkości i rodzaju obciążenia działającego na połączenie oraz od liczby przeprowadzonych operacji demontażu-montażu połączenia. Rzeczywista wysokość nierówności po każdym demontażu i ponownym montażu ulega zmniejszeniu i ustala się na określonym poziomie po trzech-czterech demontażach.

Reasumując, na rzeczywistą wartość siły przy wtlaczaniu ma wpływ wiele czynników, które mają charakter stochastyczny. Należy zwrócić szczególną uwagę na to, że siła wtlaczania jest wprost proporcjonalna do dwóch czynników tzn. nacisku powierzchniowego (wcisku) oraz współczynnika tarcia. Współczynnik



tarcia z kolei maleje ze wzrostem nacisku powierzchniowego.

Zakładając, że pierścienie wewnętrzne łożysk były montowane przez wtlaczanie na zimno, naciski powierzchniowe pomiędzy czopem osi oraz pierścieniem wewnętrznym wyznaczono ze wzoru:

$$p = \frac{W}{A \cdot l \cdot d_0} \quad (4)$$

gdzie:

w - wcisk jako różnica średnic czopa osi zestawu kołowego i pierścieni wewnętrznego łożyska  
A - współczynnik  
d<sub>0</sub> - średnica czopa osi zestawu kołowego.

Współczynnik A można wyznaczyć ze wzoru:

$$A = \frac{1}{C_0} + \frac{1}{C_p} \quad (5)$$

oraz:

$$C_0 = \frac{E \cdot l}{1 - \nu} \quad (6)$$

$$C_p = \frac{El}{\frac{d_p^2 + d_0^2}{d_p^2 - d_0^2} + \nu} \quad (7)$$

gdzie:

E - moduł Younga (moduł sprężystości stali w kierunku wzdluznym)

ν - współczynnik Poissona

d<sub>p</sub> - średnica zewnętrzna pierścienia wewnętrznego łożyska.

Przyjmując na podstawie dokumentacji konstrukcyjnej d<sub>p</sub>=150 mm oraz d<sub>0</sub>=120 mm otrzymuje się:

$$\frac{d_p^2 + d_0^2}{d_p^2 - d_0^2} = \frac{0,150^2 + 0,120^2}{0,150^2 - 0,120^2} = 4,5555 \quad (8)$$

Podstawiając E=2,06·10<sup>11</sup> N/mm<sup>2</sup> oraz l=0,08+0,064=0,144 m i ν=0,3 do wzoru (6) otrzymuje się:

$$C_0 = \frac{2,06 \cdot 10^{11} \cdot 0,144}{1 - 0,3} = 4,2377 \cdot 10^{10} \text{ N/m} \quad (9)$$

Podstawiając E=2,06·10<sup>11</sup> N/mm<sup>2</sup>, l=0,08+0,064=0,144 m, ν=0,3 oraz wartość współczynnika 4,5555 do wzoru (7) otrzymuje się:

$$C_p = \frac{2,06 \cdot 10^{11} \cdot 0,144}{4,5555 + 0,3} = 6,1093 \cdot 10^9 \text{ N/m} \quad (10)$$

Wartość współczynnika „A” wynosi:

$$A = \frac{1}{4,2377 \cdot 10^{10}} + \frac{1}{0,61093 \cdot 10^{10}} = 1,8728 \cdot 10^{-10} \text{ m/N} \quad (11)$$

Wartość minimalnych nacisków powierzchniowych p<sub>MIN</sub> na powierzchni osadczą czopa wynosi:

$$p_{\text{MIN}} = \frac{0,037 \cdot 10^{-3}}{1,8728 \cdot 0,144 \cdot 0,120} \cdot 10^{10} = 11,43 \text{ MPa} \quad (12)$$

Wartość maksymalnych nacisków powierzchniowych p<sub>MAX</sub> na powierzchni osadczą czopa wynosi:

$$p_{\text{MAX}} = \frac{0,074 \cdot 10^{-3}}{1,8728 \cdot 0,144 \cdot 0,120} \cdot 10^{10} = 22,86 \text{ MPa} \quad (13)$$

Obliczeniowe siły wtlaczania można wyznaczyć ze wzoru:

$$F = \mu \cdot \pi \cdot d_0 \cdot l \cdot p \quad (14)$$

gdzie:

μ - współczynnik tarcia

d<sub>0</sub> - średnica osadzenia

l - długość połączenia (obydwu pierścieni)

p - nacisk powierzchniowy.

Po wstawieniu μ=0,08 (min. współczynnik tarcia przy wtlaczaniu), d<sub>0</sub>=0,120 m, l=0,144 m, p<sub>MIN</sub>=11,43 MPa do wzoru (14) otrzymuje się:

$$F_1 = 0,08 \cdot \pi \cdot 144 \cdot 120 \cdot 11,43 = 49639 \text{ N} = 49 \text{ kN} \quad (15)$$

Po wstawieniu μ=0,12 (max. współczynnik tarcia przy wtlaczaniu), d<sub>0</sub>=0,120 m, l=0,144 m, p<sub>MIN</sub>=11,43 MPa do wzoru (14) otrzymuje się:

$$F_2 = 0,12 \cdot \pi \cdot 144 \cdot 120 \cdot 11,43 = 74459 \text{ N} = 74 \text{ kN} \quad (16)$$

Po wstawieniu μ=0,08 (min. współczynnik tarcia przy wtlaczaniu), d<sub>0</sub>=0,120 m, l=0,144 m, p<sub>MAX</sub>=22,86 MPa do wzoru (14) otrzymuje się:

$$F_3 = 0,08 \cdot \pi \cdot 144 \cdot 120 \cdot 22,86 = 99279 \text{ N} = 99 \text{ kN} \quad (17)$$

Po wstawieniu μ=0,12 (max. współczynnik tarcia przy wtlaczaniu), d<sub>0</sub>=0,120 m, l=0,144 m, p<sub>MAX</sub>=22,86 MPa do wzoru (14) otrzymuje się:

$$F_4 = 0,12 \cdot \pi \cdot 144 \cdot 120 \cdot 22,86 \text{ MPa} = 148919 \text{ N} = 148 \text{ kN} \quad (18)$$

Po wstawieniu μ<sub>sr</sub>=0,10 (średni współczynnik tarcia przy wtlaczaniu), d<sub>0</sub>=0,120 m, l=0,144 m, p<sub>MIN</sub>=11,43 MPa do wzoru (14) otrzymuje się:

$$F_5 = 0,10 \cdot \pi \cdot 144 \cdot 120 \cdot 11,43 = 62049 \text{ N} = 62 \text{ kN} \quad (19)$$

Po wstawieniu μ<sub>sr</sub>=0,10 (średni współczynnik tarcia przy wtlaczaniu), d<sub>0</sub>=0,120 m, l=0,144 m, p<sub>MAX</sub>=22,86 MPa do wzoru (14) otrzymuje się:

$$F_6 = 0,10 \cdot \pi \cdot 144 \cdot 120 \cdot 22,86 = 124099 \text{ N} = 124 \text{ kN} \quad (20)$$

Zestawienie sił wtlaczania dla obydwu pierścieni wewnętrznych łożyska jest przedstawione w tabeli 2.

Moment obrotowy jaki jest w stanie przenieść połączenie wtlaczane pierścieni wewnętrznych łożysk można wyznaczyć ze wzoru:

$$M_{\text{Op}} = 0,5 \cdot F \cdot d_0 \quad (21)$$

Zestawienie momentów przenoszonych przez połączenia wtlaczane pierścieni wewnętrznych łożysk jest przedstawione w tabeli 3.

Zestawienie sił wtlaczania dla pierścieni wewnętrznych łożysk NJ+NJP w zależności od współczynnika tarcia i od wartości nacisków powierzchniowych Tabela 2

L.p.	Wartość współczynnika tarcia [-]	Wartość nacisków powierzchniowych [MPa]	Wartość sił wtlaczania [kN]	Udział siły wtlaczania dla łożyska NJP	Udział siły wtlaczania dla łożyska NJ
1.	0,08	11,43	49	21,77	27,22
2.	0,12	22,86	74	32,88	41,11
3.	0,08	11,43	99	44	55
4.	0,12	22,86	148	65,77	82,22
5.	0,10	11,43	62	27,55	34,44
6.	0,10	22,86	124	55,11	68,89

Zestawienie momentów sił wtlaczania dla układu pierścieni wewnętrzny-czop zestawu kołowego w zależności od współczynnika tarcia i od wartości nacisków powierzchniowych na powierzchni osadzej Tabela 3

L.p.	Wartość współczynnika tarcia [-]	Wartość sił wtlaczania [kN]	Udział siły wtlaczania dla łożyska NJP	Udział siły wtlaczania dla łożyska NJ	Wartość momentu obrotowego, który jest w stanie przenieść pierścien wewnętrzny łożysk NJ+NJP [kNm]	Wartość momentu obrotowego, który jest w stanie przenieść pierścien łożyska NJP [kNm]	Wartość momentu obrotowego, który jest w stanie przenieść pierścien łożyska NJ [kNm]
1.	0,08	49	21,77	27,22	3,67	1,63	2,04
2.	0,12	74	32,88	41,11	5,55	2,46	3,08
3.	0,08	99	44	55	7,42	3,3	4,12
4.	0,12	148	65,77	82,22	11,1	4,93	6,16
5.	0,10	62	27,55	34,44	4,65	2,06	2,58
6.	0,10	124	55,11	68,89	9,3	4,13	5,16

W przypadku poluzowania pierścieni wewnętrznych łożysk NJ+NJP 120×240×80 mm można wnioskować, że łożysko nie mogło się obracać. Wówczas poluzowanie to wynikało z oddziaływania momentu obrotowego, jaki przenosi zestaw kołowy. Moment tarcia jaki przenosi zestaw kołowy w stanie ładownym wynosi odpowiednio:

$$M_K = 0,5\mu \cdot 2Q_0 \cdot 0,5D_0 \quad (22)$$

gdzie:

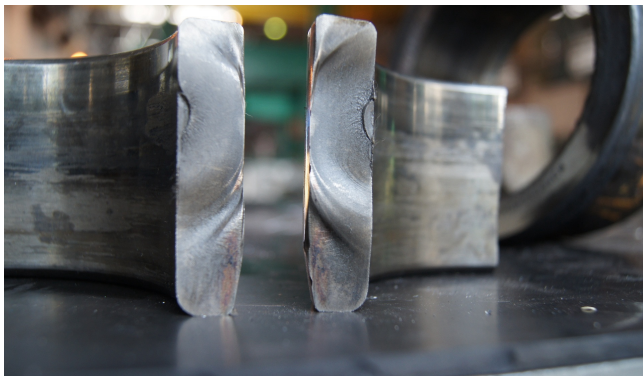
- $\mu$  - współczynnik tarcia pomiędzy kołem a szyną, wynoszący 0,35;
- $Q_0$  - statyczny nacisk pionowy jednego koła na szynę;
- $2Q_0$  - statyczny nacisk pionowy zestawów kołowych na szynę,  $2Q_0=200$  kN w stanie maksymalnie załadowanym (masa brutto wagonu 80 000 kg)
- $D_0$  - średnica toczna zestawu kołowego; do obliczeń przyjęto średnią wartość 0,920 m

Po wstawieniu danych liczbowych do wzoru (22) tzn.  $\mu=0,35$ ,  $2Q_0=200$  kN oraz  $D=0,920$  otrzymuje się:

$$M_K = 0,5 \cdot 0,36 \cdot 200 \cdot 0,920 = 33,12 \text{ Nm} \quad (23)$$

Jak widać z wykonanych obliczeń moment  $M_K$  (w przypadku jednego koła stanowi połowę ww. wartości) jest znacznie większy od wyliczonych wartości w tabeli 3. **W ten sposób przy zablokowaniu zdolności obrotowej łożyska musiało dojść do poluzowania pierścieni wewnętrznych NJ+NJP.** Zjawisko poluzowania pierścieni wewnętrznych wystąpi nawet wtedy jeśli uwzględnić, że momenty obrotowe sił tarcia są większe o 20÷30% z tytułu tego, że współczynnik tarcia przy stłaczaniu jest większy niż przy wtlaczaniu. Ww. zjawisko tłumaczy się tym, że statyczny współczynnik tarcia (przy stłaczaniu)  $\mu_{STAT}$  jest większy niż współczynnik dynamiczny  $\mu_{DYN}$  (przy wtlaczaniu). Ww. zjawisko wystąpi również wtedy, gdy pierścienie wewnętrzne będą osadzone na czopie osi za pomocą połączenia skurczowego (podgrzewanie pierścieni wewnętrznych łożysk). Należy pamiętać, że moment

obrotowy  $M_K$  (moment tarcia) został wyliczony dla sił statycznych nacisków kół, odpowiadających wagonowi w stanie ładownym. W rzeczywistości może przyjmować jeszcze większe wartości z uwagi na dodatkowy udział dynamiczny w naciskach kół. Po poluzowaniu pierścieni wewnętrznych doszło do pęknięcia pierścienia wewnętrznego, co przedstawia fotografia, zamieszczona na rys.9.

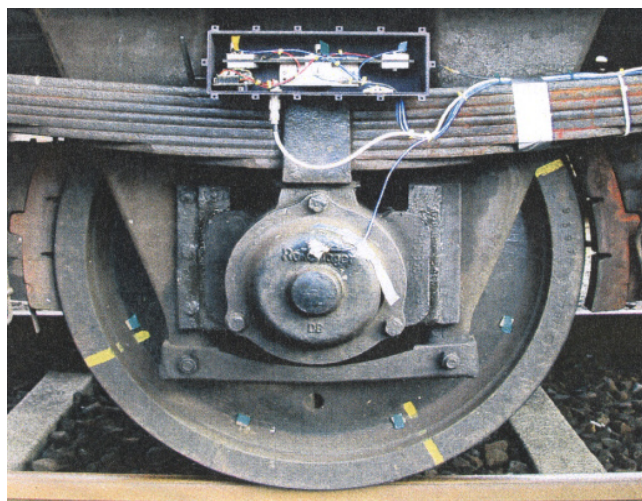


Rys.9. Pęknięcie pierścienia wewnętrznego łożyska osiowego

Z przedstawionej analizy obliczeniowej wynika, że bezpieczeństwo eksploatacyjne osi jest uzależnione od prawidłowego montażu oraz klasyfikacji łożysk do dalszej eksploatacji komercyjnej. Częste przypadki ukłęcia osi zestawu kołowego wskazują raczej na nie tyle złą jakość smaru, choć i tego nie można wykluczyć w badanych przypadkach, ale raczej na problematyczne używanie łożysk staroużytecznych. Poważne wątpliwości budzi składanie łożysk z różnych elementów, gdzie są wybite różne daty produkcji. Należy pamiętać, że ocena zmęczenia poszczególnych elementów łożyska jest bardzo trudna i nie można tego robić na podstawie metody wizualnej VT. Przy kwalifikacji poszczególnych elementów wózka zakwalifikowanie łożysk zwłaszcza 35÷45 letnich jest operacją najtrudniejszą i wymagałoby nadzoru firm produkujących łożyska, a te ze zrozumiałych względów tego nie robią. Wydaje się, że konieczne jest stosowanie metod diagnostycznych dla wagonów towarowych, które z jednej strony przyczyniają się do wzrostu kosztów klejowego transportu szynowego ładunków, ale z drugiej strony gwarantują większe bezpieczeństwo eksploatacyjne.

### 3. NOWOCZESNA METODA DIAGNOSTYCZNA ZWIEKSZAJĄCA BEZPIECZEŃSTWO WAGONÓW TOWAROWYCH

Fraunhofer Institut für Betriebfestigkeit und Systemzuverlässigkeit (LBF) w Darmstadt opracował innowacyjną metodę, służącą długotrwałej kontroli zawieszek wagonów towarowych. Układ pomiarowy jest przedstawiony na rys.10.



Rys.10. Układ pomiarowo-diagnostyczny dla zawieszek wagonów towarowych, opracowany przez LFB w Darmstadt [10]

Największym problemem w wagonach towarowych jest brak energii elektrycznej, która mogłaby być zastosowana do zasilania układu pomiarowego. Z tego względu opracowano system „Energy-Harvesting”, który pozyskuje energię z pionowych ruchów układu zestawu kołowego, która z kolei jest przetwarzana przez czujniki piezoelektryczne. Na rys.10 jest przedstawiony układ sensorów, które są zamontowane w sposób sztywny na opasce resorowej. W wyniku tego zestaw kołowy oraz nawierzchnia kolejowa tworzą układ drgający o częstotliwości własnej mniejszej od 0,1 kHz. Dane pomiarowe, rejestrowane przez sensory są przekazywane do wagonu bagażowego, w którym jest umieszczony komputer dokonujący oceny transmitowanych danych pomiarowych. System pomiarowy po udanych próbach stanowiskowych został wdrożony do wykrywania przegrzanych łożysk tocznych (maźnic) w trakcie eksploatacji komercyjnej. W dalszych planach transmisję danych planuje się przeprowadzić bezprzewodowo na lokomotywę. W dalszej perspektywie jako system diagnostyczny dla niezawodnej kontroli wagonów towarowych w pociągach jest przewidziany system zabezpieczenia ruchu pociągów ETCS poziomu 3.

### 4. WNIOSKI

Z pokazanych przykładowo analiz wynika, że problematyka bezpieczeństwa osi zestawów kołowych tocznych i napędnych jest wciąż aktualna. Wymagania sformułowane w normach obliczeniowych PN-EN 13103+A1:2011 [12] i PN-EN 13104:2011 [13] są bardziej rygorystyczne aniżeli w karcie UIC 515-3 [28], analogicznie jak w normie PN-EN 13261+A1:2011 [15] w stosunku do karty UIC 811-1 [29], PN-64/H-84027 [20], PN-91/H-84027/03 [22] oraz PN-91/H-84027/03 [23]. Oś zaprojektowana zgodnie z przepisami i wykonana zgodnie z PN-EN 13261+A1:2011 [15] nie oznacza jeszcze, że

bezpieczeństwo eksploatacyjne jest zachowane. W rzeczywistości o przydatności osi do eksploatacji komercyjnej decyduje stan techniczny osi, niezależnie od jej wieku. Wyznaczona granica zmęczenia dla stali EA1N wynosząca 200 MPa dla zginania obrotowego powinna być zwiększana na drodze technologicznej, chociażby przez rolowanie (wałeczkowanie). Poglądy o szkodliwym wpływie rolowania, które pełni rolę umocnienia powierzchniowego w strefie przypowierzchniowej są kompletnie nieuzasadnione. Należy pamiętać, że na stacjonarnych stanowiskach badawczych realizuje się tylko  $10^7$  cykli zmęczeniowych, co jak potwierdza praktyka jest małą ilością w stosunku do rzeczywistych osiąganych w eksploatacji komercyjnej wynoszącej  $2 \times 10^9$  (zakres giga-cyklowy). Gwarancją osiągnięcia żywotności 40 lat (żywotność wymieniona dla całego układu biegowego wagonów towarowych w raporcie ORE/ERRI B12 /Rp.14/D. Frage B12 [34] i większej jest prawidłowe utrzymanie osi, badania diagnostyczne, przeprowadzone przez wykwalifikowany personel zgodnie w wymaganiami EN473 [10] oraz kartą UIC 960 [32] stosowanie coraz bardziej zaawansowanych systemów diagnostycznych, wykrywających w porę zagrożenie związane z pęknięciem osi lub jej uszkodzeniem. Aby to osiągnąć należy zawsze eliminować zbędne ryzyko. Każdy wypadek kolejowy lub katastrofa powinna być potraktowana jak poważne ostrzeżenie i być początkiem inwestowania w badania diagnostyczne oraz wdrażanie systemów diagnostycznych, nie mówiąc już o tym że tego rodzaju działalność powinna mieć charakter prewencyjny. Warunkiem prawidłowego funkcjonowania osi podczas eksploatacji jest również prawidłowe wykonanie kół na zgodność z nowymi normami europejskimi tzn. PN-EN 13262+A1:2011 [16], PN-EN 13715:2008 [17] oraz PN-EN 13979-1:2007 [18] oraz kartą UIC 510-5 [27] oraz prawidłowe zmontowanie zestawu kołowego zgodnie z PN-EN 13260+A1:2011 [14] lub kartą UIC 813 [30].

## 5. LITERATURA

- [1] Hochbein H.: *Erhöhte Betriebssicherheit von Radsatzwellen durch Fest- und Glattwalzen*. Eisenbahningenieur Nr. 10/2012
- [2] Kocańda S. : *Zmęczeniowe niszczenie metali*. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne. W-wa 1978.
- [3] Sobaś M.: *Diagnostyka osi zestawów kołowych układów biegowych pojazdów trakcyjnych i tocznych*. Pojazdy Szynowe nr 4/2010
- [4] Sobaś M.: *Kryteria obiektywnej oceny prognozowanych stanów osi zestawów osi zestawów kołowych pojazdów trakcyjnych*. Pojazdy Szynowe nr 1/2011.
- [5] Sobaś M.: *Zabiegi technologiczne zwiększające żywotność osi zestawów kołowych*. Pojazdy Szynowe nr 4/2011
- [6] Sobaś M.: *Przedsięwzięcia zwiększające prognozowaną żywotność osi zestawów kołowych w skali Unii Europejskiej*. Pojazdy Szynowe nr 2/2012.
- [7] Sobaś M.: *Czynniki konstrukcyjne i technologiczne wpływające na żywotność osi zestawów kołowych*. Pojazdy Szynowe nr 3/2012.
- [8] Stasiak L.: *Doświadczalna determinacja charakterystyk wytrzymałości zmęczeniowej osi zestawów kołowych pojazdów szynowych*. Rozprawy Nr 173. Poznań 1986.
- [9] Tauscher H.: *Dauerfestigkeit von Stahl und Gusseisen. 4-te neuaufbearbeitete Auflage*, Leipzig 1982.
- [10] Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit in Darmstadt: *Energieautarke Überwachung von Güterwagen*. Elektrische Bahnen Nr. 11/2012.
- [11] EN 473: *Kwalifikacja i certyfikacja personelu do badań nieniszczących*. Ogólne zasady.
- [12] PN-EN 13103+A2:2011: *Kolejnictwo. Zestawy kołowe i wózki. Osie zestawów kołowych tocznych. Zasady konstrukcji*.
- [13] PN-EN 13104+A1:2011: *Kolejnictwo. Zestawy kołowe i wózki. Osie zestawów kołowych napędnych. Zasady konstrukcji*.
- [14] PN-EN 13260+A1:2011: *Kolejnictwo. Zestawy kołowe i wózki. Zestawy kołowe. Wymagania dotyczące wyrobu*.
- [15] PN-EN 13261+A1:2011: *Kolejnictwo. Zestawy kołowe i wózki. Osie. Wymagania dotyczące wyrobu*.
- [16] PN-EN 13262+A1:2011: *Kolejnictwo. Zestawy kołowe i wózki. Koła. Wymagania dotyczące wyrobu*.
- [17] PN-EN 13715:2008: *Kolejnictwo. Zestawy kołowe i wózki. Koła. Zewnętrzne zarysy wieńców kół*.
- [18] PN-EN 13979-1:2007: *Kolejnictwo. Zestawy kołowe i wózki. Koła monoblokowe. Procedura opuszczenia. Część 1: Koła kute i walcowane*.
- [19] PN-EN 15313:2010: *Kolejnictwo. Wymagania eksploatacyjne dotyczące obsługi zestawów kołowych. Utrzymanie zestawów kołowych pojazdów w eksploatacji i wyłączonych z eksploatacji*.
- [20] PN-64/H-84027: *Stal dla kolejnictwa. Osie zestawów kołowych. Gatunki*.
- [21] PN-74/H-84041: *Stal na łożyska toczne. Osie zestawów kołowych do pojazdów szynowych. Gatunki*.
- [22] PN-84/H-84027/03: *Stal dla kolejnictwa. Osie zestawów kołowych do pojazdów szynowych. Gatunki*.
- [23] PN-91/H-84027/03: *Stal dla kolejnictwa. Osie zestawów kołowych do pojazdów szynowych. Gatunki*.
- [24] PN-92/K-91048: *Wagony towarowe. Osie zestawów kołowych*.
- [25] PN-93/H-94357: *Stal i staliwo. Tablice porównawcze twardości określonej sposobem Rockwella, Vickersa, Brinella, Shore'a i wytrzymałość na rozciąganie*.
- [26] Karta UIC 510-1: *Wagony towarowe. Układ biegowy-Normalizacja. 9-te wydanie z 1.01.1978. 14-ście zmian od 1.01.1980 do 1.01.1997*.
- [27] Karta UIC 510-5: *Dopuszczenie kół monoblokowych –zastosowany dokument dla EN 13979-1.2-gie wydanie z maja 2007 roku*.
- [28] Karta UIC 515-3: *Pojazdy kolejowe. Wózki-układy biegowe. Metoda obliczeń osi zestawów kołowych. 1-sze wydanie z 1.07.1994*
- [29] Karta UIC 811-1: *Warunki techniczne na dostawę osi zestawów kołowych dla nowobudowanych pojazdów trakcyjnych i wagonów. 4-te wydanie z 1.01.1987 (karta unieważniona 2005 rok)*

- [30] Karta UIC 813: Warunki techniczne na dostawę zestawów kołowych dla taboru trakcyjnego i wagonów. 2-gie wydanie z grudnia 2003.
- [31] Karta UIC 814: Warunki techniczne dotyczące homologacji oraz dostawy smarów przeznaczonych do smarowania maźnic tocznych pojazdów szynowych. 2-gie wydanie z 1.07.1988. errata z 1.07.1992.
- [32] Karta UIC 960: Kwalifikacja i certyfikacja personelu odpowiedzialnego za prowadzenie badań nieniszczących elementów zespołów pojazdów szynowych w procesie ich utrzymania. 2-gie wydanie z grudnia 2001.
- [33] OW-1166/1: Tymczasowe warunki techniczne na rolowanie osi zestawów kołowych oraz wagonów osobowych i towarowych. 1969.
- [34] Raport ORE/ERRI B12/Rp.14/D: Frage B12. Vereinheitlichung der Güterwagen. Standard-Drehgestell. Bericht Nr.14. Utrecht, listopad 1967.
- [35] Raport ORE/ERRI B136/Rp.11/D: Zestawy kołowe z nasadzonymi łożyskami tocznymi. Konstrukcja, utrzymanie i standaryzacja. Obliczenie osi zestawów kołowych dla wagonów towarowych i osobowych. Utrecht, kwiecień 1979.

**mgr inż. Damian Goliwąg**

Instytut Pojazdów Szynowych „TABOR”

**dr hab. inż. Tadeusz Piechowiak**

Politechnika Poznańska

## **Zastosowanie środowiska programistycznego MATLAB<sup>®</sup> do analizy pneumatycznych układów hamulcowych pojazdów szynowych**

*W artykule dokonano przeglądu możliwości wykorzystania metod symulacyjnych procesów zachodzących w pneumatycznych układach hamulcowych pojazdów szynowych.*

*Zaprezentowano przykłady modelowania aparatów pneumatycznych i możliwości wykorzystania ich w modelowaniu działania układów hamulcowych pojazdów szynowych w projektach konstrukcyjnych. W odróżnieniu od wcześniejszych działań w tej dziedzinie, przedstawione metody symulacyjne są zaimplementowane w środowisku MATLAB<sup>®</sup> co ułatwia ich wykorzystanie użytkownikom zaznajomionym z tym środowiskiem. Przedstawiono również problematykę związaną z opisem zjawisk fizycznych zachodzących w pneumatycznej części układu hamulcowego.*

*Dokonano przeglądu wbudowanych funkcji oraz dostępnych rozszerzeń programu do symulowania zachowania kompletnego układu hamulcowego. Zapropozowano rozszerzenie funkcjonalności procedur symulacji o empirycznie pozyskiwane wartości parametrów, zidentyfikowane w oparciu o badania doświadczalne rzeczywistych obiektów.*

*Wyniki symulacji opartej na wynikach badań doświadczalnych, uzyskanych dla poszczególnych aparatów, przy tak rozbudowanym układzie z jaki mamy do czynienia w kompletnych układach hamulcowych pojazdów, mogą pozwolić na znaczne obniżenie kosztów prac projektowych realizowanych w jednostek badawczo-rozwojowych.*

### **1. Wprowadzenie**

Systemy mające wpływ na bezpieczeństwo całości konstrukcji stanowią krytyczne ogniwo. Tak też jest w przypadku układów związanych z hamowaniem pojazdów.

Układ hamulca pneumatycznego, pozostający w użytkowaniu od lat siedemdziesiątych XIX w. – choć współcześnie współpracujący z układami hamulca

elektrodynamicznego i elektropneumatycznego – nadal jako jedyny gwarantuje bezpieczeństwo ruchu kolejowego, w tym ludzi.

Pneumatyczny układ hamulcowy jest układem rozległym. Sterowanie odbywa się z lokomotywy (wagonu rozrządczego) i rozciąga się na wykonawcze elementy zlokalizowane na wagonach doczepnych.

Złożoność układu i zjawiska fizyczne oraz specyficzne warunki eksploatacji urządzeń hamulcowych powodują o trudnościach w wiernym opisie ilościowym i jakościowym.

Rzeczony technik komputerowych stopniowo dostarcza użytkownikom coraz to nowszych (wydajniejszych) narzędzi. Dzięki temu wiele zagadnień technicznych, trudnych dotychczas do dokładnego opisu, daje się rozwiązać.

Jednym z takich narzędzi jest środowisko programistyczne MATLAB<sup>®</sup>. Rosnąca liczba użytkowników skutkuje zastosowaniem w najróżniejszych dziedzinach szeroko pojętej technice, ale także w biologii, czy ekonomii.

Publikowane efekty prac użytkowników skłaniają do wykorzystania środowiska MATLAB<sup>®</sup> do aplikacji pneumatycznych układów hamulcowych pojazdów szynowych.

## **2. Rozwój metod analizy pneumatycznych układów hamulcowych**

Do niedawna projektowanie odbywało się intuicyjnie lub na bazie doświadczeń poprzedników. W ubiegłym wieku zaczęto korzystać z metod analitycznych. Mimo to obliczenia były prowadzone z dużymi uproszczeniami i dotyczyły prostych układów. Rozwój maszyn cyfrowych i ich rozpowszechnienie spowodowało wykorzystywanie metod numerycznych do opisu zachowania prostych układów, każdego z osobna jak i większych układów złożonych – pojawiła się również możliwość rozwiązywania nieliniowych równań różniczkowych. Zaczęły pojawiać się prace dotyczące opisujące urządzenia pneumatyczne. Można wydzielić w nich następujące nurty [18]:

- modelowanie przepływów w przewodzie głównym; w tym modelowanie linii długich – w pracach [1, 5, 6, 8, 9] analizowano zjawiska przepływów w przewodzie głównym; początkowo rozwiązania równań przepływu gazów miały postać szeregów [3], później już stosowano dyskretyzację i wykorzystanie metod numerycznych [10, 7, 12, 25] oraz zagadnienia odgałęzień linii długich – tematyka poruszana w literaturze dotyczącej sieci gazowych rurociągów przemysłowych [2, 13]
- modelowanie pracy zaworów [14, 15]
- analiza hamowności [17]
- opis sił wzdłużnych w pociągu podczas hamowania [17]

Źródłem wiedzy również były i nadal są eksperymenty, które są prowadzone na fizycznym obiekcie w laboratoriach. Jest to bardzo droga metoda analizy procesów, dlatego dostępna dla światowych koncernów produkujących homologowane elementy kolejowych układów hamulcowych. Dysponują oni całopociągowymi stanowiskami pomiarowymi i testują własne projekty, jednak dostęp do wyników

tego typu prac jest bardzo ograniczony, publicznie niemożliwy.

Jakkolwiek zamiastką tego są spotykane stanowiska pomiarowe do badań pojedynczych elementów układu hamulcowego (cylindrów hamulcowych, przekładników ciśnienia, reduktorów, serwomechanizmów) spotykanych w zakładach i warsztatach branży kolejowej. Wykorzystywane są one podczas prób odbiorczych i do regulacji aparatury przed wysyłką do klienta.

Alternatywą do rozważań analitycznych i analityczno-eksperymentalnych, jakie dostarcza przedmiotowa literatura, są dostępne na rynku dedykowane systemy komputerowego wspomaganie projektowania, tzw. systemy CAD. W znacznej mierze oparte są one na wykorzystaniu metody elementów skończonych. Udostępniają one użytkownikowi moduły dołączane do aplikacji zasadniczej, służące do prowadzenia analizy przepływu płynów. Jednym z tego typu produktów jest moduł FlowSimulation oprogramowania SolidWorks. Przygotowany wcześniej w aplikacji zasadniczej model bryłowy rzeczywistego elementu wczytuje się do modułu przeznaczonego do symulacji i korzystając najczęściej z kreatora badań należy zdefiniować rodzaj i warunki brzegowe analizy by następnie przeprowadzić analizę przepływu.

Obok systemów komputerowego wspomaganie projektowania, użytkownik ma dostęp do środowisk programistycznych, tj. CSSL, MODELICA, MATLAB. Wówczas modelowanie układu należy wyprowadzać analitycznie.

Spotykane są również opisy rozwiązywania układu dynamicznego wykorzystując notację grafów [4].

## **3. Zagadnienia modelowania pneumatycznego układu hamulcowego**

Pneumatyczny układ hamulcowy jest układem rozległym, gdyż obejmuje cały pociąg (lokomotywa z wagonami). Sterowanie z lokomotywy przenoszony jest do wszystkich wagonów za pomocą przewodu głównego i wagonowych układów rozrządnych (przewód główny, zawór rozrządny) oraz wykonawczych (zawór rozrządny, przekładnik ciśnienia, zbiornik pomocniczy, cylinder). Siła hamowania powstała na skutek docisku par ciernych przenoszona jest przez koło na szynę.

W opisie działania bezpośrednio ma zastosowanie mechanika płynów, termodynamika i mechanika klasyczna. Charakterystyczne jest to, że przepływy odbywają się w przewodach długich, w których występują zjawiska szybko-zmienne (propagacja fali hamowania wzdłuż całego pociągu) jak również zjawiska wolno-zmienne (napełnianie sprężonym powietrzem pojemności). Szereg odgałęzień przewodu głównego, jego parametry konstrukcyjne (nominalna średnica i długość przewodu głównego, geometria jego trasy na poszczególnych członach pociągu, typy i ilość złą-

czek) oraz zjawiska cieplne nie pozostają bez wpływu na hamowność pojazdu.

Dodatkowo rozważenia wymaga zagadnienie przepływu powietrza przez dysze, proces napełniania pojemności (zbiorników, cylindrów) z uwzględnieniem wymianę ciepła.

Od modelowania układu hamulcowego oczekuje się:

- elastyczności względem przyłączania sterujących zaworów maszynisty i zaworów rozrządnych do przewodu głównego,
- uwzględniania wystąpienia nieszczelności nadzwyczajnych (niewielkie natężenia przepływu – awarie elementów aparatury pneumatycznej) i nieszczelności eksploatacyjnych (duże natężenie przepływu – upust spowodowany wdrożeniem hamowania nagłego) przewodu głównego,
- możliwości opisu odgałęzień przewodu głównego.

Podczas modelowania układu hamulcowego należy wyodrębnić szereg elementów dyskretnych: zawory rozrządne i maszynisty, zawory bezpieczeństwa, reduktory ciśnienia, przekładniki ciśnienia i modelować je jako niezależne moduły.

Przyłączanie modułów (modeli poszczególnych aparatów) do przewodu głównego całego pociągu i wymiana strumieni powietrza pomiędzy modułami, to kolejny trudność do rozpatrzenia przy modelowaniu. Wymiana strumienia powietrza modyfikuje przepływy w przewodzie głównym. Przy opisie należy uwzględnić przepływ energii, tj. pojemność cieplną ścianek, transport ciepła przez ścianki oraz opory przepływu.

### MODELOWANIE PRZEWODU GŁÓWNEGO

Przepływ powietrza w przewodzie głównym cechuje się intensywnym występowaniem zjawisk falowych z dużymi spadkami ciśnienia oraz z dużymi natężeniami przepływu.

W najprostszym modelu, z uwagi na niewielką średnicę przewodu względem jego długości, do modelowania można przyjąć średnią wielkość prędkości w przekroju i rozpatrywać przepływ przez przewód główny jako jednowymiarowy. W [24] przedstawiono takie uproszczenie. Przy pominięciu sił masowych (mała gęstość) pokazano opis równania ruchu, równania ciągłości i równania stanu.

W przewodzie głównym występuje wiele odgałęzień, które mają istotny wpływ na procesy zachodzące w tym przewodzie. Zmiany masy zmagazynowanego w nich powietrza mogą opóźnić procesy dynamiczne. Zjawisko, w sposób uproszczony, modelować można wprowadzając dodatkowe objętości poza głównym strumieniem przepływu.

Dołączane w wielu miejscach różnego typu zawory i dysze pobierają lub innymi razy dostarczają powietrze do przewodu głównego. Zmienne układu równań różniczkowych przepływu w przewodzie głównym są

ciągłe na całej jego długości. Żeby uwzględnić te punktowo wprowadzane dodatkowe strumienie masy i energii zastępuje się je całkami gęstości strumienia rozłożonego na długości z wykorzystania rachunku dystrybucji [18].

Dodatkowo należy uwzględnić zmiany temperatury powietrza oraz wymianę ciepła między gazem a ściankami przewodu i otoczeniem [21, 22, 23]

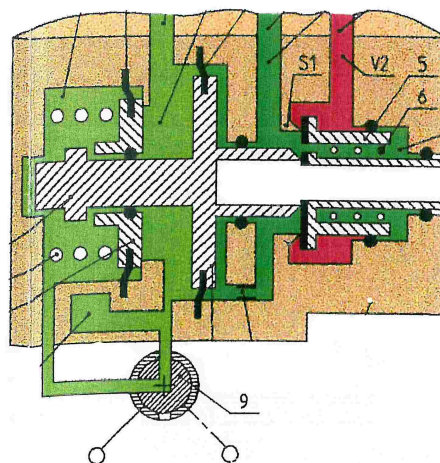
Numeryczną aplikację matematycznego modelu pokazano w [18].

### MODELOWANIE ELEMENTÓW

Wśród składowych tworzących układ hamulcowy wyróżniamy elementy pneumatyczne, mechaniczne i elektryczne. Z uwagi na niewielkie rozmiary elementów występujących w układach hamulcowych można pominąć w nich zjawiska falowe i rozważać procesy jako funkcje czasu. Wyróżniamy następujące kategorie elementów [18]:

- przepływowe – dysza izentropowa, dysza adiabatyczna, dysza uogólniona z wymianą ciepła z otoczenia, trójnik pneumatyczny
- objętościowe – pojemność izotermiczna, pojemność adiabatyczna,
- mechaniczne – membrana, sprężyna, tarcie, tłumienie, inercja
- elektryczne – ciągły sygnał sterujący, impulsowy sygnał sterujący, opóźnienie

Na rysunku 1 pokazano przekrój typowego hamulcowego aparatu pneumatycznego.



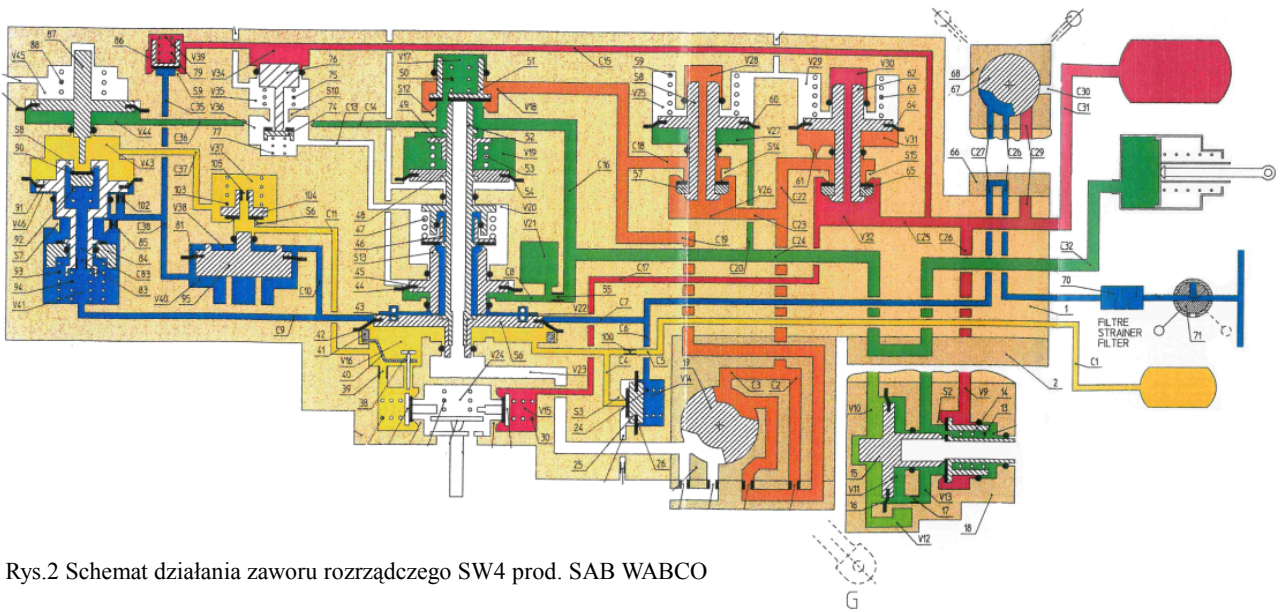
Rys. 1 Typowy hamulcowy aparat pneumatyczny

### MODELOWANIE ZAWORÓW

Różnego rodzaju zawory występujące w układzie hamulca są najczęściej dość skomplikowane. Zbudowane są z wielu pojemności połączonych ze sobą elementami dławiącymi (kanały, dysze) zawierają membrany, tłoczki, zaworki (Rysunek 2).

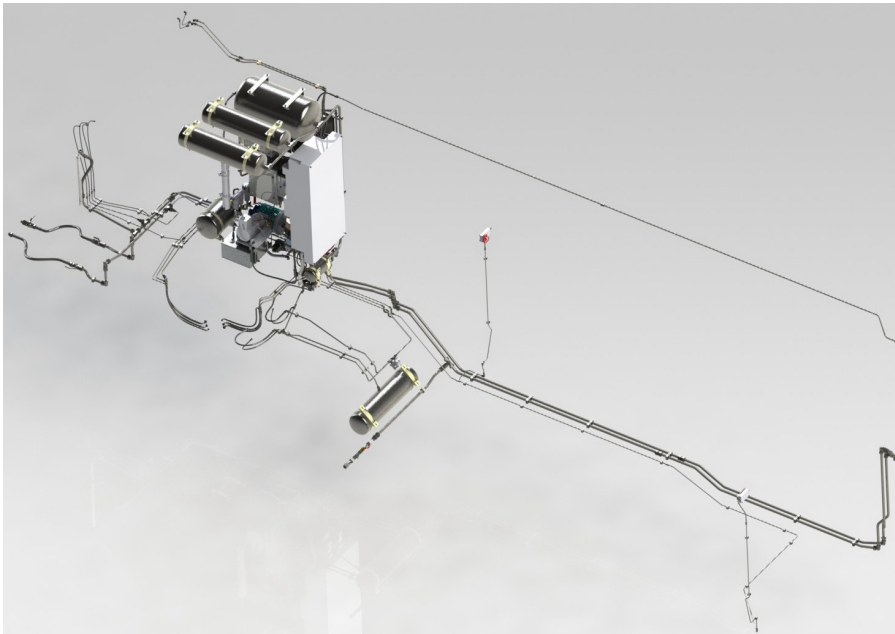
Przewód łączący konkretny aparat do przewodu głównego reprezentowane może być przez dyszę, przez którą wskutek różnicy ciśnienia przepływa strumień powietrza.

Metody modelowania pracy zaworów rozrządnych przedstawiono w [19], natomiast zaworu maszynisty w [18].



Rys.2 Schemat działania zaworu rozrządczego SW4 prod. SAB WABCO

## MODELOWANIE UKŁADU HAMULCOWEGO



Rys.3 Instalacja pneumatyczna układu hamulcowego wagonu rozrządczego ezt

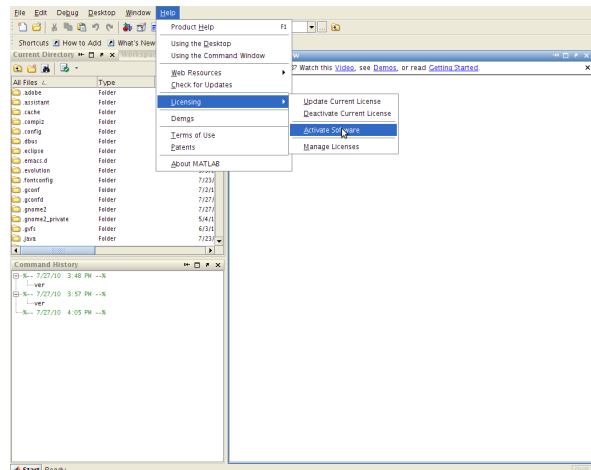
Zasadniczą część modelu instalacji stanowić ma model przewodu głównego rozszerzony o odgałęzienia wraz z dołączanymi do niego wielokrotnie zaworami (zawory rozrządcze, przyspieszacze nagłego hamowania) (Rysunek 3). W układzie mogą wystąpić nieszczelności traktowane jako pobór powietrza do atmosfery przez otwory traktowane na równi z dyszami. Przyłączane aparaty są odrębnymi członami wcześniej opracowanymi i sparametryzowanymi w różnym stopniu uproszczenia.

Na potrzeby analizy pracę układu należy opisać jako odpowiedzi układu w kolejnych chwilach czasowych, tj. jako procesy przejściowe [20].

## 4.Charakterystyka środowiska MATLAB®

MATLAB® jest językiem wysokiego poziomu, którego polecenia, operatory i funkcje wykorzystywane są do obliczeń numerycznych – odmiennie niż w systemach algebry, np. Mathematica (Rysunek 4). MATLAB® realizuje algorytmy numeryczne, operacje macierzowe, operacje na wielomianach, metody interpolacji i aproksymacji, a także transformacje Fouriera i algorytmy całkowania równań różniczkowych.

Rys. 4. Środowisko graficzne MATLAB®





Łatwy dostęp do algorytmów obliczeniowych, ponad 2500 wbudowanych funkcji i zestaw funkcji graficznych do wizualizacji wyników umożliwiają przyjazne rozwiązywanie najróżniejszych zagadnień w codziennej pracy inżyniera.

Polecenia lub wyrażenia zaleca się wpisywać w zewnętrznych plikach tekstowych tzw. M-plikach: skryptowych lub funkcyjnych.

Pliki skryptowe zawierają ciągi poleceń i wyrażen matematycznych, które działają na zmiennych dostępnych w przestrzeni roboczej. Stosuje się je do automatyzacji powtarzających się operacji (np. algorytmów obliczeniowych), przechowywania wyników obliczeń, czy wprowadzania dużych ilości danych.

Pliki funkcyjne zaś zawierają definicje funkcji własnych stworzonych przez użytkownika i komunikują się z przestrzenią roboczą poprzez zmienne globalne. M-pliki funkcyjne mogą składać się z wielu zdefiniowanych przez użytkownika funkcji, lecz pierwsza jest zawsze podstawową i powinna – dla poprawy czytelności – pokrywać się z nazwą M-pliku. Zmienne wykorzystywane zarówno w funkcji podstawowej i podfunkcjach są traktowane jako zmienne lokalne. W przypadkach korzystania z danej zmiennej w funkcji podstawowej i jej podfunkcjach zaleca się przekazanie poprzez argumenty.

MATLAB® zawiera szereg instrukcji typowych dla języków programowania: warunkowych if-else, wyboru switch-case, iteracyjnych while czy for oraz przerwania break i return.

Błędy wykonania identyfikujemy gdy prowadzą do zatrzymania obliczeń lub gdy otrzymane wyniki są niezgodne z oczekiwaniami. Tego typu błędy są często trudne do wykrycia i ich lokalizacja jest czasochłonna. Jednakże błędy syntaktyczne są wykrywane przez interpreter lub kompilator, a użytkownik jest informowany przez komunikat ostrzegawczy. Dodatkowo do dyspozycji programisty jest debugger, który służy do wykrywania błędów wykonawczych w M-plikach.

Dla zaawansowanych programistów środowisko MATLAB® dostarcza narzędzi do optymalizacji programu: są to narzędzia analizujące czasochłonność wykonywanych instrukcji, funkcje specjalne do tworzenia poleceń podczas wykonania programu, funkcje o zmiennej liczbie parametrów (wywoływania z liczbą parametrów mniejszą od wynikającej z definicji).

Do efektywnego korzystania ze środowiska MATLAB® należy stosowanie się do określonych zasad [11]:

- rezerwowanie pamięci na macierze i wykorzystanie operacji tablicowych, tj. generowanie macierzy z użyciem notacji dwukropkowej, wykorzystanie funkcji generujących macierze specjalne (zerowe, jednostkowe, itp.), stosowanie operatorów do

- wskazania kolumn i wierszy, stosowanie operacji tablicowych z użyciem operatorów do zapisu działań na elementach macierzy i tablic,
- rezygnacja z wielokrotnej realizacji poleceń, które są wykonywane przez interpreter
- tworzenie własnych M-plików skryptowych i funkcyjnych
- stosowanie komentarzy objaśniających przeznaczenie M-pliku, jego parametrów, zastosowanych algorytmów i jednostek
- używanie zrozumiałych dla przyszłego użytkownika nazw zmiennych

MATLAB® dostarcza szereg narzędzi do graficznej reprezentacji wyników, jak również funkcji matematycznych – dwu- i trój-wymiarowych. Funkcje graficzne zapewniają automatyczne skalowanie osi i pełne dostosowanie wszystkich elementów tworzących wygenerowaną grafikę: kolory, typy i grubości linii, komentarze.

Podstawowym typem danych jest tablica, przy czym elementami mogą być nie tylko liczby, ale znaki czy inne tablice. Macierz jest szczególnym przypadkiem tablicy – jest to tablica dwuwymiarowa – analogicznie jak wektor jest szczególnym przypadkiem macierzy, czy skalar wektorem. Wyróżniono następujące typy danych: macierze (dwuwymiarowe tablice) – w tym macierze pełne i rzadkie, tablice znakowe (elementami są znaki lub ciągi znaków, tzw. łańcuchy), tablice wielowymiarowe (dla elementów tego samego typu i wymiaru) i komórkowe (tablice o dowolnych wymiarach i typach), struktury (których elementami są pola, od tablic komórkowych wyróżnia je sposób odwoływania się do elementów – pól) i uchwyt funkcji (służą do przechowywania informacji o funkcjach MATLAB®, umożliwiają wykorzystanie danej funkcji jako parametru innej funkcji).

Odmienne niż w wielu środowiskach programistycznych, nie stosuje się deklarowania typu zmiennych, gdyż tworzenie zmiennych wybranego typu odbywa się poprzez przypisanie. Wyróżniono następujące typy zmiennych: wartości numeryczne, tablice wielowymiarowe, zmienne tekstowe, struktury (dostęp do pola przez nazwę), tablice wskaźnikowe (komórkowe) oraz klasy i obiekty.

Definiowanie macierzy realizowane jest na kilka sposobów. Trywialnie przez wprowadzenie listy elementów, ale także za pomocą operatorów, przez konkatencję, wczytanie z zewnętrznego pliku (binarnie lub ASCII). Poza tym istnieje szereg funkcji macierzowych specjalnie dedykowanych do edycji macierzy.

Do przechowywania zestawów tablic o jednakowych wymiarach służą tablice wielowymiarowe, które umożliwiają organizowanie uporządkowanych zestawów danych dwuwymiarowych w postaci kolejnych warstw tablicy trójwymiarowej.

W celu przechowywania tablic o różnych wymiarach wykorzystuje się tablice komórkowe. Elementami składowymi tych tablic są komórki.

Struktura zaś to tablica, której zawartość jest uporządkowana poprzez umieszczanie jej elementów składowych w polach. Struktura z operatorami i funkcjami przeznaczonymi do jej obsługi stanowi klasę, a zmienna utworzona zgodnie z opisem podanym przez klasę to obiekt. Zwykle tworzy się wiele obiektów o różnych nazwach, zgodnych z daną klasą. Strukturę tworzymy przez przypisanie wartości do pól struktury lub użycie odpowiedniej funkcji. Środowisko MATLAB® dostarcza szereg funkcji obsługujących struktury.

Opisana powyżej nomenklatura prowadzi do zagadnień efektywnej metody programowania obiektowo zorientowanego, która nie jest tu prezentowana.

Kolejnym zagadnieniem jest obsługa obiektów grafiki, która jest właśnie obiektowo zorientowana i umożliwia modyfikowanie elementów przez pobieranie i nadawanie wartości atrybutów. Każdy obiekt graficzny posiada własną strukturę, której pola zawierają informacje o atrybutach (parametrach) obiektu. Wartości pól, tj. atrybuty obiektu są ustawiane przy jego tworzeniu i określają m. in. kolor, wielkość. Samo projektowanie interfejsu graficznego nie jest trudne i wymaga znajomości kilku obiektów GUI. Dołączono nawet interaktywne narzędzie GUIDE do projektowania graficznego interfejsu dla użytkownika.

Środowisko programistyczne MATLAB® dostarcza użytkownikowi szereg metod numerycznych z zakresu rozwiązywania układów równań różniczkowych, algebry, interpolacji, czy aproksymacji. Dzięki temu możliwe jest rozwiązywanie równań różniczkowych zwyczajnych i cząstkowych, całkowanie i różniczkowanie, rozwiązywanie równań algebry liniowej, analiza funkcji, czy prowadzenie zagadnień aproksymacji i interpolacji

Biblioteki Toolbox rozszerzają funkcjonalność środowiska MATLAB® w poszczególnych dyscyplinach naukowych i praktyce inżyniera. Niejednokrotnie wyposażone są w interfejs graficzny i zawsze w pełną dokumentację.

MATLAB® może stanowić element rozproszonego systemu obliczeniowego. Większe ilości danych stanowią kłopot z wprowadzaniem ich przez klawiaturę, dlatego zaleca się przechowywanie ich na dysku w plikach binarnych bądź ASCII. Wadą o której należy wspomnieć jest utrata dokładności przy zmianie liczby z postaci binarnej na dziesiętną i odwrotnie. Standardową postacią zapisu danych liczbowych jest plik binarny – lepsze upakowanie i możliwość zapisania wielu zmiennych w jednym pliku (odmiennie w pliku ASCII tylko jedną zmienną). Jednakże gdy dane pochodzą spoza MATLAB® lub będą wykorzystane w innych

programach najprostszym sposobem jest plik ASCII. Rozwiązaniem dedykowanym do modelowania, symulacji i analizy dynamicznej zarówno układów dyskretnych jak i ciągłych jest Simulink, który jest zintegrowany z MATLAB®. Podczas pracy wyróżnia się: definiowanie modelu (schemat blokowy) i analiza modelu (przy użyciu algorytmów numerycznych). Graficzne definiowanie modeli odbywa się na bazie przeglądarki, która udostępnia szereg bloków zgrupowanych w tematycznych bibliotekach. Wykonuje się to w postaci schematu blokowego. Analiza modelu jest możliwa dzięki algorytmom numerycznym działającym na modelach graficznych. Do przygotowanego wcześniej modelu można przeprowadzić symulację, linearyzację, czy określić punkt równowagi.

## 5. Wykorzystanie środowiska MATLAB® w badaniach układów hamulcowych

Procedury symulacyjne dotyczące hamulców pojazdów szynowych zostały w znacznej części przedstawione w [18, 23]. Autorzy kierowali się zapotrzebowaniem na uniwersalne procedury w omawianej dziedzinie, jednakże nie wyczerpali zagadnienia. Są one opisane w FORTRANIE i wymagają znajomości specyficznego sposobu opisu danych wykorzystując zaproponowane metody numeryczne i sposób przedstawienia wyników. Opisanie tych procedur w środowisku MATLAB® pozwala na wykorzystanie metod dużo bardziej powszechnie stosowanych przez badaczy i skorzystanie z wiele bardziej wygodnych metod opisu modelu i obróbki wyników. Implementowanie do środowiska MATLAB® procedur opracowanych w [18] pozwala na znaczne rozszerzenie możliwości symulacyjnych o specyficzne dla układów hamulcowych (nie opisane w MATLAB®) modele. Jest ono również łatwiejsze do wykorzystania dla szerszego grona badaczy. W trakcie przedstawionej implementacji dokonuje się również rozszerzenia bazy parametrów modelowania i ich zidentyfikowanych wartości.

## 6. Podsumowanie

Przedstawione zagadnienia jest niewątpliwie z kategorii interdyscyplinarnych dziedzin inżynierii. Analiza zjawisk zachodzących w pneumatycznym układzie hamulcowy pojazdu szynowego wymaga zastosowania metod używanych w matematyce stosowanej (w szczególności metod numerycznych) i komputerowego programowania.

Do prób symulacyjnych tego typu zjawisk fizycznych konieczna jest znajomość mechaniki klasycznej, mechaniki płynów oraz termodynamiki.

Pomocnym narzędziem wydaje się być środowisko MATLAB®. Przyjazne środowisko użytkownika, otwarta architektura (rozszerzalność) i możliwość

wymiany danych z innymi programami przyczynia się do popularności środowiska MATLAB® i jednocześnie wydaje się być pomocne przy tego typu rozważaniach.

Wyniki mogą okazać się interesujące z punktu widzenia projektantów pneumatycznych układów hamulcowych i stanowić mogą walory poznawcze.

## LITERATURA

- [1] *Air brake simulation model released*, *Railway Age*, September 1993
- [2] Altman T., Boulos P.F.: *Convergence of Newton Method in Nonlinear Network Analysis*, *Math. Comput. Modelling*, 1995, Vol.21, No 4, s.35-41.
- [3] Brown F.T.: *The Transient Response of Fluid Lines*, *Journal of Basic Engineering*, December 1962, s. 547-553.
- [4] Dindorf R.: *Notacja grafów wiązań dla układów pneumatycznych*, *Pneumatyka*, 2002, 3, 34, s.13-14.
- [5] Gąsowski W., Piechowiak T.: *Model do analizy dynamiki wzdłużnej pociągu podczas hamowania.*, *Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej, seria Maszyny Robocze i Pojazdy*, 1988, nr 30, s.31-52.
- [6] Grzesikiewicz W., Kostro J.: *Modelowanie pneumatycznego układu hamulca pociągu*, in: *Materiały konferencji „Komputerowe systemy wspomagania prac w nauce, przemyśle i transporcie”*, Zakopane 1999, s.179-184.
- [7] Lakshminarayanan P.A. I in.: *A finite difference scheme for unsteady pipe flows*. *Int. J. Mech. Sci.*, Vol. 21, s.557-566
- [8] Mech A.: *Przenoszenie fali hamowania w kolejowym hamulcu pneumatycznym*, *Pojazdy Szynowe*, 1976, 2.
- [9] Murtaza M.E., Garg S.B.I.: *Parametric study of a railway air brake system*, *Journal of Rail and Rapid Transit, Proc. Instn. Mech. Engrs.*, 1990, Vol. 206, s.21-36
- [10] *Numerical Solution of Conservation Laws*, *Advances in Fluid Mechanics*, *Proc. Aachen*, 1980, Springer Verlag 1981.
- [11] Mrożek M., Mrożek Z.: *Matlab i Simulink*, Helion, Gliwice 2004
- [12] Piechowiak T.: *Metoda symulacyjnej analizy sterowania elektropneumatycznego hamulcowych układów pneumatyczno-mechanicznych*, *Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej*, 2004, nr 57, s. 183-188
- [13] Greyvenstein G.P.: *An implicit method for the analysis of transient flows in pipe networks*, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 2002, 53 s. 1127-1143.
- [14] Idelchik I.E.: *Handbook of Hydraulic Resistance*, Jaico Publishing House, Mumbai 2005.
- [15] Iwaszko J.: *Opory przepływu powietrza przez elementy pneumatyczne*, *Prace Naukowe, Mechanika*, z. 177, Politechnika Warszawska 1999.
- [16] *Opracowanie zintegrowanego środowiska obsługi programu do symulacji dynamiki pociągu na bazie opracowanego wcześniej programu SYMTRA*, CNTK, Temat 6039/21, 1996.
- [17] Piechowiak T.: *Wpływ wybranych parametrów układu hamulcowego na bezpieczeństwo jazdy pociągów towarowych*, praca doktorska, Politechnika Poznańska, Poznań 1985
- [18] Piechowiak T. „*Badania i modelowanie procesów zachodzących w pneumatycznych układach hamulcowych*”, Politechnika Poznańska, Rozprawy Nr 414, 2007
- [19] Piechowiak T.: *Metody modelowania pracy zaworów rozrządzących pojazdów szynowych*, *Pojazdy Szynowe*, 2006, nr 1, s. 37-50.
- [20] Piechowiak T.: *Metoda matematycznego modelowania układu pneumatycznego hamulca pojazdu szynowego*, *Pojazdy Szynowe*, 2005, nr 1, s. 37-40.
- [21] Piechowiak T., Kaluba M.: *Dobór parametrów konstrukcyjnych przekładnika do napełniania przewodu głównego na podstawie obliczeń gazodynamicznych oraz badań modelu przekładnika w aspekcie spełnienia wymagań podanych w karcie UIC 541-03*, Instytut Pojazdów Szynowych TABOR w Poznaniu, OR 8337, 2001 (projekt badawczy KBN nr 9T12C01018)
- [22] Piechowiak T.: *Kształtowanie optymalnej charakterystyki sterującej procesami napełniania i opróżniania przewodu głównego*, Instytut Pojazdów Szynowych TABOR w Poznaniu, OR 8432, 2001 (projekt badawczy KBN nr 9T12C01018)
- [23] Piechowiak T.: *Hamulce pojazdów szynowych*. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2012
- [24] Tuliszka E.: *Mechanika płynów*, Wyd. Politechniki Poznańskiej, Poznań 1969
- [25] Walczak J.: *Inżynierska mechanika płynów*, Wyd. Politechniki Poznańskiej, Poznań 2006.