

Badania zmodernizowanej lokomotywy spalinowej SP32

W artykule przedstawiono rodzaje przeprowadzonych badań a następnie skoncentrowano się na omówieniu niektórych z nich. Przedstawione badania i ich wyniki dotyczą spokojności biegu, drgań oddziaływujących na maszynistę, właściwości akustycznych, oceny pola magnetycznego i zabezpieczenia przeciwporażeniowego oraz własności trakcyjnych.

1. WSTĘP

Obiektem badań była zmodernizowana lokomotywa spalinowa o oznaczeniu kolejowym SP32 nr 130 przeznaczona do prowadzenia pociągów pasażerskich o masie do 250t i prędkością do 100 km/h. Jest ona wyposażona w nowy silnik spalinowy MTU typ 12V 396TC14 o mocy 1015kW oraz prądnice główną typu GST-1-2-990x31418, cztery silniki trakcyjne typu MCT542x258/6 i prądnice grzewczą typu GSTIx24-740x370-14.

Celem prób była ocena poziomu jakościowego lokomotywy po modernizacji.

2. WYKONYWANE BADANIA

Rodzaj i podstawowy zakres badań dla zmodernizowanej lokomotywy SP32 został określony w opracowaniu SP32M 0128-1 [1]. Przeprowadzono badania i opracowano raporty z następujących prób:

- wyznaczenie nacisków poszczególnych kół lokomotywy na szynę [2];
- badania drgań na stanowisku pracy maszynisty oraz wskaźnika spokojności biegu [3];
- badania właściwości akustycznych [4];
- badania zakłóceń radioelektrycznych [5];
- badania oświetlenia i mikroklimatu [6];
- badania pola magnetycznego oraz zabezpieczeń przeciwporażeniowych i przeciwpożarowych [7];
- badania własności trakcyjnych [8];
- badania hamulca [9];

W dalszej części artykułu będą omówione niektóre rodzaje badań.

3. MIEJSCE BADAŃ

Badania postojowe wykonywano na terenie ZNLS Piła lub na bocznicach stacji Piła i Kostrzyn n/Odrą. Natomiast badania w ruchu przeprowadzono podczasjazd z rozkładowymi pociągami pasażerskimi (obciążenie 223t lub 253t) na trasie Piła-Krzyż-Kostrzyn n/Odrą-Krzyż-Piła lub podczas jazdy samą lokomotywą na trasie Piła-Krzyż-Piła.

4. BADANIA

4.1. BADANIA DRGAŃ NA STANOWISKU PRACY MASZYNISTY ORAZ WSKAŹNIKA SPOKOJNOŚCI BIEGU W_z .

Badania drgań na stanowisku pracy maszynisty realizowano poprzez pomiar przyspieszenia drgań (w trzech kierunkach: X,Y,Z) występujących na fotelu maszynisty oraz na podłodze obok fotela. Na fotelu umieszczony był dysk

pomiarowy z zainstalowanymi przetwornikami przyspieszenia, na którym siedział maszynista o wadze ok. 75kg. Natomiast przetworniki mierzące przyspieszenie drgań na podłodze były montowane na płycie stalowej (70x70x5 mm), która z kolei była mocowana do podłogi. Podczas jazd z prędkościami 20÷100km/h strona lokomotywy z silnikiem spalinowym była na czołe pociągu w stosunku do kierunku jazdy. Czas pomiaru i rejestracji przyspieszenia drgań podczas jazd z daną prędkością wynosił minimum 45sek. Do pomiaru przyspieszenia drgań (z którego wyznaczono wartość wskaźnika spokojności biegu W_z) wykorzystano te same przetworniki, którymi mierzono przyspieszenia drgań (na podłodze) oddziaływujące na nogi maszynisty.

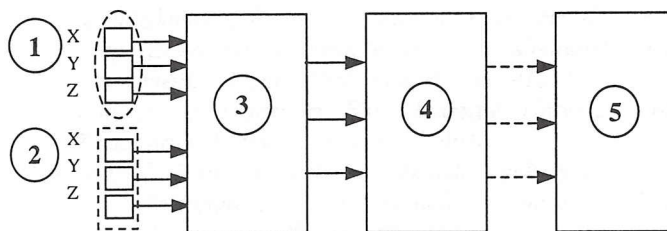
Warunki pracy lokomotywy podczas jazd z daną prędkością zestawiono w tabeli 1.

Warunki pracy lokomotywy podczas jazd.

Tabela 1

Prędkość v [km/h]	Obroty silnika spalinowego [min^{-1}]	Moc zadana [%]
20	~ 600	-
30	~1200	50
40	1000÷1500	~30
50	~1000	10÷50
60	~1000	50
70	1300÷1500	75÷100
80	1200÷1500	50÷60
90	1000÷1400	0÷90
100	1400÷1490	75÷100

Układ pomiarowy, wraz z opisem, zastosowany podczas badań przedstawiono na rys. 1.



Rys.1 Schemat blokowy układu do pomiaru i analizy przyspieszenia drgań na stanowisku pracy maszynisty w kabinie oraz do wyznaczania wartości wskaźnika spokojności biegu W_z lokomotywy.

- ① Dysk pomiarowy z przetwornikami typu EGCS-A2 ($\pm 5g$) f-my ESA (zainstalowany na fotelu maszynisty)
- ② Płytki z przetwornikami typu EGCS-A2 ($\pm 5g$) f-my ESA (zainstalowane na podłodze)
- ③ Zasilacz pomiarowy przetworników przyspieszenia typ Z 6x12V f-my IPS
- ④ Magnetofon pomiarowy typ VL2401 f-my Racal:
 - wkładki FM
 - taśma magnetyczna E240 (VHS) f-my BASF
- ⑤ Zestaw komputerowy IBM, wyposażony w:
 - program V-Soft służący do przesłania plików (danych pomiarowych) do zestawu komputerowego z częstotliwością próbkowania 1000 Hz na jeden kanał,
 - program Wz_98a do obliczania wartości RMS ważonych przyspieszenia przy użyciu filtrów cyfrowych Griffina (ERRI B153) filtrów ISO (ISO-2631); wartości RMS (UIC518) oraz wartości W_z .

Zarejestrowane podczas jazd i na postoju wartości przyspieszenia drgań na fotelu i podłodze poddano obróbce stosując program do obliczania wartości RMS przyspieszenia.

W pierwszej kolejności wyznaczono wartość średnią przyspieszenia $a_{w(\text{sr})}$:

$$a_{w(\text{sr})} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (a_{w,zm})_i^2} \quad [\text{m/s}^2] \quad (1)$$

$a_{w(\text{sr})}$ średniokwadratowa (RMS) wartość ważona przyspieszenia dla danego kierunku drgań (X,Y,Z) i danej prędkości;
 $(a_{w,zm})_i$ wartość ważona (użyto filtry Griffina) przyspieszenia drgań dla i-tego pomiaru przy danej prędkości;
 n ilość pomiarów.

Następnie wyznaczono ważoną (skorygowaną) wartość przyspieszenia drgań dla całości jazd w ciągu zmiany roboczej (8 godz).

$$a_w = \sum_{v=1}^n a_{w(\text{sr})}(v) \cdot p(v) \quad [\text{m/s}^2] \quad (2)$$

$a_{w(\text{sr})}(v)$ średniokwadratowa (RMS) wartość ważona przyspieszenia dla danego kierunku drgań (X,Y,Z)
 $p(v)$ prawdopodobieństwo jazdy z daną prędkością i mocą.

Określenie $p(v)$ oparto o dane zawarte w [10]:

- postój (obroty 1000 $^{\circ}$ /min, załączona prądnicą grzewczą) $p_0 = 0,25$
- jazda z 50% mocy i $v = 50$ km/h $p_{50} = 0,30$
- jazda z 75% mocy i $v = 80$ km/h $p_{80} = 0,15$
- jazda z 100% mocy i $v = 100$ km/h $p_{100} = 0,30$

Wyniki z badań zestawiono w tabeli 2.

Wartości przyspieszenia opracowane przy zastosowaniu filtrów ISO, których w artykule nie zamieszczono są zbliżone lub nieco mniejsze od wartości opracowanych przy użyciu filtrów Griffina (stosowanych w badaniach pojazdów szynowych [12]). Średnie ważne (skorygowane wartości) przyspieszenia drgań a_w odniesiono do granicy uciążliwości (określonej w [13] i [14]) dla 8-mio godzinnej zmiany roboczej.

Zestawienie wyników badań drgań na stanowisku pracy maszynisty.

Tabela 2

Prędkość jazdy v [km/h]	Średniokwadratowa wartość ważona $a_{w(\text{sr})}$ [m/s^2]					
	Filtry Griffina (ERRI B153)					
	Fotel			Podłoga		
	Poziom wzdł. X	Poziom poprz. Y	Pion Z	Poziom wzdł. X	Poziom poprz. Y	Pion Z
postój	0,072	0,062	0,094	0,065	0,069	0,170
20	0,119	0,079	0,163	0,079	0,118	0,457
30	0,164	0,113	0,206	0,103	0,182	0,516
40	0,202	0,098	0,258	0,098	0,211	0,606
50	0,221	0,184	0,229	0,183	0,228	0,572
60	0,260	0,149	0,238	0,153	0,258	0,613
70	0,234	0,144	0,373	0,149	0,241	0,840
80	0,277	0,233	0,367	0,238	0,286	0,505
90	0,349	0,422	0,429	0,415	0,385	0,638
100	0,377	0,366	0,477	0,361	0,411	0,786
a_w [m/s^2]	0,24	0,22	0,29	0,22	0,25	0,53

Wyznaczone wartości ważne przyspieszenia drgań a_w (tabela 2), występujące na stanowisku pracy maszynisty nie przekraczają granicy uciążliwości (tabela 3). Przy innym czasowym rozkładzie pracy lokomotywy SP32 w ciągu zmiany roboczej należy wartości ważne (skorygowane) przyspieszenia drgań a_w wyznaczyć ponownie i odnieść do granicy uciążliwości, określającej dopuszczalne wartości przyspieszenia drgań na stanowisku pracy maszynisty.

Zestawienie dopuszczalnych wartości przyspieszeń określających granice uciążliwości.

Tabela 3

Norma	Kierunek drgań	Granica uciążliwości (wartość przyspieszenia w m/s^2)
PN-90/K-11001 [13]	X,Y Z	0,40 0,55
PN-91/K-01354 [14]	X,Y Z	0,45 0,63

Wyznaczając wartości wskaźników spokojności biegu W_z (filtr „Osobowy”) lokomotywy [15,16] dla drgań w kierunku pionowym i poziomym poprzecznym korzystano z programu wymienionego na rys. 1.

Wartość wskaźnika W_z oraz odchylenie standardowe obliczano według poniższych zależności:

$$W_z(\bar{s}_r) = \frac{\sum W_z}{n} \quad (3)$$

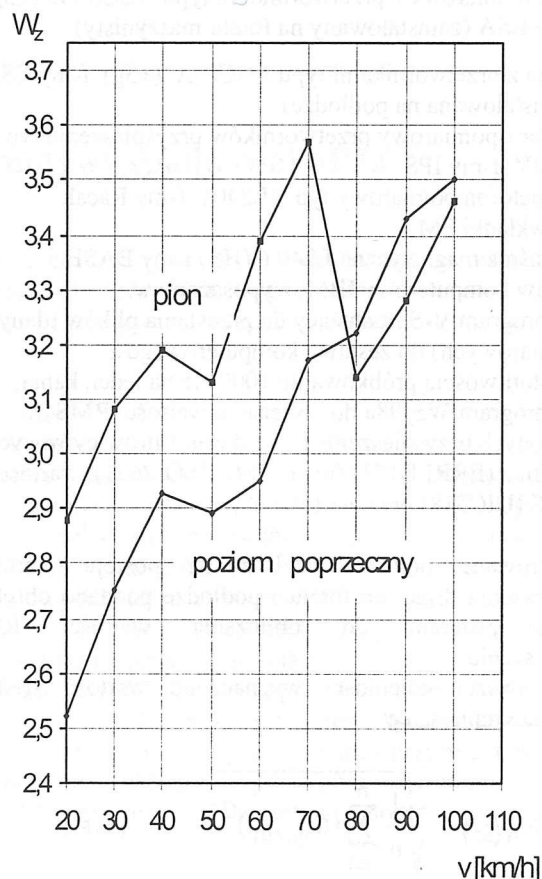
$$s = \sqrt{\frac{\sum W_z^2 - \frac{(\sum W_z)^2}{n}}{n-1}} \quad (4)$$

Ostateczne uśrednione wartości wskaźnika W_z oraz odchylenia standardowego s zamieszczono w tabeli 4. Na rys. 2 przedstawiono (poglądowo) przebieg wskaźnika W_z w funkcji prędkości.

Zestawienie wartości wskaźnika spokojności biegu W_z lokomotywy.

Tabela 4

L.p	Prędkość [km/h]	Parametr	Wartość wskaźnika W_z Odchylenie standardowe	
			Kierunek drgań	
			poziomy poprzeczny	pionowy
1	20	$W_{z(\bar{s}_r)}$	2,52	2,88
		s	0,05	0,04
2	30	$W_{z(\bar{s}_r)}$	2,75	3,08
		s	0,20	0,04
3	40	$W_{z(\bar{s}_r)}$	2,93	3,19
		s	0,13	0,12
4	50	$W_{z(\bar{s}_r)}$	2,89	3,13
		s	0,04	0,04
5	60	$W_{z(\bar{s}_r)}$	2,95	3,39
		s	0,05	0,05
6	70	$W_{z(\bar{s}_r)}$	3,17	3,57
		s	0,03	0,07
7	80	$W_{z(\bar{s}_r)}$	3,22	3,14
		s	0,09	0,07
8	90	$W_{z(\bar{s}_r)}$	3,43	3,28
		s	0,06	0,06
9	100	$W_{z(\bar{s}_r)}$	3,50	3,46
		s	0,15	0,08

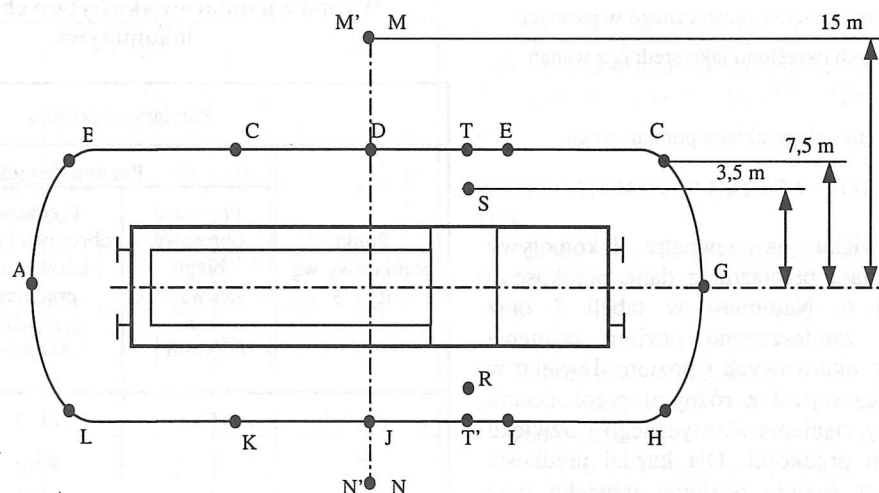


Rys.2 Przebieg wskaźnika W_z w funkcji prędkości.

Wartości wskaźnika W_z rosną wraz ze wzrostem prędkości. Znaczny przyrost wartości wskaźnika W_z (do 3,57) w kierunku pionowym podczas jazdy z prędkością 70 km/h jest trudny do zinterpretowania ze względu na niewystarczającą ilość pomiarów. Wszystkie wyznaczone wartości wskaźnika W_z dla prędkości z zakresu 20÷100 km/h są mniejsze od przyjętego kryterium $W_z = 3,75$ [15].

4.2 BADANIE WŁAŚCIWOŚCI AKUSTYCZNYCH

Badania właściwości akustycznych lokomotywy przeprowadzono na postoju oraz podczas jazd [17]. Na postoju wokół lokomotywy pomierzono poziom dźwięku (dB_A) w punktach zaznaczonych na rys. 3. Pomiary te wykonano przy pracującym silniku spalinowym na biegu jałowym z prędkością obrotową 600 min⁻¹ i 1500 min⁻¹ oraz z prędkością obrotową silnika 1000 min⁻¹ przy załączonej dodatkowo prądnicy grzewczej.



punkty N', M' na wysokości 3,5 m
punkty T, T' na wysokości 1,6 m

Rys.3 Rozmieszczenie punktów pomiarowych na zewnątrz lokomotywy podczas postoju.

Podczas ruszania lokomotywy mierzono poziom dźwięku w odległości 7,5m od osi toru, a mikrofon pomiarowy znajdował się na wysokości 1,6m od głowki szyny i był skierowany na lokomotywę. Natomiast podczas przejazdu lokomotywy przez dany punkt, pomiary wykonywano w odległości 25m i 7,5m (pomiar w celach informacyjnych) od osi toru przy prędkości 100 km/h.

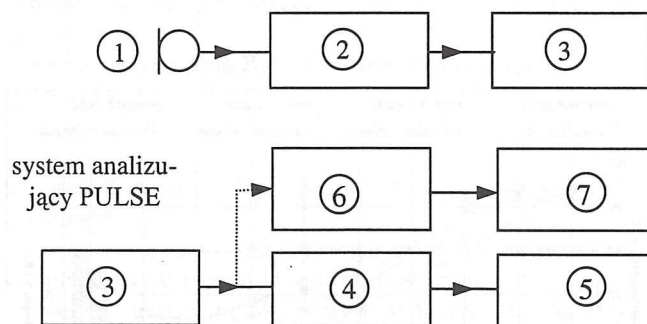
Pomiary poziomu hałasu w kabinie maszynisty wykonano na postoju oraz podczas jazd z rozkładowymi pociągami pasażerskimi. Warunki eksploatacyjne szlaku oraz konieczność utrzymania rozkładu jazdy pociągu pasażerskiego utrudniały realizację jazd z odpowiednim obciążeniem silnika (warunki pomiarowe podczas jazd – tabela 5). Sprawdzenie sygnałów ostrzegawczych polegało na pomiarze poziomu dźwięku w odległości 5m od syreny w jej osi wzdłużnej oraz określeniu dźwięku tonu podstawowego dla syreny niskotonowej i wysokotonowej.

Warunki pomiarowe podczas jazd.

Tabela 5

Prędkość v [km/h]	Obroty silnika spalinowego [1/min]	Moc zadana [%]
20	~950	0÷10
40	1000÷1200	20÷50
50	1200÷1400	50÷80
60	1200÷1300	55÷75
70	900÷1300	30÷68
80	~1300	55÷75
90	1200÷1500	50÷100
100	1200÷1500	75÷100

Układ pomiarowy zastosowany podczas badań przedstawiono na rys. 4.



Rys.4 Schemat blokowy układu do pomiaru, rejestracji i analizy hałasu w kabinie, poziomu dźwięku na zewnątrz lokomotywy oraz dźwięków sygnalizatorów akustycznych.

- ① Mikrofon typ 4145 f-ma B&K
- ② Precyzyjny miernik poziomu ciśnienia akustycznego typ 2209 f-ma B&K
- ③ Magnetofon pomiarowy typ 7006 f-ma B&K:
 - wkładka FM typ ZM0053
 - taśma magnetofonowa f-ma Ampex
 - pomiędzy mikrofonem a miernikiem typu 2209 użyto przedłużacza typu UA0196 i A0 0029 (30m)
- Do wzorcowania użyto kalibratora typu 4220 f-ma B&K
- ④ Układ akwizycji typ 2825 z modułami 3022 i 7521 f-ma B&K
- ⑤ Zestaw komputerowy ze specjalistycznymi kartami i programem wykonującym analizy akustyczne.
- ⑥ Filtr typ 3343 f-ma Krohn-Hitte
- ⑦ Częstościomierz PFL-20 f-ma Kabid

Uwagi:

Analizowana wartość – skuteczna (RMS).

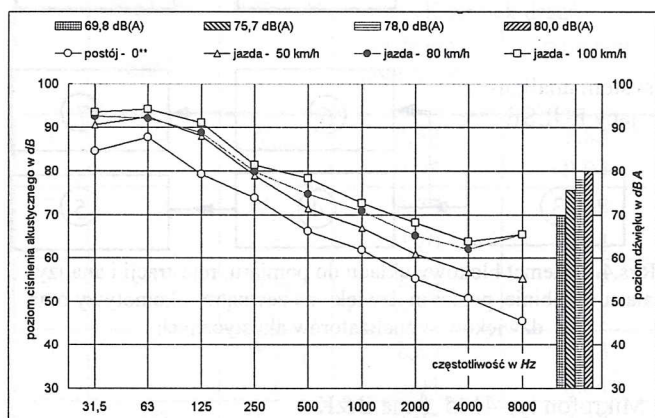
Poziom dźwięku i poziom ciśnienia akustycznego w pasmach oktaowych lub tercjowych określono jako średnią z wahań wartości RMS.

Niepewność systematyczna całego układu pomiarowego wyniosła $\pm 0,3 \text{ dB}$.

Wartości poziomu dźwięku na zewnątrz lokomotywy (podczas postoju, ruszania i przejazdu z daną prędkością) zamieszczono w tabeli 6. Natomiast w tabeli 7 oraz poglądowo na rys. 5 zamieszczono poziom ciśnienia akustycznego w pasmach oktaowych i poziom dźwięku w kabinie maszynisty podczas jazdy z różnymi prędkościami oraz na postoju. Poziomy ciśnienia akustycznego i dźwięku rosną wraz ze wzrostem prędkości. Dla każdej prędkości jazdy obliczono wartości średnie poziomu dźwięku oraz ciśnienia akustycznego według poniższej zależności:

$$L_{\text{sr}} = 10 \log \left[\frac{1}{n} \left(10^{0,1L_1} + \dots + 10^{0,1L_n} \right) \right] \quad (5)$$

n- ilość pomiarów



Rys.5 Przebieg ciśnienia akustycznego w pasmach oktaowych oraz poziomu dźwięku w kabinie lokomotywy dla $v = 0, 50, 80$ i 100 km/h .

Wyniki z pomiarów akustycznych na zewnątrz lokomotywy.

Tabela 6

Pomiary na postoju				
Punkt pomiarowy wg Rys. 3	Poziom dźwięku (dB_A)			Prędkość obrotowa biegu jałowego
	Prędkość obrotowa biegu jałowego min. 600 min^{-1}	Prędkość obrotowa biegu jałowego z prądnicą grzewczą 1000 min^{-1}	Prędkość obrotowa biegu jałowego maksymalna 1500 min^{-1}	
A	55,5	60,0	66,5	
B	58,5	64,0	74,0	
C	63,0	69,0	78,0	
D	64,0	72,0	80,0	
E	60,0	66,0	77,5	
F	56,5	64,0	74,5	
G	53,0	60,5	69,0	
H	57,0	63,0	72,5	
I	61,0	67,0	76,5	
J	65,0	72,0	80,0	
K	63,5	70,0	79,0	
L	58,5	60,0	72,5	
N	59,0	64,0	74,0	
N'	59,0	64,0	76,0	
M	59,0	65,0	75,0	
M'	59,0	65,0	74,5	
Pomiary dodatkowe	R	66,5	77,0	-
	S	66,0	76,5	-
	T	63,0	71,0	79,0
	T'	64,0	71,5	79,5
Pomiar przy ruszaniu		Pomiar przy przejeździe lokomotywy $v = 100 \text{ km/h}$		
Poziom dźwięku (dB_A) w odległości 7,5 m na wysokości 1,6 m na wprost		Poziom dźwięku w odległości 25 m na wysokości 1,6 m	Poziom dźwięku w odległości 7,5 m na wysokości 1,6 m	Poziom dźwięku w odległości 7,5 m na wysokości 1,6 m
kabiny	silnika			Pomiar informacyjny
śr. 76,5	śr. 78,0	śr. 87,0	śr. 96,5	

Tabela 7

Prędkość v [km/h]	Poziom dźwięku L _A [dB _A]	Poziom ciśnienia akustycznego [dB] w pasmach oktawowych									
		31,5	63	125	250	500	1	2	4	8	
		Hz	Hz	Hz	Hz	Hz	kHz	kHz	kHz	kHz	
0*	60,2	85,0	83,0	69,3	63,7	54,4	51,6	44,9	43,7	46,6	
0**	69,8	84,6	87,7	79,2	73,8	66,2	61,8	55,3	50,7	45,4	
0***	77,0	86,1	87,9	90,4	79,8	73,6	69,9	62,4	57,1	52,6	
20	73,7	86,4	92,7	87,3	75,3	66,9	64,1	58,5	55,3	53,9	
40	74,6	85,8	90,7	85,9	78,8	69,6	65,8	60,0	56,4	56,1	
50	75,7	90,6	92,3	88,0	78,9	71,4	67,0	60,9	56,7	55,4	
60	77,0	90,6	91,8	88,1	79,7	73,2	68,8	63,0	60,2	63,3	
70	76,4	91,7	92,3	86,9	78,4	72,7	69,3	63,0	61,3	63,8	
80	78,0	92,5	92,1	88,8	79,8	74,7	70,9	65,2	62,0	65,5	
90	79,2	96,0	93,3	90,4	80,9	75,9	72,1	66,6	62,8	65,1	
100	80,0	93,4	94,2	91,0	81,3	78,4	72,7	68,2	63,8	65,4	
0* prędkość obrotowa silnika 600 1/min											
0** prędkość obrotowa silnika 1000 1/min											
0*** prędkość obrotowa silnika 1500 1/min											

W myśl zaleceń zawartych w [17] poziom dźwięku nie powinien przekraczać wartości 78,0 dB_A podczas jazdy z prędkością osiąganą przy $\frac{2}{3}$ mocy nominalnej. Dla badanej lokomotywy powyższe kryterium jest spełnione podczas jazdy z $v = 80$ km/h. Ze względu na zmienność warunków pracy lokomotywy w ciągu 8 godzinnej zmiany roboczej wskazane było wyznaczenie równoważnego poziomu dźwięku L_{Aeq} uwzględniającego postój oraz jazdę z poszczególnymi prędkościami i różną mocą silnika spalinowego

$$L_{Aeq} = \sum_{i=0}^n L_{Ai} \cdot p_i \quad (6)$$

L_{Ai} poziom dźwięku występujący w kabinie przy określonej prędkości jazdy i mocy silnika spalinowego lokomotywy i na postoju

p_i prawdopodobieństwo czasowego udziału prędkości jazdy i mocy silnika spalinowego oraz postoju w czasie zmiany roboczej

Przy wykorzystaniu danych zawartych w [10] można założyć, że w ciągu zmiany roboczej lokomotywa pracuje w warunkach przytoczonych w pkt. 4.1. powyższego artykułu.

Jeżeli każdemu warunkowi przypiszemy najbardziej niekorzystną wartość pomierzonego poziomu dźwięku (z tabeli 7) to otrzymamy $L_{Aeq} = 75,9$ dB_A, która jest mniejsza od dopuszczalnej wartości 78,0 dB_A. Dla innych danych p_i wyliczona wartość L_{Aeq} wynosi:

p_0	0,10	0,20	0,10
p_{50}	0,30	-	-
p_{80}	0,30	0,50	0,40
p_{100}	0,30	0,30	0,50
L_{Aeq} [dB _A]	77,1	77,0	78,0

Pomierzone poziomy dźwięku wytworzone przez syreny nisko i wysokotonowe zawierają się w granicach 120÷123,6 dB_A i spełniają kryterium (120÷125 dB_A) zawarte w normie [18].

4.3 POMIAR NATĘŻENIA POLA MAGNETYCZNEGO.

Oceny pola magnetycznego, występującego w kabinie maszynisty lokomotywy SP32 dokonano poprzez pomiar indukcji pola magnetycznego na stanowisku pracy maszynisty.

Pomiary te wykonano:

- przy załączonych wszystkich urządzeniach i napędach trakcyjnych lokomotywy (także prądnicy grzewczej) podczas prowadzenia pociągu pospiesznego na trasie Krzyż-Piła,
- na postoju lokomotywy po wyłączeniu wszystkich jej urządzeń – pomiar tła (indukcja od pola magnetycznego Ziemi).

Mierzono indukcję pola magnetycznego stałego i zmiennego na stanowisku maszynisty na wysokości głowy, serca i krocza przy pulpicie sterowniczym A (od strony przedziału urządzeń elektrycznych) i pulpicie B (od strony przedziału silnika spalinowego i maszyn elektrycznych) dla trzech kierunków:

- kierunek X (indukcja B_X) – równoległy do osi lokomotywy (poziomy),
- kierunek Y (indukcja B_Y) – poprzeczny do osi lokomotywy (poziomy),
- kierunek Z (indukcja B_Z) – prostopadły do płaszczyzny XY (pionowy).

Jako wynik pomiaru przyjmowano wartość maksymalną, występującą w 60-cio sekundowym okresie pomiaru.

Indukcję całkowitą B (wektor indukcji) dla każdego pomiaru obliczano z zależności:

$$B = \sqrt{B_X^2 + B_Y^2 + B_Z^2} \quad (7)$$

Jednostką dopuszczalnych poziomów natężenia pola magnetycznego, określonych w [19] jest A/m. Pomiędzy jednostką indukcji magnetycznej mT a jednostką natężenia pola magnetycznego A/m występuje zależność:

$$1 \text{ mT} = 796 \frac{\text{A}}{\text{m}} \approx 800 \frac{\text{A}}{\text{m}} \quad (8)$$

Do pomiarów użyto zestaw aparaturowy złożony z:

- miernika Gaussmeter model 9200, f-my F.W.BELL o rozdzielczości 0,001 mT,
- sondy jednokierunkowej 1x, typu STB92-0402, f-my F.W.BELL.

Zastosowana aparatura pomiarowa spełniała wymagania norm [20] i [21].

Wyniki pomiarów składowych indukcji pola magnetycznego B_x , B_y i B_z oraz obliczonej wartości wektora B indukcji w kabinie lokomotywy SP32 na fotelu maszynisty zamieszczono w tabeli 8. Podczas pomiarów wykonywanych w czasie jazdy z pociągiem pospiesznym o masie ok. 220t, wielkość obciążenia trakcyjnego nie była stała i zależała od aktualnych warunków jazdy.

Warunki pomiaru, obciążenie lokomotywy	Pomiar przy pulpicie	Punkt pomiaru	Indukcja pola magnetycznego [mT]							
			stałego				zmiennego			
			B _x	B _y	B _z	B	B _x	B _y	B _z	B
w czasie jazdy z obciążeniem trakcyjnym – pociąg o masie 223t	A	głowa	0,033	0,167	0,132	0,215	0,018	0,015	0,020	0,031
		serce	0,105	0,131	0,149	0,224	0,016	0,019	0,019	0,031
		krocze	0,048	0,117	0,123	0,176	0,018	0,018	0,019	0,032
	B	głowa	0,124	0,085	0,077	0,169	0,021	0,019	0,021	0,035
		serce	0,049	0,079	0,061	0,141	0,019	0,019	0,019	0,033
		krocze	0,114	0,113	0,069	0,175	0,021	0,019	0,020	0,030
na postoju z wyłączonymi wszystkimi urządzeniami – pomiar tła	A	głowa	0,054	0,026	0,085	0,104	0,017	0,018	0,018	0,031
		serce	0,084	0,026	0,065	0,109	0,017	0,016	0,016	0,028
		krocze	0,064	0,055	0,067	0,108	0,016	0,015	0,015	0,027
	B	głowa	0,076	0,086	0,093	0,148	0,017	0,018	0,018	0,031
		serce	0,054	0,059	0,072	0,108	0,016	0,016	0,013	0,026
		krocze	0,053	0,074	0,077	0,119	0,016	0,016	0,016	0,028

Pulpit A – pulpit sterowniczy od strony przedziału urządzeń elektrycznych,

Pulpit B – pulpit sterowniczy od strony przedziału silnika spalinowego i maszyn elektrycznych.

Warunki pracy obsługi lokomotywy w polach magnetycznych definiowane są w [19], gdzie poziom natężenia pola magnetycznego został przypisany do trzech stref oddziaływania pól magnetycznych:

- ♦ strefy niebezpiecznej, w której przebywanie pracowników jest zabronione,
- ♦ strefy zagrożenia, w której dopuszczalny czas przebywania pracowników zależy od natężenia występującego pola,
- ♦ strefy bezpiecznej, w której pracownicy mogą przebywać bez ograniczeń czasowych.

Maksymalny poziom natężenia (indukcji) pola magnetycznego dla strefy bezpiecznej wynosi:

- dla pola magnetycznego stałego
 - 8 kA/m (ok. 10 mT),
- dla pola magnetycznego o częstotliwości 50Hz
 - 0,4 kA/m (ok. 0,5 mT).

Pomierzone wartości indukcji magnetycznej pola magnetycznego stałego i zmiennego o częstotliwości 50Hz są wielokrotnie niższe od maksymalnych poziomów, dopuszczonych w [19] dla strefy bezpiecznej.

Występujące w kabinie lokomotywy SP32 pole magnetyczne jest całkowicie bezpieczne dla obsługi tej lokomotywy

4.4 BADANIE SKUTECZNOŚCI ZABEZPIECZENIA PRZECIWPORAŻENIOWEGO.

Zabezpieczenie przeciwporażeniowe w pojazdach trakcyjnych ma chronić obsługę przed porażeniem napięciem niebezpiecznym dla życia przy przypadkowym wejściu do przedziałów urządzeń WN. W lokomotywie SP32

zabezpieczenie przeciwporażeniowe zostaje uaktywnione podczas pracy lokomotywy (wzbudzona prądnicą główną) przy próbie otwarcia drzwi (osłon) przedziału WN poprzez zwarcie styków jednego z trzech wyłączników krańcowych S37+S39 w obwodzie o numerach o numerach przewodów 1110 i 13451 (oznaczenie i numeracja według schematu [22]).

Próby wykonano dwukrotnie podczas jazdy lokomotywy z pociągiem osobowym na trasie Piła - Kostrzyn n/Odrą, symulując otwarcie drzwi przedziału WN przez zwarcie obwodu o numerach przewodów 1110 i 13451. W czasie próby rejestrowano:

- napięcie na zaciskach prostownika głównego w układzie złożonym z:
 - ♦ przetwornika napięciowego firmy LEM typ CV3-1500 (dokładność $\pm 0,6\%$),
 - ♦ rejestratora cyfrowego firmy GOULD typ TA11 (dokładność wzmocnienia 1%, nieliniowość 0,1%),
- sygnał napięciowy 110VDC z przycisku symulującego otwarcie drzwi przedziału WN rejestratorem cyfrowym TA11.

Zapisy z rejestratora cyfrowego TA11 przesyłano do komputera laptop typu ThinkPad 390X firmy IBM.

Zarejestrowane przebiegi napięcia na zaciskach prostownika głównego i sygnału napięciowego, symulującego otwarcie drzwi przedziału WN analizowano w programie obliczeniowo-analitycznym Dasa View II a ich graficzną postać uzyskano w programie Excel 97.

Kryterium oceny skuteczności zabezpieczenia przeciwporażeniowego jest czas mierzony od zmiany stanu wyłącznika krańcowego drzwi przedziału WN do momentu uzyskania przez napięcie wyjściowe prostownika głównego poziomu napięcia bezpiecznego 60V. Poziom napięcia bezpiecznego 60V ma charakter uniwersalny i jest określony w [23] i [24].

Dla napięcia wyjściowego prostownika głównego w obu próbach określono charakterystyczne wielkości:

- ♦ wartość napięcia U_{PR1} przed zadziałaniem zabezpieczenia,
 - ♦ czas t_1 od zadziałania zabezpieczenia do reakcji układu sterowania lokomotywy,
 - ♦ czas t_2 od zadziałania zabezpieczenia do wyłączenia styczników K5 i K6 grupy silników trakcyjnych,
 - ♦ czas t_3 od zadziałania zabezpieczenia do momentu uzyskania przez napięcie wyjściowe prostownika głównego wartości 60V.
- Wielkości te zestawiono w tabeli 9.

Wielkości charakterystyczne przy badaniu zabezpieczenia przeciwporażeniowego.

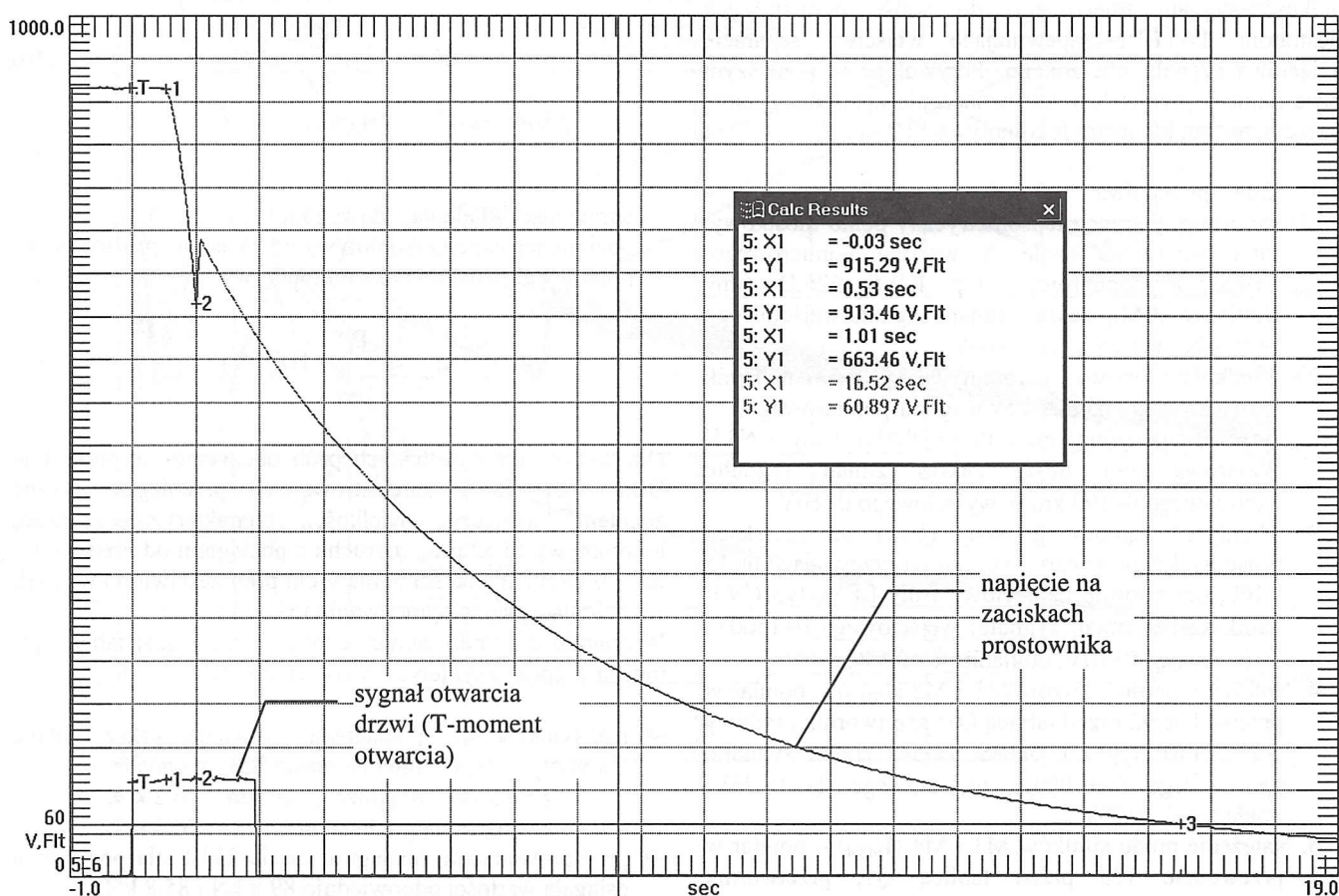
Tabela 9

Numer próby	U_{PR1}	t_1	t_2	t_3
	V	s	s	s
1	909,8	0,36	0,82	16,37
2	915,3	0,56	1,04	16,55

Dla próby nr 2 na rys.6 pokazano przebieg rejestrowanych i analizowanych w programie Dasa View II parametrów z zaznaczonymi punktami charakterystycznymi i ich wartościami, ujętymi w tabeli 9.

Czas zaniku napięcia wyjściowego prostownika głównego nie jest określany przez dokumenty normatywne. Powinien być jednak dostatecznie krótki, aby obsługa lokomotywy, otwierając przypadkowo drzwi przedziału WN, nie uległa porażeniu napięciem niebezpiecznym.

W badanej lokomotywie SP32 czas ten (ok. 16,5s) jest stosunkowo długi i wymaga od obsługi lokomotywy szczególnej ostrożności przy otwieraniu drzwi przedziału WN.



Rys. 6 Przebieg napięcia prądniczej głównej na zaciskach prostownika i sygnału otwarcia drzwi przy sprawdzaniu zabezpieczenia przeciwporażeniowego wraz z wartościami punktów charakterystycznych.

4.5 BADANIE WŁASNOŚCI TRAKCYJNYCH.

Badania polegały na sprawdzeniu, założonych przy modernizacji lokomotywy SP32, parametrów eksploatacyjnych. Zakres i metoda pomiarów zostały określone w programie badań [1] w punkcie 2 pn. „Charakterystyka w funkcji prędkości na szynach suchych i wilgotnych”.

Dla oceny własności trakcyjnych oraz układu wykrywania i likwidacji poślizgu rejestrowano cyfrowo parametry lokomotywy SP32:

- ♦ rejestratorem cyfrowym firmy GOULD, typ TA11, dokładność wzmacnienia 1%, nieliniowość 0,1%,
- ♦ komputerem przenośnym laptop firmy IBM, typ ThinkPad 390X z transferem danych z rejestratora TA11 przez złącze GPIB z wykorzystaniem karty PCMCIA II firmy National Instruments.

Uzyskane podczas pomiarów wyniki analizowano w programie Dasa View II firmy GOULD a ich edycję graficzną wykonano w programie Excel 97.

Poniżej zestawiono rejestrowane parametry lokomotywy, ich oznaczenia stosowane w dalszej części tego opracowania oraz czujniki i przetworniki, pozwalające dostosować wielkość sygnału mierzonego do wejść pomiarowych rejestratora TA11 i zapewniające właściwą separację napięciową sygnału mierzonego. Przywołane w poniższym opisie numery przewodów lub oznaczenia aparatów zgodne są ze schematem ideowym lokomotywy SP32 [22].

1. Siła pociągowa na haku lokomotywy (F_p) – kalibrowany sprzęg tensometryczny pełno mostkowy, zamocowany na czole A wagonu pomiarowego; wzmacniacz pomiarowy typ KWS 526.D f-my Hottinger B.M., zakres zmian sygnału: wejściowego 0÷250kN, wyjściowego 0÷10V.
2. Prędkość liniowa lokomotywy (v_l) – nadajnik fotoelektryczny na maźnicy wagonu pomiarowego, cyfrowo-analogowy miernik prędkości f-my CNTK Warszawa, typ SP-2, zakres zmian sygnału: wejściowego 0÷100 km/h, wyjściowego 0÷10V.
3. Napięcie prądnicy głównej (U_{PG}) na zaciskach prostownika głównego – pomiar na przewodach nr 15 i 100; przetwornik napięciowy f-my LEM, typ CV3-1500, zakres zmian sygnału: wejściowego 0÷1500V, wyjściowego 0÷10V; dokładność ±0,6%.
4. Natężenie prądu silników M1 i M2 ($I_{M1,2}$) – pomiar w przewodzie 92 przed tablicą Q1; przetwornik prądowy f-my LEM, typ LT 500-S, zakres zmian sygnału: wejściowego 0÷±1000A, wyjściowego 0÷±10,26V; dokładność ±0,3%.
5. Natężenie prądu silników M3 i M4 ($I_{M3,4}$) – pomiar w przewodzie 173 przed tablicą Q1; przetwornik prądowy jw. w pozycji 4.

Badania wykonywano podczas prowadzenia przez lokomotywę SP32 rozkładowych pociągów osobowych z pasażerami na trasie Piła – Krzyż – Kostrzyn n/Odrą. Trasa ta charakteryzuje się w znacznej swej części długimi odcinkami prostymi z profilem o niewielkich spadkach i wzniesieniach.

W skład badanego pociągu włączony był wagon pomiarowy z wykorzystywaną w badaniach aparaturą.

Lokomotywę SP32 wyposażono w zmodernizowany układ sterowania mocą silnika spalinowego i prądnicy głównej oraz jazdą lokomotywy. Lokomotywa nie posiada klasycznego wielopozycyjnego nastawnika jazdy z nastawnikiem bocznikowania wzbudzenia silników trakcyjnych. Maszynista dysponuje tylko dźwigniowym zadajnikiem mocy lokomotywy, pozwalającym zadawać moc w zakresie od 0 do 100% z rozdzielczością 1%. Praca całego układu napędowego lokomotywy (silnik spalinowy – prądnica główna – silniki trakcyjne) jest kontrolowana i regulowana przez sterownik mikroprocesorowy INTEL 118 firmy LOKEL.

Z pomiarów otrzymano przebiegi badanych parametrów w funkcji czasu. W oparciu o te przebiegi, wykorzystując możliwości matematyczne programu Dasa View II obliczono:

- moc prądnicy głównej P_{PG} z zależności:

$$P_{PG} = U_{PG} \cdot (I_{M1,2} + I_{M3,4}) \cdot 10^{-3} [\text{kW}] \quad (9)$$

- moc zredukowaną do haka lokomotywy P_h w oparciu o zasadniczy wzór trakcyjny:

$$P_h = F_p \cdot \frac{v_l}{3,6} [\text{kW}] \quad (10)$$

gdzie: F_p [kN], v_l [km/h]

- sprawność układu napędowego lokomotywy η_{un} , obejmującą napęd lokomotywy od zacisków prostownika prądnicy głównej do haka lokomotywy:

$$\eta_{un} = \frac{P_h}{P_{PG}} \cdot 100 [\%] \quad (11)$$

Dla wszystkich wykonanych prób odczytano (w programie Dasa View II) z zarejestrowanych przebiegów istotne zdaniem badającego wielkości, charakteryzujące pracę lokomotywy SP32 przy rozruchu z pociągiem od prędkości 0 do 100 km/h. Wielkości te dla 9-ciu prób zestawiono w tabeli 1, znajdującej się w opracowaniu [8].

W oparciu o wyniki zamieszczone w powyższej tabeli [8] można w sposób syntetyczny stwierdzić, że:

- ⇒ maksymalna siła pociągowa, rozwijana przez badaną lokomotywę z pociągiem o masie 223 t wynosiła:
 - z załączoną prądnicą grzewczą 76,2 kN,
 - z wyłączoną prądnicą grzewczą 80,3 kN,
- ⇒ przy prowadzeniu pociągu o masie 253 t siła pociągowa osiągała wartości odpowiednio 89,8 kN i 85,8 kN,
- ⇒ załączenie I stopnia osłabienia wzbudzenia silników trakcyjnych następuje przy prędkości lokomotywy w przedziale 46,4÷53 km/h i napięciu prądnicy głównej 875÷881V,
- ⇒ załączenie II stopnia osłabienia wzbudzenia odbywa się przy prędkości 59,2÷70,3 km/h i napięciu 876÷881V.

Załączenie I i II stopnia osłabienia wzbudzenia odbywa się automatycznie po osiągnięciu określonej wartości napięcia prądnicy głównej (opis w [25] str. 77).

Załączenie I i II stopnia osłabienia wzbudzenia nie powoduje gwałtownego wzrostu prądu silników trakcyjnych i siły pociągowej lokomotywy – proces ten przebiega w sposób płynny i nie powinien być przyczyną występowania poślizgów.

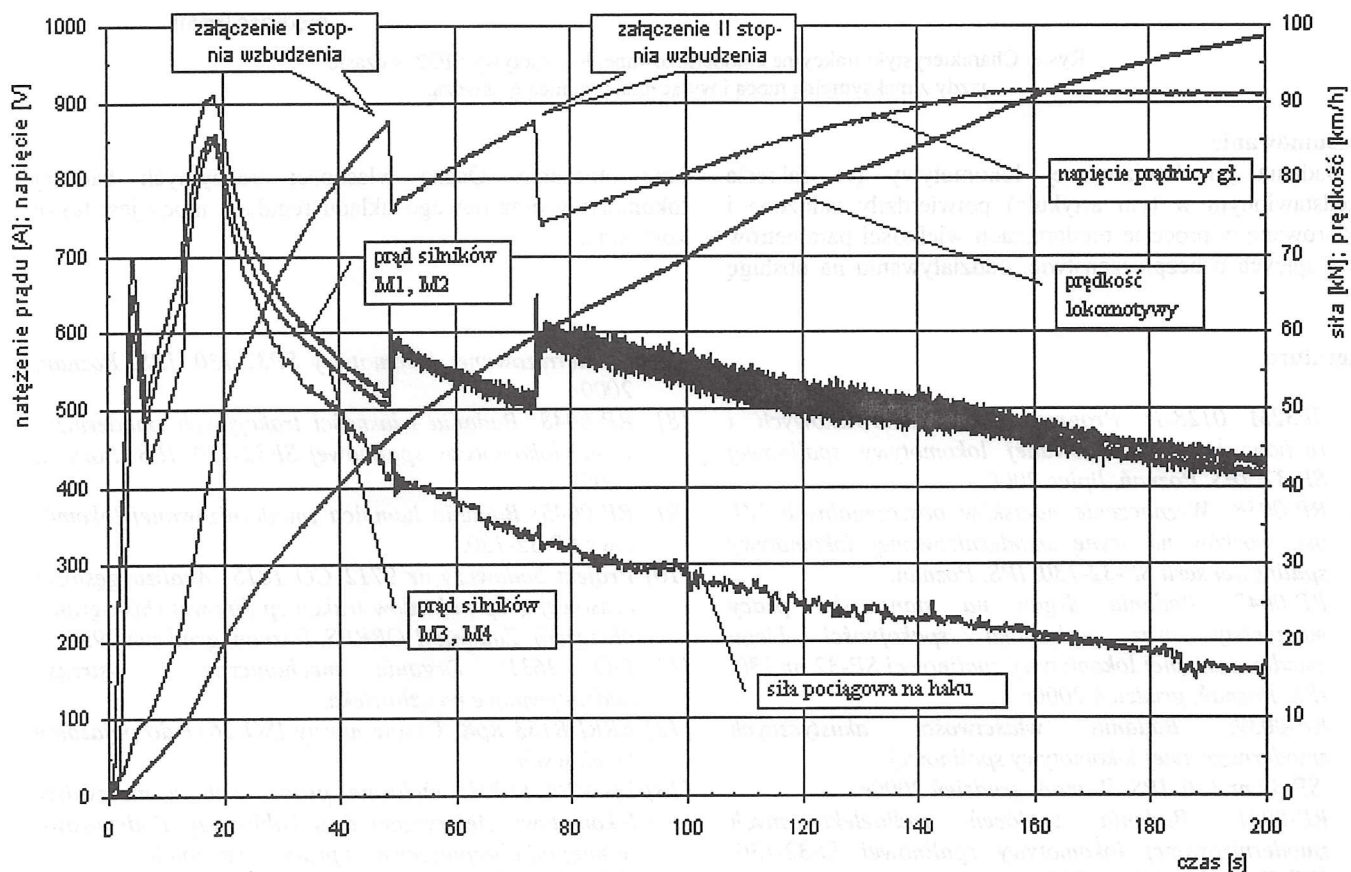
Reprezentatywne dla wykonanych prób przebiegi parametrów lokomotywy w funkcji czasu przedstawiono na rys.7 (próba z wyłączoną prądnicą grzewczą). Na rys. 8 (z wyłączoną i prądnicą grzewczą) pokazano dla jednej z wybranych prób w funkcji prędkości v_1 lokomotywy charakterystyki trakcyjne:

- siły pociągowej F_p lokomotywy,
- mocy prądnicy głównej P_{PG} na zaciskach prostownika,
- sprawności układu napędowego η_{un} .

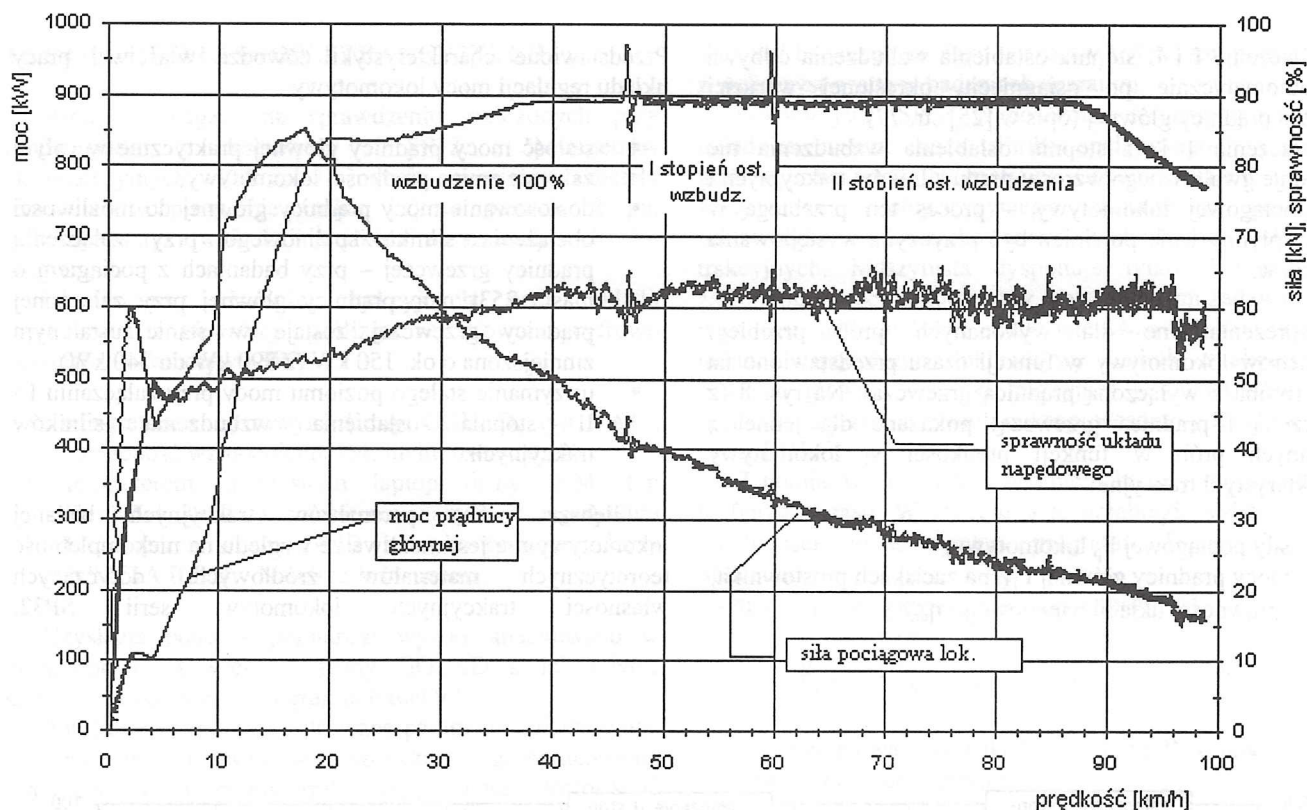
Przedstawione charakterystyki dowodzą właściwej pracy układu regulacji mocy lokomotywy:

- stałość mocy prądnicy głównej praktycznie w całym zakresie zmian prędkości lokomotywy,
- dostosowanie mocy prądnicy głównej do możliwości obciążenia silnika spalinowego przy załączeniu prądnicy grzewczej – przy badaniach z pociągiem o masie 253t moc prądnicy głównej przy załączonej prądnicie grzewczej zostaje w stanie ustalonym zmniejszona o ok. 150 kW (z 890 kW do 740 kW),
- utrzymanie stałego poziomu mocy przy załączaniu I i II stopnia osłabienia wzbudzenia silników trakcyjnych.

Głębsza ocena parametrów trakcyjnych badanej lokomotywy nie jest możliwa ze względu na niekompletność teoretycznych materiałów źródłowych, dotyczących własności trakcyjnych lokomotyw serii SP32.



Rys.7 Przebieg parametrów zmodernizowanej lokomotywy SP32 w czasie rozruchu z maksymalną mocą i wyłączoną prądnicą grzewczą.



Rys.8 Charakterystyki trakcyjne zmodernizowanej lokomotywy SP32 w czasie jazdy z maksymalną mocą i wyłączoną prądnicą grzewczą.

Podsumowanie

Badania zmodernizowanej lokomotywy (w zakresie przedstawionym w tym artykule) potwierdziły założone i deklarowane w procesie modernizacji wielkości parametrów decydujących o bezpieczeństwie, oddziaływaniu na obsługę

oraz otoczenie. Ocena własności trakcyjnych badanej lokomotywy oraz nowego układu regulacji mocy jest także korzystna.

Literatura

- [1] SP32M 0128-1: Program prób stanowiskowych i ruchowych zmodernizowanej lokomotywy spalinowej SP-32. IPS. Poznań, lipiec 2000r.
- [2] RP-0038: Wyznaczenie nacisków poszczególnych kół, osi, wózków na szynę zmodernizowanej lokomotywy spalinowej serii SP-32-130. IPS. Poznań.
- [3] RP-0047: Badania drgań na stanowisku pracy maszynisty oraz wskaźnika spokojności biegu zmodernizowanej lokomotywy spalinowej SP-32 nr 130. IPS. Poznań, grudzień 2000r.
- [4] RP-0039: Badania właściwości akustycznych zmodernizowanej lokomotywy spalinowej SP-32 nr 130. IPS, Poznań, grudzień 2000r.
- [5] RP-0041: Badania zakłóceń radioelektrycznych zmodernizowanej lokomotywy spalinowej SP32-130. IPS. Poznań, grudzień 2000r.
- [6] RP-0044: Badania oświetlenia zewnętrznego oraz oświetlenia kabiny maszynisty zmodernizowanej lokomotywy SP32-130. IPS. Poznań 2000r.
- [7] RP-0049: Badania pola magnetycznego oraz zabezpieczeń przeciwpożarowych i przeciwporażeniowych
- [16] PN-92/K-02503: Wagony towarowe. Badania spokojności biegu.
- zmodernizowanej lokomotywy SP32-130. IPS. Poznań, 2000r.
- [8] RP-0048: Badania własności trakcyjnych zmodernizowanej lokomotywy spalinowej SP32-130. IPS. Poznań, 2000r.
- [9] RP-0045: Badania hamulca zmodernizowanej lokomotywy SP-32-130.
- [10] Projekt badawczy nr 9712 CO 1815: Analiza gęstości czasowej grup pojazdów trakcji spalinowej (histogramy obciążeń). Zadanie 1 OBRPS, Poznań, grudzień 1998r.
- [11] ISO 2631: Drgania mechaniczne i wstrząsy oddziałujące na człowieka.
- [12] ERRI B153 Rp8: Użycie normy ISO 2631 do pojazdów kolejowych.
- [13] PN-90/K-11001: Ochrona pracy. Kabina maszynisty lokomotywy elektrycznej dwu kabinowej. Podstawowe wymagania bezpieczeństwa pracy i ergonomii.
- [14] PN-91/N-01354: Drgania. Dopuszczalne wartości przyspieszenia drgań o ogólnym oddziaływaniu na organizm człowieka i metody oceny narażenia.
- [15] Kozieradzki W., Pawlus T, Zajęcki A.: Badania w zakresie mechaniki pojazdów szynowych..Problemy kolejnictwa nr 60. 1974r
- [17] PN-92/K-11000: Tabor kolejowy. Hałas. Ogólne wymagania i badania.

- [18] PN-91/K-8100: Pojazdy trakcyjne. Syreny
- [19] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 17 czerwca 1998r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. Dz. U. Z 1998r. Nr 79, poz. 513.
- [20] PN-90/T06583: Ochrona pracy w polach magnetostatycznych.. Mierniki i metody pomiaru natężenia pola magnetostatycznego.
- [21] PN-90/T06584: Ochrona pracy w polach elektromagnetycznych o częstotliwości 50Hz.. Mierniki i metody pomiaru natężenia pola magnetycznego o częstotliwości 50Hz.
- [22] SP32M 300100-1-00: Schemat ideowy lokomotywy SP32M. OBRPS Poznań, październik 2000r.
- [23] Rozporządzenie Ministra Przemysłu z dnia 8 października 1990r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać urządzenia elektroenergetyczne w zakresie ochrony przeciwporażeniowej. Dz. U. Nr 81 poz. 473 z dnia 26.11.1990r.
- [24] PN-92/E-05009/41: Instalacja elektryczna w obiektach budowlanych. Ochrona zapewniająca bezpieczeństwo. Ochrona przeciwporażeniowa.
- [25] SP32M 0159-1: Dokumentacja techniczno-ruchowa zmodernizowanej lokomotywy spalinowej serii SP32. Tom 1A – Opis budowy i działania. IPS Poznań, 2000r.
-