

*doc.dr inż. Jerzy Nowicki*  
*mgr inż. Sienicki Adam*  
*Instytut Pojazdów Szynowych „TABOR”*

## **Parametry o istotnym wpływie na siły poprzecznego oddziaływania na tor lokomotyw z dwu- i trójosiowymi wózkami jezdnyymi oraz wytyczne do modernizacji tych wózków**

*W opracowaniu omówiono genezę problemu nadmiernych oddziaływań na tory wybranych polskich lokomotyw 4-ro i 6-cio osiowych, opisano oraz zestawiono listę parametrów mających istotny wpływ na to zjawisko. Niektóre z tych parametrów mają istotne znaczenie podczas szybkiej jazdy na odcinkach prostych, a inne na łukach torowych o małych promieniach. Przedstawiono też zakresy tych parametrów konieczne do uzyskania znaczącej poprawy właściwości biegowych w ramach przewidywanych lub przeprowadzonych w ostatnim czasie modernizacji lokomotyw o dużym znaczeniu gospodarczym dla Polski.*

### **1. Wstęp**

Większość pojazdów trakcyjnych eksploatowanych w Polsce charakteryzuje zbyt wysoki poziom sił poprzecznego oddziaływania na tor, co obniża ich bezpieczeństwo ruchu, podwyższa koszty eksploatacyjne i uniemożliwia ich wykorzystanie w ruchu w

obszarze Unii Europejskiej. Zagadnienie to, regulowane od pewnego czasu zharmonizowaną normą PN EN – 14363 [1], w trybie obligatoryjnym zastrzało dotychczas obowiązujące kryteria homologacyjne nowobudowanych pojazdów szynowych i wykorzystywane

jest jako argument w trakcie wnioskowania przez stronę polską o dopuszczenie naszych lokomotyw do ruchu tranzytowego w krajach unijnych.

## 2. Merytoryczny zakres proponowanych modernizacji

Dla realizacji zadania ważnym problemem stało się rozwiązanie trudnych i złożonych zagadnień teoretycznych, obejmujących modelowanie układów prowadzenia w torze i zawieszenia wózków i nadwozi pojazdów trakcyjnych [2,3,4,5,6]. Powyższe zagadnienia stały się podstawowymi tematami realizowanymi w ramach projektu badawczego nr N N509 286435 pt. *"Optymalizacja poprzecznych sił prowadzących krajowych pojazdów trakcyjnych umożliwiającą ich wykorzystanie w międzynarodowym ruchu europejskim"*, którego celem było poznanie i ocena wpływu różnych rozwiązań konstrukcyjnych na siły poprzeczne prowadzące zestawy kołowe tych pojazdów, poprzez budowę i opis matematyczny modeli tych pojazdów szynowych uwzględniających:

- różnoraki układ osi (np. Bo-Bo, Bo-Bo-Bo, Co-Co itd.),
- różnorodne rozwiązania konstrukcyjne prowadzeń zestawów kołowych, układów zawieszeń wózków i nadwozi,
- różnorodne sprzężenia poprzeczne między zestawami kołowymi lub ich grupami podczas działania sił koło-szyna,
- współpracę koła z szyną z uwzględnieniem najczęściej spotykanych profili roboczych i stanów czystości powierzchni kontaktowych wpływających na wartości sił stycznych.

Okazało się, że lokomotywy z wózkami dwuosiowymi nie spełniają kryterium stateczności biegu, a tym samym nie mają wystarczającej spokojności jazdy. Stwierdzenie to skierowało obliczenia na określenie wpływu dodatkowych urządzeń tłumiących drgania obrotowe wózków, takie jak tłumiki wężykowania lub boczne ślizgi cierne wózków – nadwozie. Dało to oczekiwane rezultaty, lecz dopiero po zastosowaniu dużych sztywności ich mocowania do korpusów bazowych. Po zastosowaniu takich rozwiązań nie można jednak uzyskać prędkości eksploatacyjnych większych niż 200 km/h.

Natomiast w lokomotywach z wózkami trójosiowymi, które generalnie nie nadają się do eksploatacji z prędkościami powyżej 140 km/h, co potwierdziły wyniki obliczeń, wystąpiły nadmierne siły poprzeczne prowadzące wózki w torze na łukach i towarzyszące im ryzyko wykolejenia przedniego zestawu kołowego.

Jakościowo zjawisko to jest znane od dawna, a wyniki obliczeń symulacyjnych uzyskanych w ramach realizacji projektu pozwoliły na ocenę ilościową.

Uwzględniając różne kombinacje parametrów zawieszenia i prowadzenia wózków, wytypowano kilka rozwiązań, jako ważniejsze koncepcje modyfikacji tych węzłów, dla badanych lokomotyw:

- propozycja zastosowania sprzęgu międzywózkowego,
- polepszenie podatności prowadzenia w płaszczyźnie poprzecznej do osi toru środkowych zestawów kołowych w wózkach trójosiowych, co dało by możliwość spełnienia wymagań TSI [7], przy czym praktycznie wprowadzenie tej w ramach prostych modernizacji może się okazać trudne,
- zupełnie nowym rozwiązaniem obniżającym poprzeczne oddziaływanie na tor wózków trzyosiowych jest propozycja zastosowania mikroprocesorowego, aktywnego sterowania skrętem tych wózków podczas ruchu w łukach torowych i krzywych przejściowych, za pomocą sygnałów pochodzących od krzywizn toru w planie, np. poprzez wykorzystanie sygnałów od poprzecznych przyspieszeń quasi-statycznych występujących na zestawie kołowym prowadzącym lub sygnałów o wartościach sił łożyskowych.

Ponadto opracowano następujące propozycje modyfikacji zawieszeń lokomotyw dla spełnienia wymagań wynikających z norm zharmonizowanych:

- Modernizacja zawieszenia II-go stopnia na lokomotywach z wózkami trójosiowymi ET22 i SU46/45 na zawieszenia bardziej podatne na odkształcenia poprzeczne i pionowe dla obniżenia momentów oporowych między wózkiem, a nadwoziem dla poprawy bezpieczeństwa przed wykolejeniem oraz dla obniżenia sił poprzecznych oddziaływania na tor,
- na lokomotywie ET 22 zaproponowano zmianę podparć gumowych z 5020 na usprężynowanie sprężynami stalowymi wielkogabarytowymi oraz wprowadzenie układu siłowników hydraulicznych dla poprawy (podwyższenia) pionowych nacisków zestawów kołowych podczas rozruchu trakcyjnego,
- w zawieszeniu II-go stopnia lokomotywy SU-46/45 wprowadzono piątą podporę gumową dla poprawy rozkładu pionowych nacisków zestawów kołowych,
- modernizacja zawieszenia II-go stopnia na lokomotywach z wózkami dwuosiowymi EU07 i EP09 w celu zwiększenia ich podatności szczególnie w kierunku pionowym, dla poprawy bezpieczeństwa i spokojności jazdy,
- w lokomotywie EU07 wprowadzono teflonowe płytki ślizgowe w miejsce stalowych w podparciach bocznych nadwozia na wózkach dla obniżenia bocznych przyspieszeń. Wprowadzono napięcie wstępne sprężyn w wyżej wymienionych podparciach dla obniżenia współczynnika kołysania nadwozia, jak również dla obniżenia przyspieszeń.

Dla poprawy w/w parametrów ponadto wprowadzono:

- stabilizator kołysania nadwozia (drażek stabilizujący),
  - silne pionowe tłumiki hydrauliczne wózek-nadwozie,
  - tłumiki wężykowania dla uzyskania stabilności ruchu dla prędkości powyżej 140 km/h.
- na lokomotywie EP09 wprowadzono sprężyny śrubowe wielkogabarytowe.

Modernizacja zawieszenia I-go stopnia wózków trójosiowych, jak i dwuosiowych dla lokomotyw ET22, SU46, EU07, EP09, ST43 oraz BR 232 zmierzająca do zwiększenia ich podatności i obniżenia oporów tarcia przy pionowych ugięciach układu sprężynowania, dla poprawy bezpieczeństwa i spokojności jazdy.

- na lokomotywie ET22 w miejsce systemu resorowo - wahaczowego wprowadzono sprężyny śrubowe oraz pionowe tłumiki hydrauliczne oparte na maźnicach skrzydełkowych,
- w zawieszeniu lokomotywy SU46/45 zwiększono elastyczność systemu resorowo-wahaczowego przez dodanie sprężyn śrubowych nad resorami piórowymi.

Ponadto na tej lokomotywie wprowadzono bardzo elastyczne prowadzenie poprzeczne środkowych osi wózków w celu obniżenia poprzecznych sił H występujących na łukach i rozjazdach,

- na lokomotywie EU07 nad resorami dodano przekładki gumowe dla poprawy pionowych nacisków na koła podczas jazdy po torze zwichrowanym.

Propozycje zmian wprowadzone do rozpatrywanych lokomotyw, na podstawie oceny uzyskanych wyników obliczeń, dają następujący obraz:

- zastosowanie sprzęgu między-wózkowego na lokomotywach typu Bo-Bo (EU07, EP09) wydatnie zmniejszyło wskaźnik bezpieczeństwa przed wykolejeniem na zwichrowanych łukach torowych i zmniejszyło także poprzeczne oddziaływanie kół lokomotyw na szyny w łukach,
- wprowadzenie tłumików wężykowania zarówno na lokomotywach typu Bo-Bo i Co-Co pozwala na zwiększenie prędkości eksploatacyjnej o 20 - 80 km/h dzięki poprawie stateczności biegu wózków,
- zmodernizowanie II-go stopnia usprężynowania nadwozi lokomotyw znacząco poprawia spokojność jazdy i bezpieczeństwo przed wykolejeniem lokomotyw typu Bo-Bo i Co-Co bez szkodliwych skutków ubocznych dla oddziaływania na tor w łukach,

- zmodernizowanie zawieszenia I-go stopnia poprawia głównie znacząco bezpieczeństwo przed wykolejeniem lokomotyw. Przy czym pozostałe wskaźniki dynamiczne (oddziaływanie na tor, wskaźnik spokojności biegu) ulegają niewielkim niekorzystnym zmianom,
- modernizacja prowadzenia poprzecznego wzdłużnego zestawów kołowych lokomotyw typu Co-Co poprzez usztywnienie prowadników maźnic osi skrajnych i uelastycznienie prowadników osi środkowych wprowadziła istotną poprawę oddziaływania wózków na tor w łukach i odcinkach prostych, a ponadto istotnie, korzystnie wpłynęła na spokojność biegu i na stateczność,
- mechatroniczne sterowanie kątem obrotu wózków względem pudła w lokomotywach typu Bo-Bo oraz Co-Co daje znakomite efekty oddziaływania zestawów kołowych na tory zakrzywione, bez istotnych efektów ubocznych (np. na stateczność biegu). Zagadnienie to wymaga jednak dalszych studiów teoretycznych i badań doświadczalnych, zanim można będzie je proponować do zastosowania w praktyce produkcyjnej.

### 3. Zestawienie parametrów o istotnym wpływie na własności dynamiczne badanych lokomotyw

Przeprowadzone obliczenia symulacyjne i analizy uzyskanych wyników wyłoniły, następujące istotne parametry układu biegowego lokomotyw w odniesieniu do jakości biegu, spokojności jazdy, oddziaływania na tor i bezpieczeństwa ruchu.

+ Lokomotywa **EU07(A)**:



#### - w zespole zawieszenia I-go stopnia:

- sztywność pionowa resorowania maźniczego w aspekcie sprężynach nadresorowych,
- sztywność pionowa samego resoru piórowego,
- współczynnik tarcia między piórami resorów,
- sztywność pionowa prowadników zestawów kołowych typu Alstom,
- sztywność poprzeczna prowadników zestawów kołowych typu Alstom,
- luzy poprzeczne w łożyskach maźniczych,

**- w zespole zawieszenia II-go stopnia:**

- sztywność pionowa zawieszenia nadwozia na ramie wózka,
  - sztywność na kołysanie nadwozia względem ramy wózka,
  - współczynnik tarcia na ślizgach oparcie bocznych nadwozia na belce bujawkowej,
  - siła napięcia wstępnych pionowych oparcie bocznych, jako blokada kołysania nadwozia na wózkach,
  - charakterystyka poprzeczna elastomerowych zderzaków pudło - wózek,
  - charakterystyka poprzecznych i pionowych tłumików hydraulicznych.
- + Lokomotywa SU/ST45-46:



**- w zespole zawieszenia I-go stopnia:**

- sztywność pionowa resorowania maźniczego w sprężynach nadresorowych,
  - sztywność pionowa samego resoru piórowego,
  - współczynnik tarcia między piórami resorów,
  - sztywność pionowa przewodników zestawów kołowych typu Alstom,
  - sztywność poprzeczna przewodników zestawów kołowych typu Alstom,
  - luzy poprzeczne w łożyskach maźniczych,
- w zespole zawieszenia silników trakcyjnych względem ramy wózka i zestawów kołowych:**
- sztywność poprzeczna przewodników silnika,
  - wielkość luzów poprzecznych na panewkach łożysk ślizgowych oparcia silnika-przekładni trakcyjnej na osi zestawu kołowego,

- sztywność poprzeczna i pionowa amortyzatorów w zawieszeniu "za nos" na ramie wózka,
- współczynniki tłumienia w w/w prowadzeniu względem ramy wózka,

**- w zespole zawieszenia II-go stopnia:**

- sztywność pionowa podparcie nadwozia na ramie wózka,
- sztywność poprzeczna podparcie nadwozia na ramie wózka,
- sztywność blokady obrotu wózka przed galopowaniem względem osi poprzecznej (siłowniki hydrauliczne),
- charakterystyka poprzeczna elastomerowych zderzaków pudło - wózek,
- charakterystyka poprzecznych i pionowych tłumików hydraulicznych.

+ Lokomotywa ET22-2000:



**- w zespole zawieszenia I-go stopnia:**

- sztywność pionowa resorowania maźniczego w sprężynach nadresorowych,
- sztywność pionowa samego resoru piórowego,
- współczynnik tarcia między piórami resorów,
- sztywność pionowa przewodników zestawów kołowych Alstom,
- sztywność poprzeczna przewodników zestawów kołowych Alstom,
- luzy poprzeczne w łożyskach maźniczych,

**- w zespole zawieszenia II-go stopnia:**

- sztywność pionowa podparcie nadwozia na ramie wózka,
- sztywność poprzeczna podparcie nadwozia na ramie wózka,
- sztywność blokady obrotu wózka przed galopowaniem względem osi poprzecznej (siłowniki hydrauliczne),
- charakterystyka poprzeczna elastomerowych zderzaków pudło - wózek,
- charakterystyka poprzecznych i pionowych tłumików hydraulicznych.

+ Lokomotywa E6ACT:



- w zespole zawieszenia I-go stopnia:

- sztywność pionowa sprężyn śrubowych węzła maźniczego,
- sztywność poprzeczna przewodników zestawów kołowych typu Alstom,

- charakterystyka pionowych tłumików hydraulicznych,
- w zespole zawieszenia silników trakcyjnych względem ramy wózka i zestawów kołowych:
  - sztywność poprzeczna i pionowa amortyzatorów w zawieszeniu "za nos" na ramie wózka,
  - współczynników tłumienia w w/w prowadzeniu względem ramy wózka,
- w zespole zawieszenia II-go stopnia:
  - sztywność pionowa podparć nadwozia na ramie wózka,
  - sztywność poprzeczna podparć nadwozia na ramie wózka,
  - charakterystyka poprzeczna elastomerowych zderzaków pudło - wózek,
  - charakterystyka poprzecznych i pionowych tłumików hydraulicznych.

#### 4. Zakresy modernizacji oraz parametry zespołów po zmianach

L.p.	Rodzaj lokomotywy	Proponowany zakres modernizacji	Wskazane parametry do modernizacji
1	2	3	4
1.	<b>Lokomotywy z wózkami trójosiowymi</b>	- Modernizacja zawieszenia II-go stopnia	Zawieszenie jednego wózka na czterech podporach
1.1.	ET 22 [8], SU45/46 [9]	-Zmiana podparć gumowych Z502a na usprężynowanie sprężynami stalowymi wielkogabarytowymi oraz wprowadzenie układu siłowników hydraulicznych  (rozwiązanie realizowane w lokomotywie ET22-2000)	- Parametry, których wprowadzenie umożliwia uzyskanie większej podatności na odkształcenia poprzeczne i pionowe dla poprawy bezpieczeństwa przed wykolejeniem oraz obniżenia sił poprzecznego oddziaływania na tor: <ul style="list-style-type: none"> <li>• sztywność poprzeczna pojedynczych podpór z wartości 0.20 ÷ 0.40 powinna zostać zmniejszona na wartości z zakresu 0.05 ÷ 0.15 kN/mm,</li> <li>• sztywność pionowa pojedynczych podpór z wartości 2.3 ÷ 3.0 powinna zostać zmniejszona na wartości z zakresu 0.3 ÷ 0.5 kN/mm,</li> <li>• zwiększenie tłumienia w kierunku poziomym i pionowym uzyskać przez dodatkowe tłumiki hydrauliczne,</li> <li>• ewentualny niedobór siły poprzecznej dla większych wychyleń nadwozia zrealizować poprzez zastosowanie progresywnych zderzaków elastomerowych,</li> <li>• niedobór sztywności obrotowej układu podparć należy uzupełnić sztywnością realizowaną przez pionowe siłowniki hydrauliczne, załączane podczas rozruchu sił trakcyjnych. Siłowniki należy mocować na końcach ram wózków i połączyć ich układy olejowe w system "diagonalny".</li> </ul>
1.2.	SU 45/46	-Wprowadzenie piątej podpory gumowej lub sprężyny śrubowej dla poprawy rozkładu pionowych nacisków zestawów kołowych	<ul style="list-style-type: none"> <li>• sztywność poprzeczna dodatkowych podpór o wartościach z zakresu 0.05 ÷ 0.25 kN/mm</li> <li>• sztywność pionowa dodatkowych podpór o wartościach z zakresu 0.25 ÷ 2.5 kN/mm</li> </ul>

L.p.	Rodzaj lokomotywy	Proponowany zakres modernizacji	Wskazane parametry do modernizacji
1	2	3	4
1.3.	E6ACT	-Zmiana parametrów sprężyn i zainstalowanie odbijaków poprzecznych (zmiany wprowadzone na prototypie tej lokomotywy w 2011r)	-Wprowadzenie parametrów zwiększających podatność zawieszenia w kierunku poprzecznym i obniżenie oporów skrętu wózków oraz podwyższenie pionowych ugięć układu sprężynowania dla poprawy bezpieczeństwa i spokojności jazdy: <ul style="list-style-type: none"> <li>• sztywność poprzeczna pojedynczych podpór z wartości <math>0.60 \div 0.80</math> powinna zostać zmniejszona na wartości z zakresu <math>0.05 \div 0.25</math> kN/mm,</li> <li>• sztywność pionowa pojedynczych podpór z wartości <math>0.5 \div 0.8</math> powinna zostać zmniejszona na wartości z zakresu <math>0.2 \div 0.4</math> kN/mm,</li> <li>• ewentualny niedobór siły poprzecznej dla realizacji większych wychyleń nadwozia zrealizować poprzez zastosowanie progresywnych zderzaków elastomerowych,</li> <li>• zmiana skoku roboczego tłumików hydraulicznych pionowych i poprzecznych,</li> </ul>
		-Modernizacja zawieszenia I-ego stopnia	
1.4.	ET 22	-Wprowadzenie - w miejsce systemu wahaczowego sprężyn śrubowych lub elastomerowych nad resorami piórowymi, -Wprowadzenie bardzo elastycznych prowadników maźnic w kierunku pionowym,  -Wprowadzenie - w miejsce systemu wahaczowego sprężyn śrubowych lub elastomerowych zamiast resorów piórowych (rozwiązanie lokomotywy ET22-2000)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• sztywność pionowa kompletów sprężyn o wartościach <math>0.2 \div 1.0</math> kN/mm,</li> <li>• sztywność pionowa przegubów prowadników realizująca sztywność pionową na węzeł maźniczy w zakresie <math>0 \div 0.4</math> kN/mm przy niezmienionej znacząco sztywności poprzecznej.</li> <li>• sztywność pionowa sprężyn w węźle maźniczym o wartościach <math>0.60 \div 1.6</math> kN/mm,</li> <li>• sztywność poprzeczna sprężyn w węźle maźniczym o wartościach <math>6 \div 30</math> kN/mm</li> </ul>
1.5.	SU 46/45	-Zwiększenie elastyczności systemu resorowo-wahaczowego przez dodanie sprężyn śrubowych nad resorami piórowymi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• sztywność pionowa przegubów prowadników realizująca sztywność pionową w węźle maźniczym z zakresu <math>0 \div 0.4</math> kN/mm, przy niezmienionej znacząco sztywności poprzecznej,</li> <li>• sztywność pionowa sprężyn w węźle maźniczym <math>0.60 \div 1.6</math> kN/mm,</li> <li>• sztywność poprzeczna sprężyn w węźle maźniczym <math>6 \div 30</math> kN/mm.</li> </ul>
1.6.	SU 46/45	-Wprowadzenie bardzo elastycznego prowadzenia poprzecznego środkowych osi wózków dla obniżenia poprzecznych sił H występujących na łukach i rozjazdach (wprowadzono na zmodernizowanej lokomotywie ST46)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• sztywność poprzeczna przegubów prowadników realizująca sztywność poprzeczną na węzeł maźniczy z zakresu <math>0 \div 0.5</math> kN/mm, przy ograniczonej z góry sztywności pionowej.</li> <li>• prowadzenie poprzeczne silników trakcyjnych względem ram wózków przeniesione ze sztywnych ciągieł na dodatkowe poprzeczne tłumiki hydrauliczne.</li> </ul>

2.	<b>Lokomotywy z wózkami dwuosowymi</b>	-Modernizacja zawieszenia II-go stopnia	-Parametry dla zwiększenia podatności zawieszenia głównie w kierunku pionowym, dla poprawy bezpieczeństwa i spokojności jazdy
2.1.	EU 07	<p>-Wprowadzenie teflonowych płytek ślizgowych w miejsce stalowych w podparciach bocznych nadwozia na wózkach dla obniżenia przyspieszeń bocznych</p> <p>-Wprowadzenie napięcia wstępnego sprężyn w wyżej wymienionych podparciach dla obniżenia wartości współczynnika kołysania nadwozia, co również obniży przyspieszenia boczne</p> <p>- Ponadto zaleca się wprowadzenie:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• stabilizatora kołysania nadwozia (drażek stabilizujący)</li> <li>• pionowych tłumików hydraulicznych pomiędzy wózkiem a nadwoziem</li> <li>• tłumiki wężykowania dla uzyskania stabilności ruchu dla prędkości powyżej 140 km/h</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• podparcia boczne stabilizujące nadwozie przed kołysaniem wyposażone w ultra śliskie płytki cierne o wartości współczynnika tarcia <math>0.01 \div 0.05</math>,</li> <li>• sprężyny pionowe podparć bocznych napięte wstępnie i zablokowane z tym napięciem o wartościach <math>10 \div 20\text{kN}</math> - ochrona przed nadmiernym kołysaniem nadwozia na torach prostych,</li> <li>• pionowe tłumiki hydrauliczne z zastosowaniem wysokich wartości tłumienia (<math>&gt; 150 \text{ kNs/m}</math>) w celu blokady kołysania,</li> <li>• stabilizatory kołysania o sztywności pionowej odniesionej do ramienia bocznego o wartości <math>0.7 \div 1.2 \text{ kN/mm}</math>,</li> <li>• podłużne tłumiki hydrauliczne z zastosowaniem wysokich wartości tłumienia (<math>&gt; 500 \text{ kNs/m}</math>) w celu blokady wężykowania wózków,</li> </ul>
2.2.	EP 09	<p>-Wprowadzenie wielkogabarytowych sprężyn śrubowych i tłumików wężykowania w miejsce wieszakowego układu sprężynowania</p> <p>-Modernizacja zawieszenia I-go stopnia</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• sztywność poprzeczna pojedynczych sprężyn o wartości z zakresu <math>0.05 \div 0.25 \text{ kN/mm}</math>,</li> <li>• sztywność pionowa pojedynczych sprężyn o wartości z zakresu <math>0.2 \div 0.4 \text{ kN/mm}</math>,</li> <li>• podłużne tłumiki hydrauliczne z zastosowaniem wysokich wartości tłumienia (<math>&gt; 500 \text{ kNs/m}</math>) w celu hydraulicznej blokady wężykowania wózków,</li> </ul>
2.3.	EU 07	-Dodanie nad resorami przekładek gumowych lub maźnic skrzydełkowych ze sprężynami śrubowymi oraz obniżenie sztywności pionowej prowadników maźnic dla poprawy pionowych nacisków na koło na torze zwichrowanym	<ul style="list-style-type: none"> <li>• sztywność pionowa przegubów prowadników realizująca sztywność pionową na węzeł maźniczy z zakresu <math>0 \div 0.4 \text{ kN/mm}</math> przy niezmienionej znacząco sztywności poprzecznej,</li> <li>• sztywność pionowa sprężyn na węzeł maźniczy <math>0.60 \div 1.6 \text{ kN/mm}</math>,</li> <li>• sztywność poprzeczna sprężyn na węzeł maźniczy utrzymać w wartościach <math>6 \div 30 \text{ kN/mm}</math>.</li> </ul>

## 6. Literatura.

- [1] Norma Europejska. EN-14363:2002. Kolejnictwo. Badania własności dynamicznych dla dopuszczenia (homologacji) pojazdów szynowych. Badania własności biegowych i próby stacjonarne.
- [2] J. Kisilowski. Dynamika układu mechanicznego pojazd szynowy - tor. PWN Warszawa 1991.
- [3] J. J. Kalker. A Fast Algorithm for the Simplified Theory of Rolling Contact. *Vehicle System Dynamics* 11 (1982).
- [4] Carter, F. W.. On the action of a locomotive driving wheel. *Proc. Roy. Soc. Lond. Ser A*, 112, 151-157, 1926.
- [5] Vermeulen, P. J. and Johnson, K. L.. Contact of nonspherical elastic bodies transmitting tangential forces. *Trans. ASME*, 1964.
- [6] Jaschinski, A. Chollet, H. Iwnicki, S.D. Wickens, A. H., Von Wurzen J. The application of roller rigs to railway vehicle dynamics. *Veh. Syst. Dyn.*, 31,345-392, 1999.
- [7] Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej (2008/232/WE). TSI – specyfikacja techniczna interoperacyjności podsystemu „Tabor” transeuropejskiego systemu kolei dużych prędkości.
- [8] TTS 11/2004. Konrad Gawłowski. Założenia i koncepcja modernizacji lokomotywy elektrycznej serii ET22.
- [9] S. Piątek, S. Węclewski, J. Żalopa. Lokomotywy spalinowe serii SP45. W. K. i Ł. Warszawa 1977.
- [10] H. Maciszewski, J. Pawlus, S. Sumiński. Lokomotywy elektryczne serii EU06 i EU07. W. K. i Ł. Warszawa 1973.
- [11] Z. Marciniak, A. Sienicki. Pojazdy Szynowe 1/2000. Analiza pracy układu biegowego lokomotywy EP 09 (104E) w aspekcie poprawy dynamiki podłużnej i trwałości układu napędowego.
- [12] E6ACT Dragon w IPS Tabor (pol.). Rynek Kolejowy, 22 marca 2010.