

ORGANIZATORZY KONFERENCJI:



POLITECHNIKA WARSZAWSKA



**pesa**

# XXII KONFERENCJA NAUKOWA POJAZDY SZYNOWE 2016



30 maja - 1 czerwca 2016 r.  
Bydgoszcz, Gniew

www.stanleys-steamers.gen.nz - dostęp on-line 28.04.2016

PATRONAT HONOROWY KONFERENCJI:

JM REKTOR  
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ



SPONSOR I PATRON MEDIALNY:

PATRONAT MEDIALNY KONFERENCJI:



**Kurier**  
KOLEJOWY

**tts** TECHNIKA  
TRANSPORTU SZYNOWEGO



<b>Mirosław Siergiejczyk, Jacek Paś, Adam Rosiński</b> – Wybrane zagadnienia eksploatacji wagonowych systemów rozgłoszeniowych w aspekcie zakłóceń elektromagnetycznych .....	32
<b>Marek Sitarz</b> – Kultura bezpieczeństwa w transporcie szynowym .....	33
<b>Aleksander Sładkowski, Bogusław Łazarz, Krzysztof Bizoń</b> – Zastosowanie metody elementów skończonych do obliczeń wytrzymałościowych mocowania typu SB-3 .....	33
<b>Andrzej Sowa</b> – Analiza poprawności użycia wybranych pojęć w rozporządzeniu wykonawczym UE nr 402/2013 dotyczącym transportu kolejowego.....	34
<b>Maciej Szkoda</b> – Model RAMS w cyklu istnienia kolejowych środków transportu.....	34
<b>III TECHNOLOGIA I LOGISTYKA TRANSPORTU SZYNOWEGO .....</b>	<b>35</b>
<b>Marianna Jacyna, Mirosław Krześniak</b> – Planowanie organizacji przemieszczania wagonów ładownych w systemie rozproszonym .....	35
<b>Marianna Jacyna, Michał Urbaniak</b> – Organizacja ruchu pociągów w obrębie stacji a oszczędność energii .....	35
<b>Marianna Jacyna, Jolanta Żak, Piotr Gołębiowski</b> – O pewnym podejściu do oceny procesów w transporcie kolejowym .....	36
<b>Natalia Karkosińska-Brzozowska, Michał Urbaniak</b> – Bariery stosowania technologii odzysku energii w transporcie szynowym .....	36
<b>Piotr Kisielewski</b> – System informatycznego wspomaganie logistyki transportu kolejowego .....	37
<b>Jarosław Poznański, Danuta Żebrak</b> – Zastosowanie modelowania procesów transportowych do organizacji kolejowych przewozów ładunków.....	37
<b>Waldemar Woźniak, Roman Stryjski, Janusz Mielniczuk, Tomasz Wojnarowski</b> – Propozycja algorytmu redukującego operacje przeładunkowe w intermodalnym węzle kolejowo-drogowym.....	38
<b>Andrzej Żurkowski</b> – Kształtowanie obsługi przewozów międzyaglomeracyjnych i aglomeracyjnych nowoczesnym taborze kolejowym.....	38
<b>IV INNOWACJE W TRANSPORCIE SZYNOWYM .....</b>	<b>39</b>
<b>Rafał Cichy</b> – Dopuszczenie pojazdów do eksploatacji po modernizacji i odnowieniu – wymagania europejskie i krajowe.....	39
<b>Maciej Dulak, Elżbieta Wyraz</b> – przegląd innowacji oraz udogodnień w kolejowych przewozach pasażerskich .....	39
<b>Marcin Kozak</b> – ICOM – zintegrowany system diagnostyczny pojazdów szynowych.....	40
<b>Krzysztof Lewandowski</b> – Economically principles of usage of the hybrid passenger rail vehicles .....	40
<b>Marian Medwid, Włodzimierz Stawecki, Wojciech Jakuszko, Jarosław Czerwiński</b> – Wielozadaniowy ciągnik szynowo-drogowy nowej generacji .....	40
<b>Bartosz Szachniewicz</b> – Ocena możliwości zastosowanie komercyjnych urządzeń mobilnych platformy android w czynnościach związanych z obsługą pasażerów przez drużyny konduktorskie w komunikacji kolejowej.....	41
<b>Mirosław Siergiejczyk, Stanisław Gago</b> – Radio kabinowe w okresie migracji od systemu VHF do systemu GSM-R w polskim kolejnictwie.....	41
<b>Elżbieta Wyraz, Augustyn Lorenc</b> – Cargos location monitoring systems in intermodal transport .....	42
<b>V KONSTRUKCJA POJAZDÓW SZYNOWYCH .....</b>	<b>43</b>
<b>Grażyna Barna</b> – Zastosowanie środowiska MATLAB SIMULINK® z przybornikiem XPC TARGET do symulacji HIL pojazdów szynowych i ich podzespołów.....	43
<b>Mariusz Far, Wojciech Jakuszko, Jarosław Czerwiński</b> – Układ wnętrza wagonów osobowych przystosowanych do przewozu osób o ograniczonej zdolności poruszania się, w zależności od sposobu umieszczenia osoby podróżującej na wózku inwalidzkim w wagonie .....	43

## ZASTOSOWANIE METODY ELEMENTÓW SKOŃCZONYCH DO OBLICZEŃ WYTRZYMAŁOŚCIOWYCH MOCOWANIA TYPU SB-3

Aleksander Śladkowski<sup>1</sup>, Bogusław Łazarz, Krzysztof Bizoń

Politechnika Śląska

<sup>1</sup>Aleksander.Sladkowski@polsl.pl

*Słowa kluczowe: mocowanie typu SB-3 szyn do podkładów strunobetonowych, metoda elementów skończonych, obliczenia wytrzymałościowe, zjawisko kontaktu*

### **Streszczenie**

Autorzy podjęli próbę zbudowania w oparciu o metodę elementów skończonych i wykorzystujący ją program MSC Marc, modelu obliczeniowego mocowania szyn do podkładów strunobetonowych. Przedmiotem badań był system mocowania typu SB-3. Eksperymenty numeryczne z wykorzystaniem metody elementów skończonych obejmowały obliczenia wytrzymałościowe mocowania z uwzględnieniem zjawiska kontaktu pomiędzy jego poszczególnymi elementami. W celu przeprowadzenia obliczeń numerycznych przytwierdzenia sprężystego stworzono modele geometryczne elementów mocowania oraz ich modele dyskretne. Do stworzenia geometrycznych modeli elementów mocowania typu SB-3 wykorzystano program Autodesk Inventor Professional. Modele dyskretne oraz obliczenia wykonano wykorzystując program MSC Marc.

# XXII KONFERENCJA NAUKOWA



POLITECHNIKA WARSZAWSKA

ORGANIZATORZY KONFERENCJI:



PATRONAT  
HONOROWY KONFERENCJI:

JM REKTOR  
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ



SPONSOR I PATRON  
MEDIALNY KONFERENCJI:



PATRONAT MEDIALNY KONFERENCJI:

**Kurier**  
KOLEJOWY



30 maja - 1 czerwca 2016 r.  
Bydgoszcz, Gniew

# POJAZDY SZYNOWE 2016



**POLITECHNIKA WARSZAWSKA  
WYDZIAŁ TRANSPORTU**



**XXII KONFERENCJA NAUKOWA**

# **POJAZDY SZYNOWE 2016**

**Organizatorzy**



zorganizowana pod honorowym patronatem:

**JM REKTORA POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ**

**Polskiej Akademii Nauk Komitetu Transportu  
PAN**

## **PROGRAM KONFERENCJI**

---

**Bydgoszcz - Gniew 30 maja – 01 czerwca 2016 r.**

**Przewodniczący obrad:**

***Prof. Włodzimierz Gąsowski***

**Sekretarz obrad:**

*mgr Seweryn Koziak*

- 08:30 – 08:45 ***Krzysztof Bizoń, Aleksander Śladkowski, Bogusław Łazarz:*** Obliczenia numeryczne mocowania typu SB-3 szyn do podkładów strunobetonowych z wykorzystaniem metody elementów skończonych,
- 08:45 – 09:00 ***Adrian Gill, Adam Kadziński:*** Podstawy identyfikacji zagrożeń dedykowanej obszarom analiz w systemie kolejowym,
- 09:00 – 09:15 ***Małgorzata Kuźnar, Augustyn Lorenc:*** Risk minimization methods for loading dangerous goods into tanker train,
- 09:15 – 09:30 ***Mirosław Siergiejczyk, Jacek Paś, Adam Rosiński:*** Wybrane zagadnienia eksploatacji wagonowych systemów rozgłoszeniowych w aspekcie zakłóceń elektromagnetycznych,
- 09:30 – 09:45 ***Juliusz Karolak, Michał Podwysocki:*** Wykorzystanie systemu SOP w nowym laboratorium Kierowania i Sterowania Ruchem Kolejowym na Wydziale Transportu Politechniki Warszawskiej,
- 09:45 – 10:00 ***Anna Kobaszyńska-Twardowska, Adrian Gill:*** Analiza zdarzeń niebezpiecznych na przejazdach kolejowych z udziałem kierowców metodą Bow-Tie
- 10:00 – 10:15 ***Roksana Licow, Franciszek Tomaszewski:*** Analiza przyczyn zużywania się (uszkodzenia) szyn w zależności od parametrów techniczno – eksploatacyjnych toru,
- 10:15 – 10:30 ***Tomasz Płonka, Radosław Rak:*** Systemy przeciwpoślizgowe MGS3 firmy Knorr-Bremse,
- 10:30 – 11:00 PRZERWA KAWOWA**



Instytut Pojazdów  
Szynowych

# POJAZDY SZYNOWE 2016

## ZASTOSOWANIE METODY ELEMENTÓW SKOŃCZONYCH DO OBLICZEŃ WYTRZYMAŁOŚCIOWYCH MOCOWANIA TYPU SB-3

Aleksander Śladkowski prof. dr hab., Bogusław Łazarz prof. dr hab. inż., Krzysztof Bizoń dr inż.  
Politechnika Śląska

**e-mail:** Aleksander.Sladkowski@polsl.pl

*Słowa kluczowe: mocowanie typu SB-3 szyn do podkładów strunobetonowych, metoda elementów skończonych, obliczenia wytrzymałościowe, zjawisko kontaktu*

### **Streszczenie**

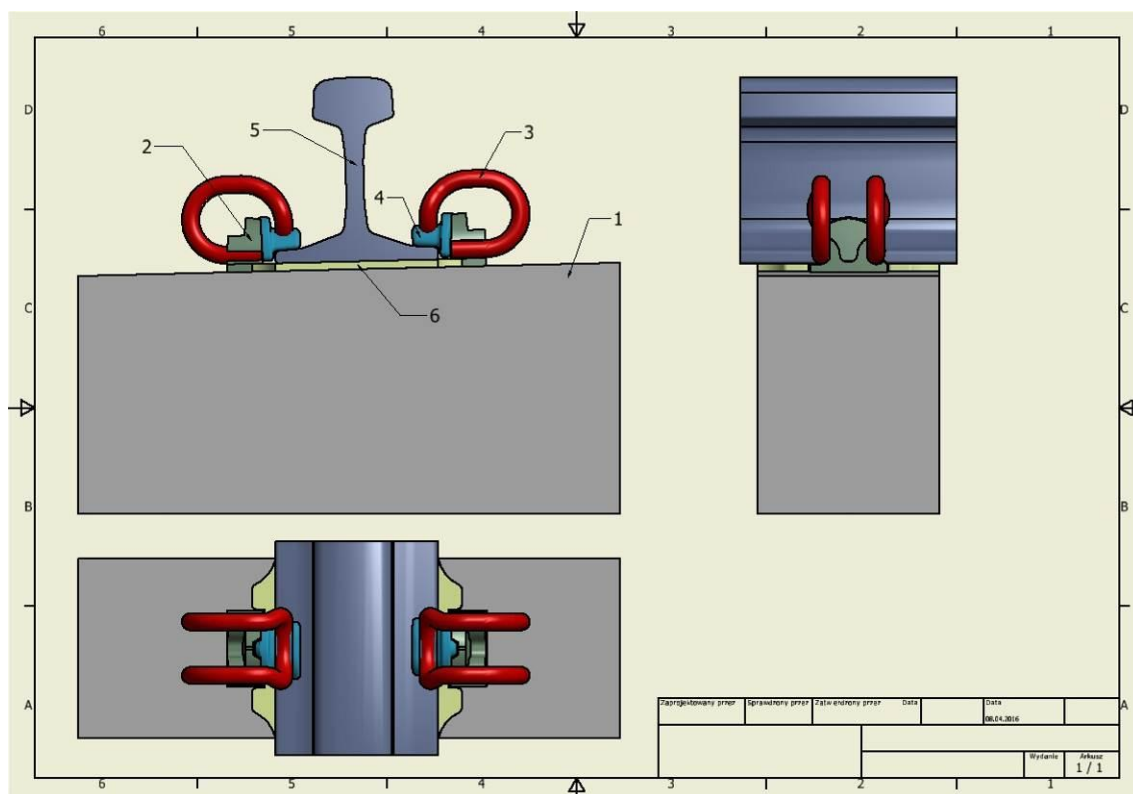
*Autorzy podjęli próbę zbudowania w oparciu o metodę elementów skończonych i wykorzystujący ją program MSC Marc, modelu obliczeniowego mocowania szyn do podkładów strunobetonowych. Przedmiotem badań był system mocowania typu SB-3. Eksperymenty numeryczne z wykorzystaniem metody elementów skończonych obejmowały obliczenia wytrzymałościowe mocowania z uwzględnieniem zjawiska kontaktu pomiędzy jego poszczególnymi elementami. W celu przeprowadzenia obliczeń numerycznych przytwierdzenia sprężystego stworzono modele geometryczne elementów mocowania oraz ich modele dyskretne. Do stworzenia geometrycznych modeli elementów mocowania typu SB-3 wykorzystano program Autodesk Inventor Professional. Modele dyskretne oraz obliczenia wykonano wykorzystując program MSC Marc.*

### **1 CHARAKTERYSTYKA MOCOWAŃ TYPU SB-3 SZYN DO PODKŁADÓW**

Najnowszym typem przytwierdzeń szyn do podkładów stosowanych na polskich kolejach są przytwierdzenia typu SB (SB-3, SB-4, SB-7). W roku 1979 w Centralnym Ośrodku Badań i Rozwoju Techniki Kolejnictwa (późniejsze nazwy to: od roku 1987 Centrum Naukowo Techniczne Kolejnictwa, od roku 2010 Instytut Kolejnictwa) powstała pierwsza koncepcja mocowania tego typu. Pierwsze tego typu mocowanie sprężyste otrzymało nazwę SB-3 i od dnia 15 maja 1981r. jest chronione patentem wydanym przez Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej.

Przytwierdzenia typu SB to przytwierdzenia sprężyste. Śruby dociskające stosowane w poprzednio stosowanych rozwiązaniach (mocowanie sztywne typu K, mocowanie sprężyste typu Sk1) zostały zastąpione elementami sprężystymi tzw. łapkami sprężystymi i to one są głównym elementem mocowania odpowiedzialnym za docisk szyny do podkładu. Przytwierdzenia sprężyste typu SB-3 stosuje się przeważnie wraz z podkładami strunobetonowymi. Istnieją jednak rozwiązania, które pozwalają na zaadaptowanie mocowania typu SB do montażu wraz z podkładami drewnianymi. Przytwierdzenie SB-3 jest jednym z najnowocześniejszych typów mocowań, który może być stosowany zarówno do szyn kolejowych jak i tramwajowych. Cechuje je szybki montaż i demontaż, amortyzacja drgań pochodzących od taboru oraz bardzo dobra izolacja elektryczna ograniczająca do minimum trakcyjne prądy błądzące, duża trwałość, moż-

liwość stosowania na liniach dużych prędkości (powyżej 120 km/godzinę), niewielka ilość składowych elementów, obniżenie poziomu hałasu i drgań (ważne szczególnie w pociągach pasażerskich), możliwość montażu przy pomocy urządzeń mechanicznych lub ręcznie. Mocowanie typu SB przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1 - Schemat mocowania sprężystego typu SB-3

W podkładzie (1), którego jedynie fragment przedstawiono na rysunku 1, zabetonowane są kotwy (2), w kotwach osadzone są łapki sprężyste (3), które za pośrednictwem wkładek elektroizolacyjnych (4) dociskają szynę (5) do przekładki podszynowej (6) spoczywającej bezpośrednio na podkładzie.

Przykład przytwierdzenia SB-3 przedstawiono na rysunku 2.

Elementy mocowania typu SB i funkcje jakie spełniają są następujące [1]:

- dwie kotwy z żeliwa sferoidalnego, zabetonowane w podkładzie strunobetonowym, służące do mocowania ramion łapek sprężystych w otworach zamkniętym i otwartym i zapewniające wymaganą szerokość toru oraz dostateczny opór na boczne przesunięcie szyn,





Instytut Pojazdów  
Szynowych

## POJAZDY SZYNOWE 2016

- dwie łapki sprężyste z okrągłego pręta, zapewniające wymagany docisk szyny do podkładu oraz możliwość sprężystego odkształcania się szyny w płaszczyźnie poziomej pod wpływem sił bocznych,
- dwie wkładki izolacyjne z poliamidu, zapewniające przekazywanie nacisku łapek sprężystych na stopkę szyny z jednoczesnym zwiększeniem oporu szyny na przesunięcia podłużne oraz gwarantujące wymaganą rezystancję pomiędzy szyną i podkładem,
- przekładka z wysokiej jakości tworzywa sztucznego, zapewniająca zwiększenie oporu szyny na przesunięcia podłużne oraz przekazywanie nacisku stopki szyny na podkład, zdolna do pochłaniania energii (zmniejszenie oddziaływań dynamicznych) oraz tłumienie drgań.



Rys. 2 - Mocowanie sprężyste typu SB-3

System przytwierdzenia szyn do podkładów został uznany przez Unię Europejską jako składnik interoperacyjności kolei i w związku z tym musi spełniać wymagania zawarte w dokumentach wydanych przez Komisję Europejską. Tymi dokumentami są m.in. normy europejskie PN-EN 13481 (1÷7):2004 „Kolejnictwo – Tor – Wymagania eksploatacyjne dla systemów przytwierdzeń”, uzupełnione ośmioma normami europejskimi PN-EN 13146 (1÷8): 2003(U) „Kolejnictwo – Tor – Metody badania systemów przytwierdzeń”. Normy serii 13481 precyzują wymagania, które powinny spełnić systemy przytwierdzeń do podkładów drewnianych, betonowych i stalowych, do nawierzchni bezpodsypkowych i do rozjazdów. Ujednolicone sposoby



Instytut Pojazdów  
Szynowych

# POJAZDY SZYNOWE 2016

badan i kryteria jednolitej oceny dowolnych systemów przytwierdzeń opisują normy serii 13146. Dotyczą one następujących badań [1]:

- określenie oporu podłużnego szyny,
- określenie oporu na skręcanie,
- określenie tłumienia obciążeń dynamicznych,
- badanie efektu obciążeń powtarzalnych,
- określenie rezystencji,
- badanie wpływu skrajnych warunków środowiskowych,
- określenie siły docisku,
- badania eksploatacyjne

Większość z wymienionych powyżej badań wykonują się na specjalnie przygotowanych stanowiskach laboratoryjnych. Autorzy projektu podjęli próbę wykonania modelu obliczeniowego mocowania typu SB-3 z wykorzystaniem metody elementów skończonych, który umożliwiłby wstępne, szacunkowe określenie wartości wielkości wyznaczanych podczas badań laboratoryjnych prowadzonych z wykorzystaniem rzeczywistych mocowań szyn do podkładów. Badania z wykorzystaniem modelu mocowania, modelu bazującym na metodzie elementów skończonych, umożliwiłyby przeprowadzenie obliczeń numerycznych na etapie projektowania nowych rozwiązań mocowań. Na przykład podczas projektowania nowego kształtu łapek sprężystych, przekładek podszytowych, użycia nowych materiałów itp.

Model wykonany przez autorów opracowania ma charakter modelu wstępnego, testowego i z pewnością wymaga wprowadzenia wielu zmian. Wprowadzenie zmian będzie z pewnością konieczne po weryfikacji wartości wyników obliczeń numerycznych i porównaniu ich z wynikami badań laboratoryjnych prowadzonych z wykorzystaniem rzeczywistego mocowania.

## 2 MODEL GEOMETRYCZNY MOCOWANIA TYPU SB-3

Na podstawie dokumentacji technicznej wykonano przestrzenne modele geometryczne następujących elementów składowych mocowania typu SB-3:

- łapka sprężysta SB7 (rysunek 3a)
- głowa kotwy SB3/P (rysunek 3b)
- wkładka dociskowa WKW 60 (rysunek 3c)
- szyna S60 (fragment)
- przekładka podszytowa PWE6094 (rysunek 3d)
- podkład PS94 (fragment)

Modele geometryczne elementów mocowania wykonano wykorzystując program Autodesk Inventor Professional. Ten sam program wykorzystano do wykonania złożenia wszystkich elementów mocowania (rysunek 3e).

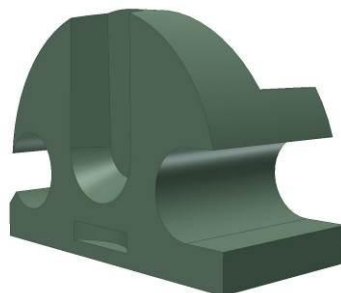


Instytut Pojazdów  
Szynowych

# POJAZDY SZYNOWE 2016



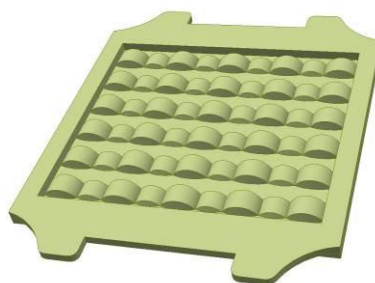
a.



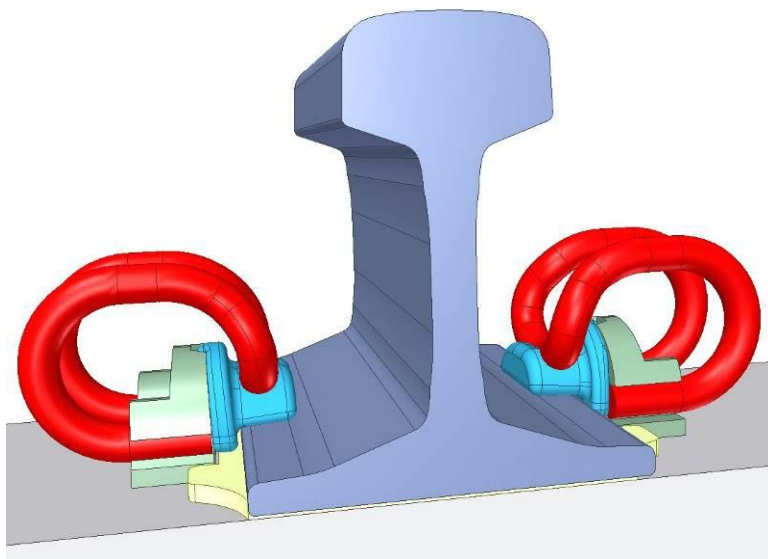
b.



c.



d.



e.

Rys. 3 – Model geometryczny mocowania sprężystego typu SB-3 i jego składowe



Instytut Pojazdów  
Szynowych

# POJAZDY SZYNOWE 2016

Model geometryczny mocowania wykonany w programie Autodesk Inventor Professional został wykorzystany jedynie częściowo podczas wykonywania modelu dyskretnego mocowania. Model dyskretny wykonano w programie MSC Marc. Bezpośrednie wykorzystanie geometrycznych, przestrzennych modeli elementów mocowania do generowania ich modeli dyskretnych nie było możliwe ze względu na brak możliwości pełnej kontroli nad wielkością, kształtem i liczbą elementów skończonych dyskretyzujących dany model geometryczny. Narzucenie siatki na przestrzenny, bryłowy model geometryczny możliwe było jedynie przy pomocy automatycznych modułów, którymi dysponuje program MSC Marc. Automatyczna generacja siatek elementów skończonych nie zapewniała jednak zgodności położenia w przestrzeni węzłów elementów skończonych, należących do dwu modeli dyskretnych, obiektów oddziałujących na siebie w taki sposób, że w miejscu ich wzajemnego oddziaływania należało uwzględnić zjawisko kontaktu. Uwzględnienie zjawiska kontaktu pomiędzy modelami dyskretnymi współpracujących części wymaga wręcz idealnego dopasowania położenia w przestrzeni węzłów siatki elementów skończonych [2, 3]. W przypadku mocowania sprężystego typu SB-3 przykładem takich wzajemnych oddziaływań może być wzajemne oddziaływanie w każdej z par tworzących mocowanie: łapki sprężystej i wkładki izolacyjnej, szyny i wkładki izolacyjnej, szyny i przekładki podszynowej, łapki sprężystej i głowy kotwy.

Wobec powyższego wykonany model geometryczny mocowania spełniał jedynie rolę informacyjną i poglądową, a jego wykorzystanie do budowy modelu dyskretnego mocowania było bardzo ograniczone. Model geometryczny wykorzystano na przykład do określenia wzajemnego położenia elementów mocowania, do określenia miejsc wzajemnego oddziaływania, do określenia wielkości, kształtu i wymiarów powierzchni wzajemnego styku niektórych elementów itp.

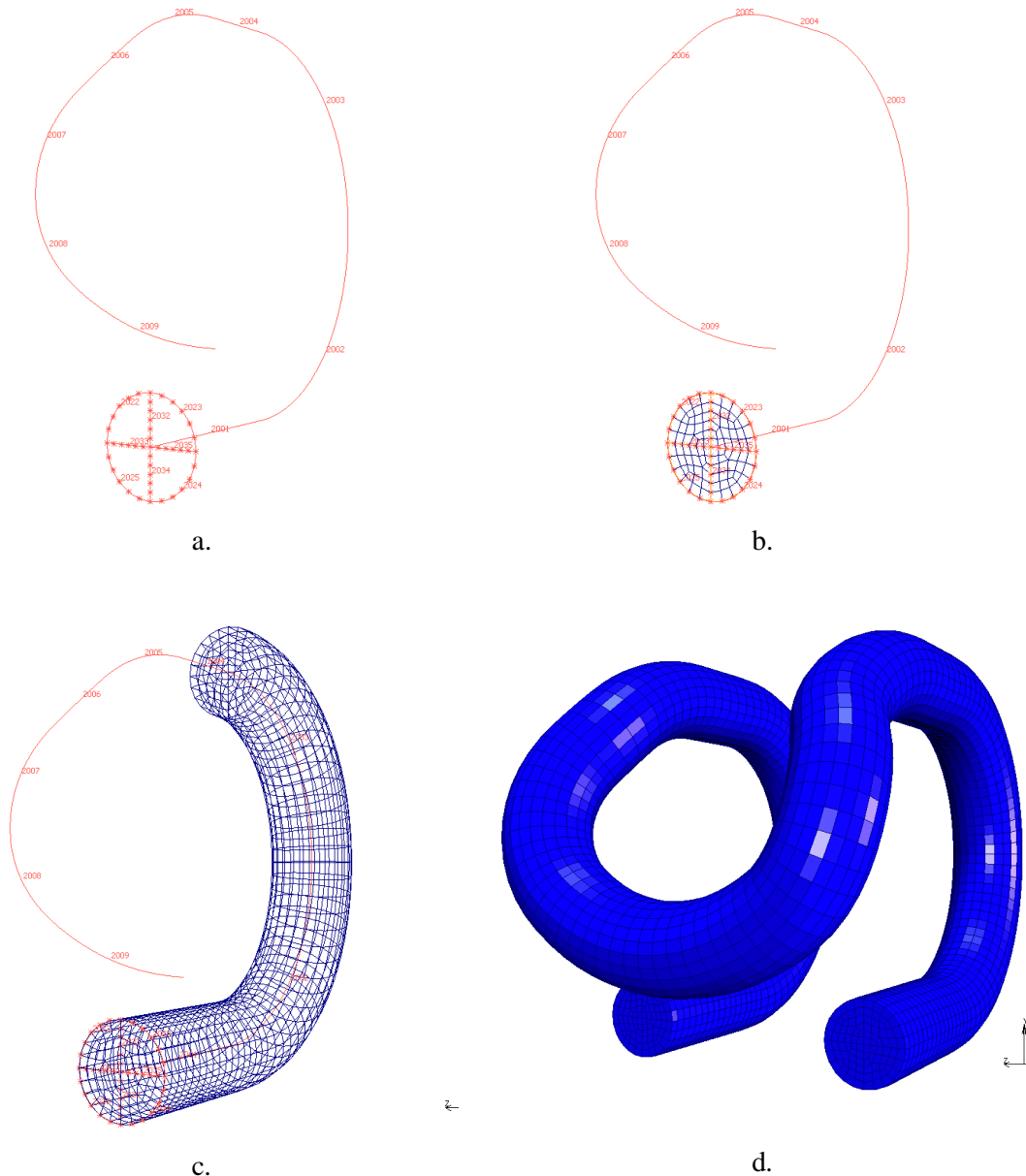
### 3 MODEL DYSKRETNY MOCOWANIA TYPU SB-3

Ograniczone wykorzystanie elementów modelu geometrycznego do budowy modelu dyskretnego polegało na użyciu jedynie wybranych jego krzywych i punktów. Przykładem takiego sposobu budowania modelu dyskretnego może być budowa modelu dyskretnego łapki sprężystej. W tym przypadku model geometryczny ograniczał się jedynie do kilku krzywych określających przekrój kołowy łapki i krzywej wiodącej (rysunek 4a), po której „przeciągnięto” siatkę płaskich elementów skończonych generując w ten sposób siatkę przestrzennych elementów skończonych tworzących model dyskretny łapki sprężystej. Liczbę węzłów elementów skończonych na czterech łukach ograniczających kołowy przekrój łapki sprężystej, liczbę węzłów elementów skończonych na czterech odcinkach pomocniczych (niejako promieniach kołowego przekroju poprzecznego łapki) można było definiować w dowolny sposób, zarówno co do liczby jak i położenia wzdłuż krzywych (rysunek 4b). Krzywa wiodąca łapki sprężystej została podzielona na kilka krzywych. Liczbę elementów skończonych bryłowych, generowanych wzdłuż krzywej wiodącej (rysunek 4c) na podstawie siatki płaskich elementów skończonych dyskretyzujących przekrój łapki sprężystej, również można było definiować w dowolny sposób. Postępując w sposób opisany powyżej otrzymano model dyskretny łapki sprężystej zbudowany z elementów skończonych, których liczba, wielkość i kształt były kontrolowane (rysunek 4d).



Instytut Pojazdów Szynowych

# POJAZDY SZYNOWE 2016



Rys. 4 – kolejne etapy tworzenia modelu dyskretnego łapki sprężystej

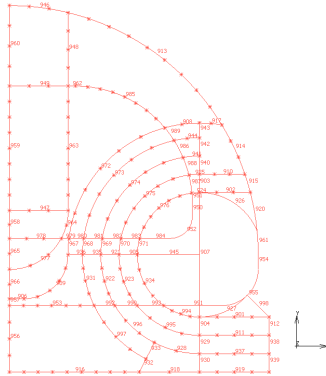
Podobny sposób budowania modeli dyskretnych zastosowano w przypadku głowy kołty i wkładki izolacyjnej. Model geometryczny w tym przypadku sprowadzał się jedynie do zbioru charakterystycznych krzywych (rysunek 5a i 5d), na podstawie którego wygenerowano „matryce” złożone z płaskich elementów skończonych (rysunek 5b i 5e). Płaskie elementy



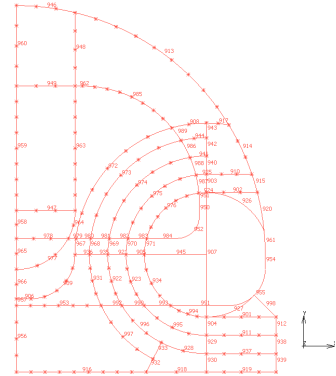
Instytut Pojazdów  
Szynowych

# POJAZDY SZYNOWE 2016

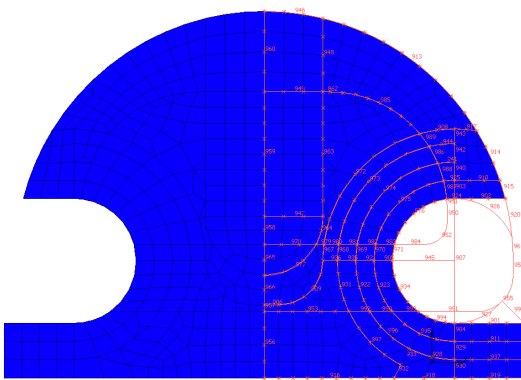
skończone posłużyły do wygenerowania przestrzennych elementów skończonych poprzez ich rozciągnięcie na odpowiednią odległość i w odpowiedniej liczbie (rysunki 5c i 5f).



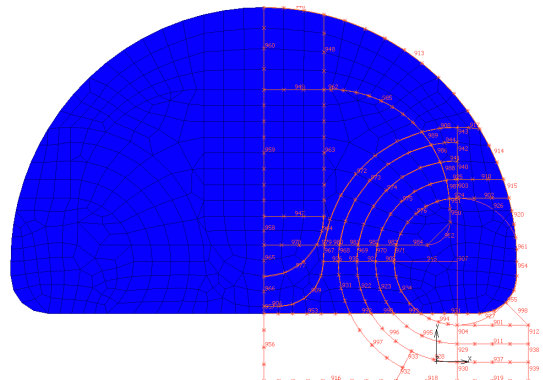
a.



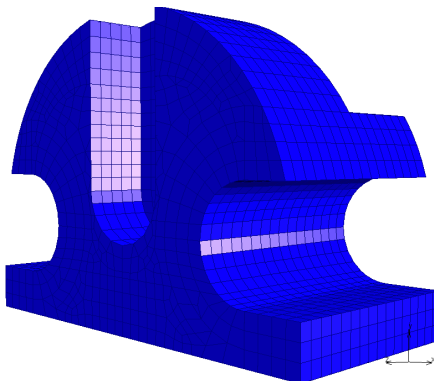
d.



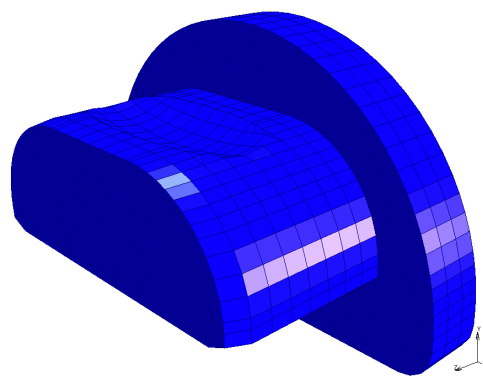
b.



e.



c.



f.

Rys. 5 – Główne etapy tworzenia modeli dyskretnych głowy kotwy i wkładki izolacyjnej



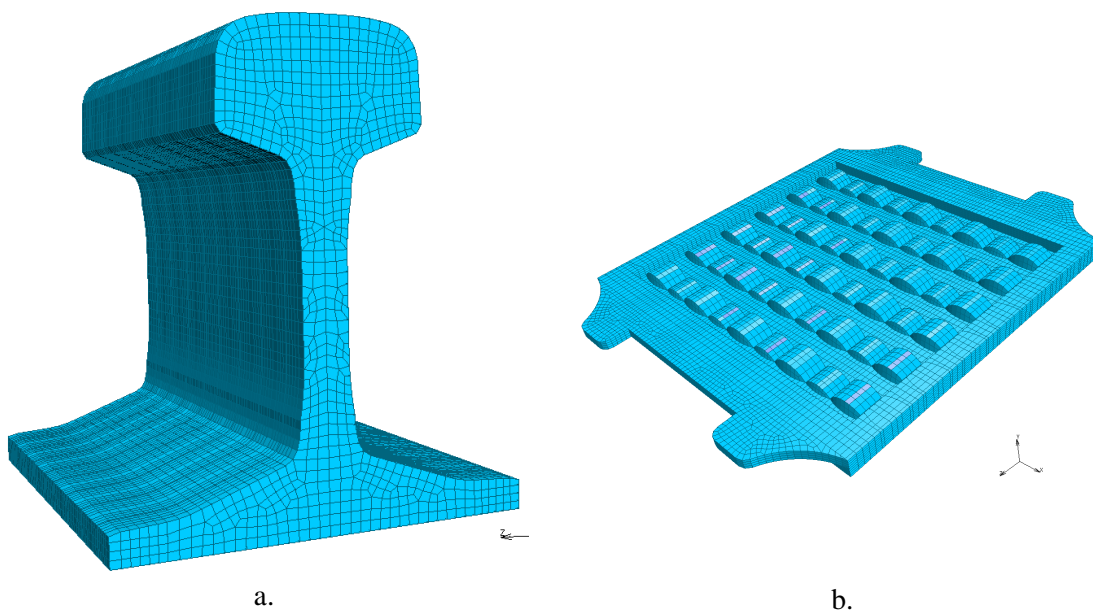
Instytut Pojazdów  
Szynowych

## POJAZDY SZYNOWE 2016

Do zbudowania wyżej przedstawionych modeli dyskretnych głowy kotwy oraz wkładki izolacyjnej użyto tego samego zbioru charakterystycznych krzywych (rysunek 5a i 5d), aby zapewnić zgodność położenia węzłów obu modeli w przestrzeni.

Oczywiście pominięto szczegóły kształtu obiektów rzeczywistych takie jak małe promienie zaokrąglenia, sfazowania o małych wymiarach. Uwzględniono jedynie istotne pochYLENIA płaszczyzn i sfazowania.

Model szyny (rysunek 6a) i model fragmentu podkładu wygenerowano stosując podobną metodę do opisaną powyżej. Bardziej skomplikowany był model dyskretny przekładki podszynowej (rysunek 6b). Jednakże ogólne zasady jego tworzenia pozostają takie, jakie zastosowano w przypadku pozostałych elementów mocowania.



Rys. 6 – Model dyskretny szyny i model dyskretny przekładki podszynowej

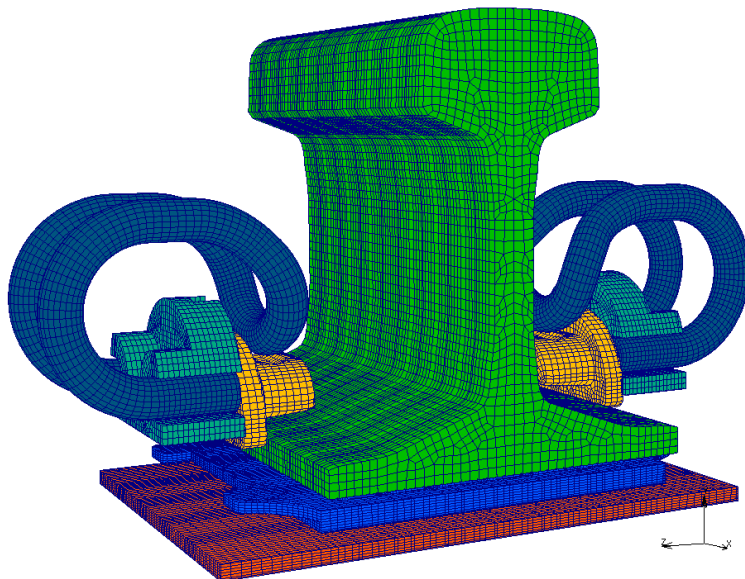
Możliwość „ręcznego” definiowania liczby, rozmiaru, a tym samym kształtu przestrzennych elementów bryłowych, miało zasadnicze znaczenie nie tylko ze względu na konieczność idealnego dopasowania węzłów siatek elementów skończonych tworzących współpracujące elementy, ale również ze względu na czas obliczeń. W przypadku uwzględnienia w modelu dyskretnym zjawiska kontaktu należy liczyć się z długim czasem obliczeń. W przypadku mocowania typu SB-3 miejsc wzajemnego kontaktu elementów tworzących mocowanie jest wiele. Należało wziąć to pod uwagę budując model dyskretny, aby otrzymać rozwiązanie po rozsądnym czasie obliczeń numerycznych wykonywanych przez komputer.

Modele dyskretnie elementów mocowania budowano wykorzystując program MSC Mark. Kompletny model dyskretny mocowania sprężystego przedstawiono na rysunku 7.



Instytut Pojazdów  
Szynowych

# POJAZDY SZYNOWE 2016



Rys. 7 – Model dyskretny mocowania sprężystego typu SB-3

## 4 WYNIKI OBLICZEŃ

Metoda obliczeń przyjęta przez autorów wymagała zdefiniowania różnicy poziomów pomiędzy najwyższym punktem kotwy (punkt A na rysunku 8a) i punktem na łapce sprężystej znajdującym się na maksymalnej wysokości nad gniazdem we wkładce izolacyjnej (punkt B na rysunku 8a). Różnica poziomów punktów A i B determinowała bowiem stopień odgięcia łapki sprężystej w górę po zamocowaniu jej w mocowaniu szyny do podkładu. Autorzy dokonali wstępnych pomiarów w terenie wyżej opisanej różnicy charakterystycznych punktów A i B mocowań typu SB-3 (rysunek 8b). Ze względu na mało precyzyjny sposób montażu mocowania szyny do podkładu, zmierzone przez autorów wartości wyżej opisanej różnicy poziomów charakterystycznych punktów A i B, wynosiły od dziesiątych części milimetra do kilku milimetrów. Średnia wartość wyznaczona na podstawie pomiarów na losowo wybranych podkładach i mocowaniach wynosiła 2.7mm. Obliczenia pozwoliły na uzyskanie wyników dla różnych wartości różnicy poziomów punktów A i B. Ze względu na trwające badania mające na celu określenie wartości własności materiałowych, a w szczególności własności materiałowych materiału przekładki podszynowej i wkładki izolacyjnej, wyniki obliczeń (rysunek 9) uzyskane przy pomocy zbudowanego modelu należy uznać za szacunkowe, a sam model za testowy. Testowe obliczenia przyniosły następujące rezultaty (wybrane, przykładowe wielkości):

- wartość maksymalna naprężeń kontaktowych w gnieździe wkładki izolacyjnej wynosiła ok. 168MPa (rysunek 9a),
- wartość maksymalna naprężeń zredukowanych w łapce sprężystej wynosiła ok. 1200MPa (rysunek 9b); granica plastyczności materiału łapki 1600MPa,





Instytut Pojazdów  
Szynowych

## POJAZDY SZYNOWE 2016

- wartość maksymalna naprężeń kontaktowych na górnej powierzchni stopy szyny (pod wkładką izolacyjną) wynosiła ok. 28MPa (rysunek 9c),
- zmiana grubości wkładki podszynowej wynosiła ok. 1.9mm (rysunek 9d).



a.



b.

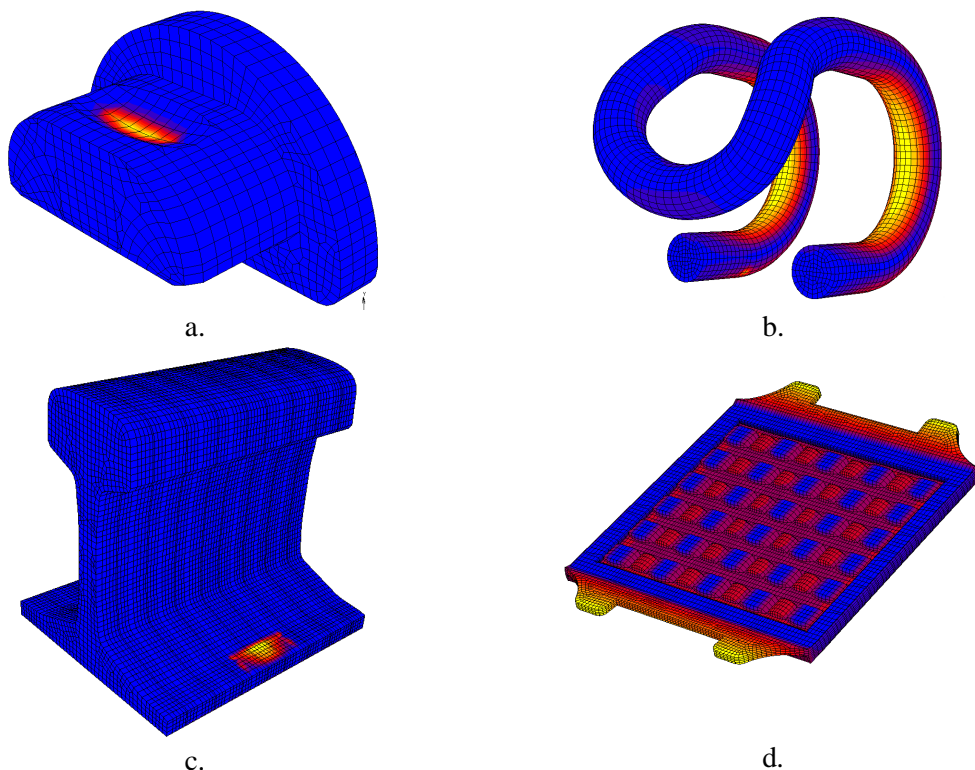
Rys. 8 – a. charakterystyczne punkty A i B na głowie kotwy i na łapce sprężystej, b. sposób wykonania pomiaru różnicy poziomów punktów A i B

Wartości własności materiałowych przypisanych poszczególnym elementom modelu dyskretnego mocowania, współczynniki tarcia pomiędzy elementami wykorzystane w obliczeniach zaczerpnięto ze źródeł literaturowych [4, 5], źródeł internetowych itp.



Instytut Pojazdów  
Szynowych

# POJAZDY SZYNOWE 2016



Rys. 9 – Przykładowe wyniki obliczeń testowych: a. mapa rozkładu naprężeń kontaktowych wewnątrz gniazda wkładki izolacyjnej, b. mapa rozkładu naprężeń zredukowanych w łapce sprężystej, c. mapa rozkładu naprężeń kontaktowych na górnej powierzchni stopy szyny pod wkładką izolacyjną, d. mapa rozkładu przemieszczeń pionowych powierzchni wkładki podszykowej

## Bibliografia

- [1] Oczykowski A.: Badania i rozwój przytwierdzenia sprężystego SB, Problemy Kolejnictwa – Zeszyt 150, Tom 54/2010, strony: 121 – 156.
- [2] Сладковский А.: Контактное взаимодействие колес и рельсов. Луганск: Русь. 2005. 189 p. ISBN 966-8051-19-X.
- [3] Śladkowski A., Kuminek T.: Influence of the FE discretization on accuracy of calculation of contact stress in a system wheel – rail. In: Proceedings 3rd Scientific Conference “New Trends in Transport and Communications”. Pardubice: Jan Perner Transport Faculty, University of Pardubice. 2003. P. 13-18. ISBN 80-7194-565-X.
- [4] Koszkuł J.: Materiały niemetalowe. Ćwiczenia laboratoryjne. Skrypt. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 1995.
- [5] Koszkuł J.: Materiały polimerowe. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 1999, ISBN 83-7193-084-4.