

ISBN 978-83-935232-8-3

Transport Problems 2016

VIII INTERNATIONAL
SCIENTIFIC
CONFERENCE

29.06-01.07 2016

Katowice
Wałbrzych

V INTERNATIONAL
SYMPOSIUM OF YOUNG
RESEARCHERS

27 - 28 June 2016

Katowice



Conference
proceedings



Faculty of Transport
Silesian University of Technology

Silesian University of Technology
Faculty of Transport



Transport Problems 2016

Proceedings

VIII International Scientific Conference

V International Symposium of Young Researchers

UNDER THE HONORARY
PATRONAGE OF THE SILESIAN GOVERNOR
AND MAYOR OF KATOWICE CITY

ISBN 978-83-935232-8-3

Transport Problems
International Scientific Journal



Silesian University of Technology
Publication
Faculty of Transport

Edition and reviews

Prof. Aleksander Ślaskowski

Technical edition

Prof. Piotr Czech

Dr. Tomasz Haniszewski

Dr. Łukasz Konieczny

Dr. Damian Gaska

Dr. Grzegorz Peruń



Silesian University of Technology
Faculty of Transport
40-019 Katowice, Krasińskiego st. 8, room 111
tel. +48 32 603 41 46
mail: tp@polsl.pl

VIII INTERNATIONAL CONFERENCE TRANSPORT PROBLEMS 2016

TABLE OF CONTENTS

No.	Authors, Title	Pages	
		Begin	End
1.	Paweł BANYŚ, Evelin ENGLER, Frank HEYMANN INTERDEPENDENCIES BETWEEN EVALUATION OF COLLISION RISKS AND PERFORMANCE OF SHIPBORNE PNT DATA PROVISION	13	27
2.	Henryk BĄKOWSKI, Bogusław ŚLEZIAK ANALYSIS OF DYNAMIC THE SIDE-MEMBER FRAME	28	33
3.	Henryk BĄKOWSKI, Tomasz HANISZEWSKI, Zbigniew STANIK EXPERIMENTAL TEST STAND FOR WEAR STUDY IN SLIDING AND ROLLING-SLIDING CONTACT UNDER EXTREME OPERATING CONDITION	34	44
4.	Oleg BICHIASHVILI, Otar GELASHVILI, Mikheil ZURIKASHVILI EFFICIENCY OF FUNCTIONING OF TRANSPORTATION COMPANIES	45	49
5.	Krzysztof BIZOŃ, Aleksander ŚLADKOWSKI SOME ASPECTS OF MODELING OF RAIL FASTENING TYPE SB-3	50	59
6.	Borys BODNAR, Yaroslav BOLZHELARSKYI, Igor LAUSHNYK MATHEMATICAL MODEL OF THE DERAILED TRAIN WHEEL MOTION	60	69
7.	Dmitriy BRUSYANIN, Marina ZHURAVSKAYA, Sergey VIKHAREV, Evgeniy SINITSYN THE MATHEMATICAL MODEL OF PUBLIC TRANSPORT NETWORK INDEX	70	75
8.	Julia BULGAKOVA CARGO FLOW MODELING IN THE INTEGRATED PRODUCTION AND TRANSPORTATION SYSTEM	76	85
9.	Jasmina BUNEVSKA TALEVSKA, Marija MALENKOVSKA TODOROVA A COMPARATIVE ANALYSIS OF EDUCATIONALY DEVELOPED MICROSCOPIC TRAFFIC SIMULATION MODEL - SFSTREETSIMODEL, VERSION 2.1	86	91
10.	Juraj ČAMAJ, Anna DOLINAYOVÁ, Jozef DANIŠ MODELS FOR DETERMINING THE CATCHMENT AREA AT THE TIME DISCRETE TRAIN FORMATION IN SLOVAK CONDITIONS	92	99
11.	Kire DIMANOSKI, Gordan STOJIC, Gligorche VRTANOSKI IMPROVING QUALITY OF RAILWAY PASSENGER SERVICE IN REPUBLIC OF MACEDONIA	100	106
12.	Saidburhan DJABBAROV, Makhamadjan MIRAKHMEDOV, Batyr MARDONOV AERODYNAMIC FIELD MODEL OF HIGH-SPEED TRAIN	107	115

spring rail fastening, finite element method, contact problems, numerical calculation

Krzysztof BIZOŃ, Aleksander ŚLADKOWSKI*

Silesian University of Technology

Krasinskiego 8, 40-019 Katowice, Poland

*Corresponding author. E-mail: Aleksander.Sladkowki@polsl.pl

SOME ASPECTS OF MODELING OF RAIL FASTENING TYPE SB-3

Summary. Now for the build of railway tracks for trains are using new designs of spring rail fastenings. These units are quite difficult to calculation, because they contain a number of contact connections. In the article developed the technique of numerical analysis of these fastenings, based on the use of the finite element method. The developed technique has been used for the analysis of some elements of SB-3 rail fastening.

WYBRANE ASPEKTY MODELOWANIA MOCOWANIA SZYN TYPU SB-3

Streszczenie. Obecnie do mocowania szyn do podkładów strunobetonowych wykorzystuje się nowe rodzaje mocowań sprężystych. Obliczenia wytrzymałościowe tego typu mocowań są trudne i czasochłonne z powodu wielu miejsc kontaktu pomiędzy współpracującymi elementami mocowania. W artykule przedstawiono metodę prowadzenia obliczeń numerycznych mocowania sprężystego z wykorzystaniem metody elementów skończonych. Opracowana metoda została wykorzystana do analizy wybranych elementów mocowania typu SB-3.

1. WSTĘP

Przytwierdzenia typu SB to przytwierdzenia sprężyste. Śruby dociskające stosowane w poprzednio stosowanych rozwiązaniach mocowań szyn do podkładów (np. mocowanie sztywne typu K, mocowanie sprężyste typu Skl) 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. 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, możliwość 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. Tor kolejowy z mocowaniem typu SB-3 przedstawiono na rysunku 1.

Elementy mocowania typu SB i funkcje jakie spełniają są następujące:

- 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,
- 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.



Fig. 1. Track with rail fastening type SB-3

Rys. 1. Tor z mocowaniem typu SB-3 szyn do podkładów

Przykład przytwierdzenia SB-3 przedstawiono na rysunku 2. W podkładzie (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.

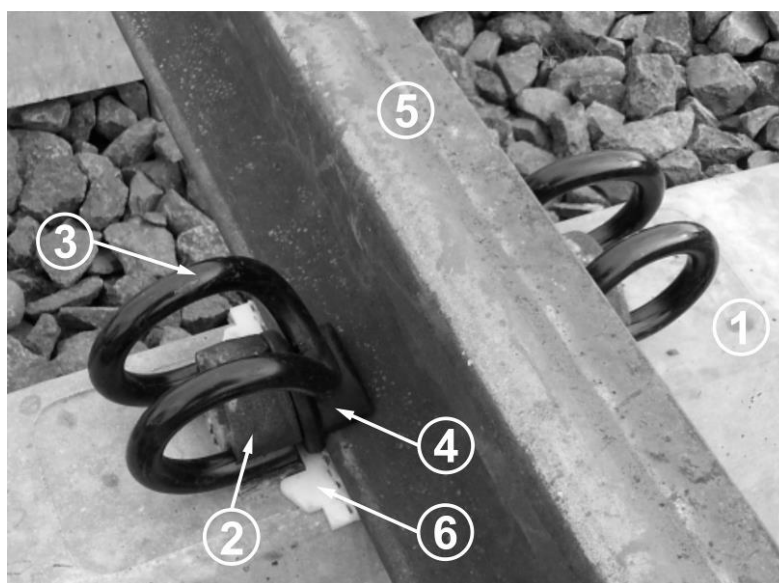


Fig. 2. Components of rail fastening SB-3 type

Rys. 2. Części składowe mocowania typu SB-3

2. CEL PROJEKTU

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 podszynowych, 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.

3. MODEL GEOMETRYCZNY MOCOWANIA

Na podstawie dokumentacji technicznej wykonano przestrzenne modele geometryczne następujących elementów składowych mocowania typu SB-3 (rysunek 3): łapka sprężysta SB7, głowa kotwy SB3/P, wkładka dociskowa WKW 60, szyna S60 (fragment), przekładka podszynowa PWE6094, podkład PS94 (fragment).



Fig. 3. Geometric models of components of rail fastening type SB-3
Rys. 3. Modele geometryczne elementów mocowania typu SB-3

Model geometryczny mocowania został wykorzystany jedynie częściowo podczas wykonywania modelu dyskretnego mocowania 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 dopasowania położenia w przestrzeni węzłów siatki elementów skończonych [1, 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.

W dalszej części artykułu autorzy skupili się na przykładzie wzajemnego oddziaływania łapek łapki sprężystej i walcowych otworów w głowie kotwy i przedstawili problemy generacji siatek elementów skończonych na ich przykładzie (rysunek 4a i rysunek 4 b).

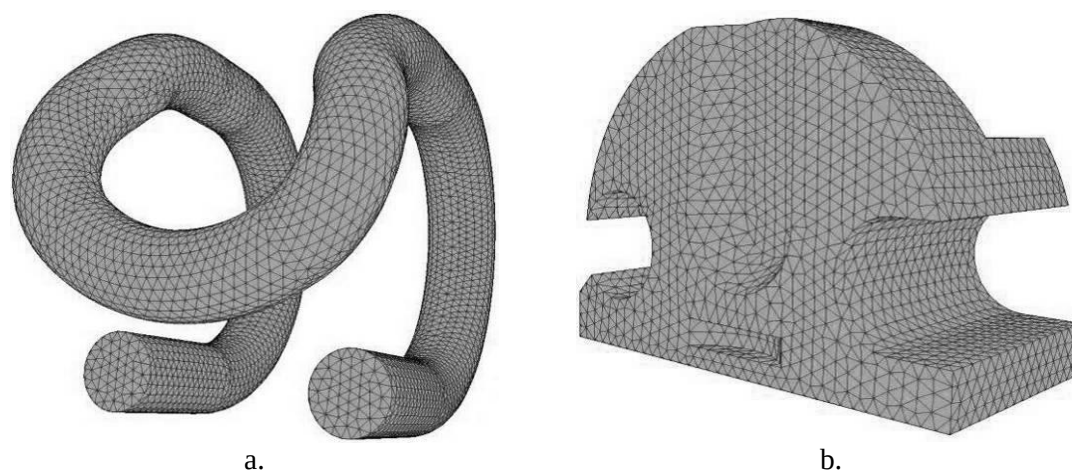


Fig. 4. Discrete models of rail fastening parts: a. spring clip, b. anchor head

Rys. 4. Modele dyskretne elementów mocowania: a. łapki sprężystej, b. głowy kotwy

4. MODELE DISKRETNE WYBRANYCH ELEMENTÓW MOCOWANIA

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 5a), 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 5b). Krzywa wiodąca łapki sprężystej została podzielona na kilka krzywych. Liczbę elementów skończonych bryłowych, generowanych wzdłuż krzywej wiodącej (rysunek 5c) 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 5d).

Zastosowana metoda tworzenia modelu dyskretnego pozwoliła na stworzenie siatki elementów skończonych, których węzły, a właściwie położenie węzłów elementów skończonych, było w pełni kontrolowane pod kątem ich dalszej współpracy kontaktowej z węzłami elementów skończonych tworzących modele dyskretne pozostałych części mocowania.

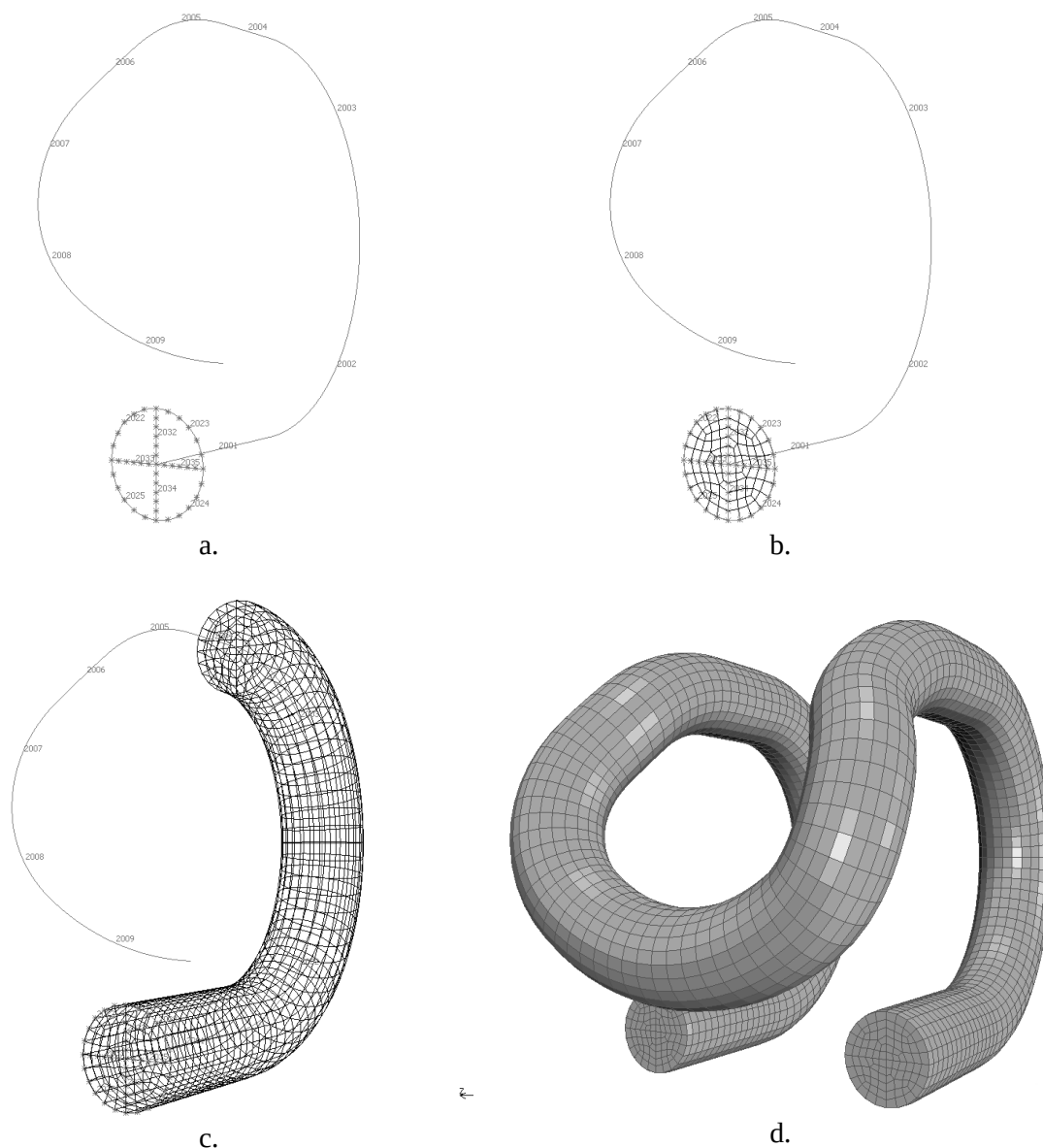


Fig. 5. Stages of creating spring clip discrete model

Rys. 5. Etapy tworzenia modelu dyskretnego łapki sprężystej

Model dyskretny głowy kotwy wykonano metodą rozciągania płaskich elementów skończonych w przestrzenne (rysunek 6a, rysunek 6b i rysunek 6c). Bazując na macierzy płaskich elementów skończonych poszczególne obszary kotwy wygenerowano rozciągając płaskie elementy na odpowiednią odległość i w odpowiedniej ilości, tak aby wymiary modelu dyskretnego odpowiadały wymiarom obiektu rzeczywistego i aby węzły elementów skończonych zajęły odpowiednie miejsce w przestrzeni, umożliwiając uwzględnienie zjawiska kontaktu pomiędzy głową kotwy i łapką sprężystą oraz głową kotwy i wkładką izolacyjną. Ze względu na przyjętą przez autorów symetrię kształtu głowy kotwy wykorzystano możliwość lustrzanego odbicia połowy modelu dyskretnego w celu otrzymania pełnego modelu dyskretnego. Końcowym etapem tworzenia modelu dyskretnego kotwy było usunięcie części elementów skończonych bryłowych i utworzenie w modelu głowy kotwy odpowiedniego zagłębienia (rysunek 6d).

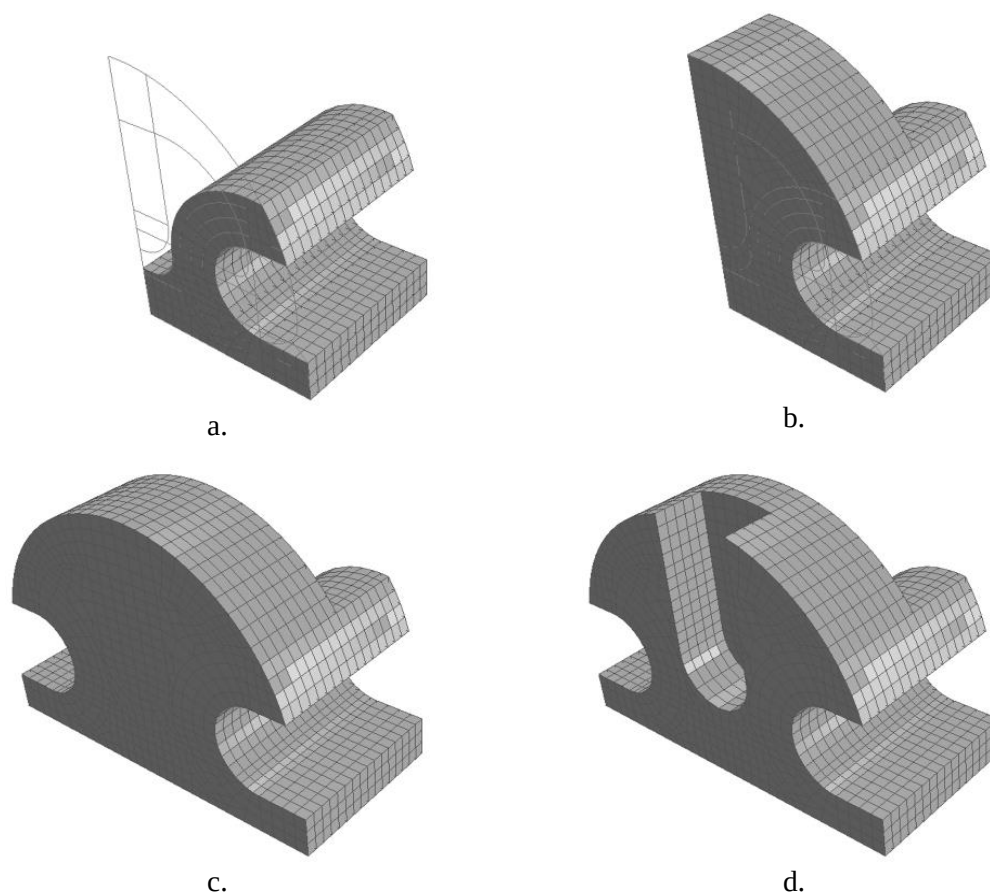


Fig. 6. Stages of creating anchor head discrete model

Rys. 6. Etapy tworzenia modelu dyskretnego głowy kotwy

5. ANALIZA WSPÓŁPRACY KONTAKTOWEJ ŁAPKI SPRĘŻYSTEJ I KOTWY

Zbudowane modele dyskretnie łapki sprężystej i głowy kotwy posłużyły do wstępnych obliczeń wytrzymałościowych z uwzględnieniem zjawiska kontaktu pomiędzy tymi częściami mocowania. Przeprowadzona wstępna analiza miała potwierdzić poprawność przyjętej metody budowania przestrzennych modeli dyskretnych na podstawie matryc płaskich elementów. Przyjęta metoda budowania modeli dyskretnych zapewniała zgodność położenia w przestrzeni węzłów elementów skończonych modeli dyskretnych współpracujących części mocowania. Zapewnienie zgodności położenia współpracujących węzłów pozwalało na prawidłowe uwzględnienie zjawiska kontaktu pomiędzy współpracującymi częściami mocowania.

Wstępne obliczenia wykonano dla modeli dyskretnych łapki sprężystej i głowy kotwy wykonanych z użyciem automatycznego generowania siatki elementów tetragonalnych (rysunek 7a) oraz dla modeli dyskretnych tychże części, wykonanych przy użyciu opisanej metody, która pozwalała na generowanie siatki elementów skończonych heksagonalnych (rysunek 7b).

Niebagatelną zaletą opisanej metody generowania siatek elementów skończonych jest mniejsza liczba elementów w porównaniu z liczbą elementów skończonych tworzących siatki generowane automatycznie. Liczba elementów tworzących model ma decydujący wpływ na czas obliczeń, zwłaszcza w przypadku modelu, w którym występuje wiele miejsc kontaktu pomiędzy współpracującymi częściami, tak jak ma to miejsce w przypadku mocowania sprężystego szyn do podkładów.

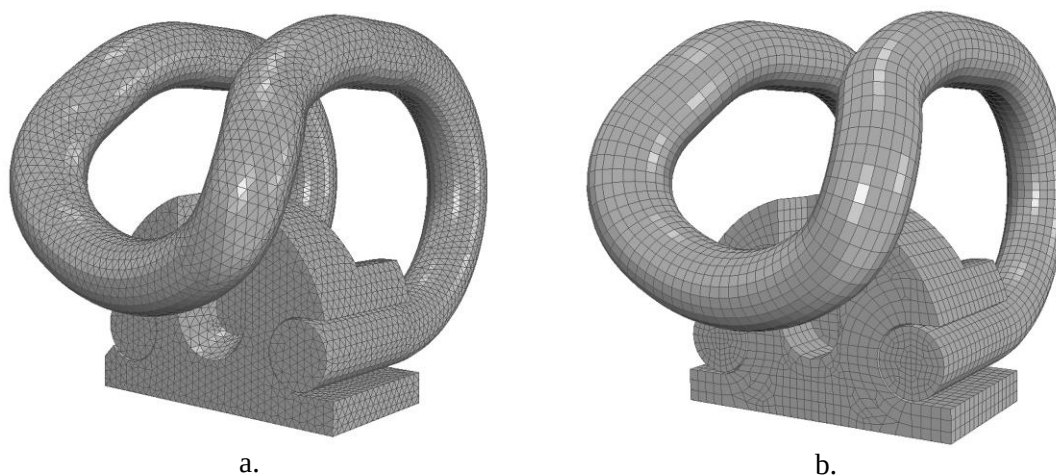


Fig. 7. Discrete models of spring clip and anchor head: a. with using tetragonal finite elements, b. with using hexagonal finite elements

Rys. 7. Modele dyskretne łapki sprężystej i głowy kotwy: a. z wykorzystaniem tetragonalnych elementów skończonych, b: z wykorzystaniem heksagonalnych elementów skończonych

Realizację projektu z wykorzystaniem metody opisanej powyżej ułatwiła możliwość współpracy programu MSC Marc z plikami wsadowymi typu *.procedure* (rysunek 8). Plik wsadowy typu *.procedure*, to plik tekstowy. Każda linijka tekstu to komenda zrozumiała dla programu MSC Marc. MSC Mark. Program wczytuje plik i realizuje komendy w nim zawarte. Zmiany w projekcie wymagają jedynie zmian w pliku tekstowym. Tego rodzaju możliwość pracy z programem MSC Mark w dużym stopniu ułatwia kontrolę nad generowanymi siatkami elementów.

```

EditPad Pro 7 - [C:\Users\Krzysztof\Desktop\rail_pad_PWE6094_sleeper_PS94_procedure_from_26.proc]
File Edit Project Search Go Block Mark Fold Tools Macros Extra Convert Options View Help
rail_pad_PWE6094_sleeper_PS94_procedure_from_26.proc
1 |
2 | Created by Aleksander Sładkowski and Krzysztof Bizoń
3 |
4 | *set_model_length_unit: meter
5 |
6 | *save_as_model "rail_pad_PWE6094_sleeper_PS94_model_from_26.mud" yes » | SAVED FOR THE FIRST TIME
7 |
8 | *import_iges "rail_pad_PWE6094_19.igs"
9 |
10 | *sweep_all
11 |
12 | *fill_view
13 | *redraw
14 |
15 | *set_surfaces off
16 | *set_curves on
17 | *set_points off
18 | *redraw
19 |
20 |
21 | » » » » » » » » » » | BIG ARCH SKETCH
22 | *import_dxf "szkic35.dxf"
23 |
24 | *prog_param_renumber: start: 2000
25 | *renumber_curve_list
26 | all_visible
27 |
28 | » » » » » » » » » » | BIG ARCH 2D MESH
29 | *set_curve_div_type_variable: l112
30 | *set_curve_div_opt_ndiv: l211_ratio
31 | *set_curve_div_num: 4
32 | *set_curve_div_l211_ratio: 0.65
33 | *apply_curve_divisions: 2980 #
34 |
35 | *set_curve_div_type_variable: l112
36 | *set_curve_div_opt_ndiv: l211_ratio
37 | *set_curve_div_num: 4
38 | *set_curve_div_l211_ratio: 1
39 | *apply_curve_divisions: 2978 #
40 |

```

Fig. 8. Fragment of MSC Marc input file type *.procedure*

Rys. 8. Fragment pliku wsadowego typu *.procedure* do programu MSC Marc

Analiza wytrzymałościowa uwzględniająca zjawisko kontaktu pozwoliła jednoznacznie wykluczyć przydatność modeli dyskretnych generowanych automatycznie z wykorzystaniem elementów skończonych tetragonalnych. Wyniki (rysunek 9) nie odzwierciedlały nawet w przybliżeniu teoretycznego rozkładu naprężeń kontaktowych na powierzchniach dwu stykających się walców (współpracujących powierzchni łapki i głowy kotwy).

Powodem generowania przez program MSC Marc niewłaściwych map naprężeń kontaktowych było z pewnością niedopasowanie współpracujących węzłów siatki elementów skończonych. Automatyczna generacja siatek tetragonalnych powoduje, że węzły generowane są w sposób losowy na każdej z współpracujących części. W takim przypadku trudno mówić o jakimkolwiek dopasowaniu węzłów, a tym samym o prawidłowej detekcji kontaktu pomiędzy modelami dyskretnymi współpracujących części mocowania.

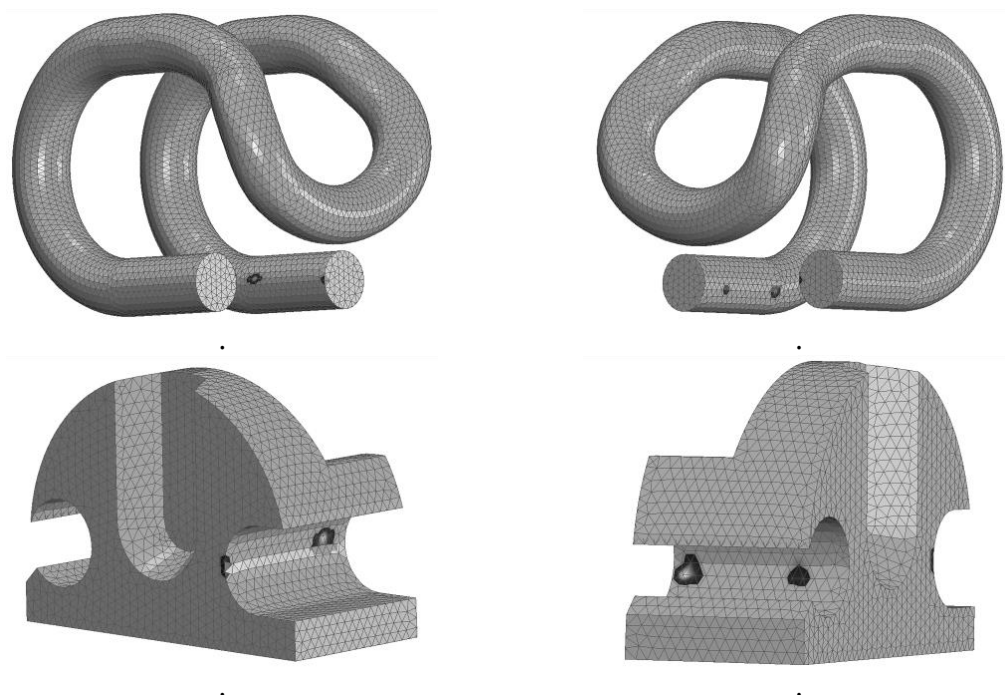


Fig. 9. Charts of the distribution of contact stresses on cylindrical surfaces of spring clip and on cylindrical holes of anchor head with using tetragonal mesh

Rys. 9. Mapy rozkładu naprężeń kontaktowych na powierzchniach cylindrycznych części łapki sprężystej i w otworach walcowych głowy kotwy przy użyciu siatki tetragonalnej

Zagęszczanie siatki elementów skończonych powodowało jedynie wydłużenie czasu obliczeń i nie wpływało pozytywnie na rozkład naprężeń kontaktowych na współpracujących powierzchniach walcowych łapki i głowy kotwy (rysunek 10). Gęstość siatki elementów skończonych w przypadku siatki tetragonalnej determinowana jest wartością maksymalną długości krawędzi elementu tetragonalnego czyli maksymalną długością krawędzi ostrosłupów o podstawie trójkątnej, jakimi są elementy tetragonalne. W przypadku automatycznego generowania siatek tetragonalnych w programie MSC Marc zmiana opisanego powyżej parametru jest jedyną możliwością wpływania na rozmiar elementu skończonego tetragonalnego jaką ma użytkownik programu.

Zastosowana przez autorów metoda generowania przestrzennych siatek elementów skończonych na podstawie siatek płaskich elementów pozwoliła na osiągnięcie efektu dopasowania współpracujących węzłów. Spowodowało to prawidłową wzajemną detekcję węzłów elementów skończonych pozostających w kontakcie. Prawidłowa detekcja kontaktu spowodowała wygenerowanie prawidłowych, zbliżonych do teoretycznych, map naprężeń kontaktowych dwu stykających się walców jakimi są cylindryczne części łapek i otwory walcowe w głowie kotwy (rysunek 11).

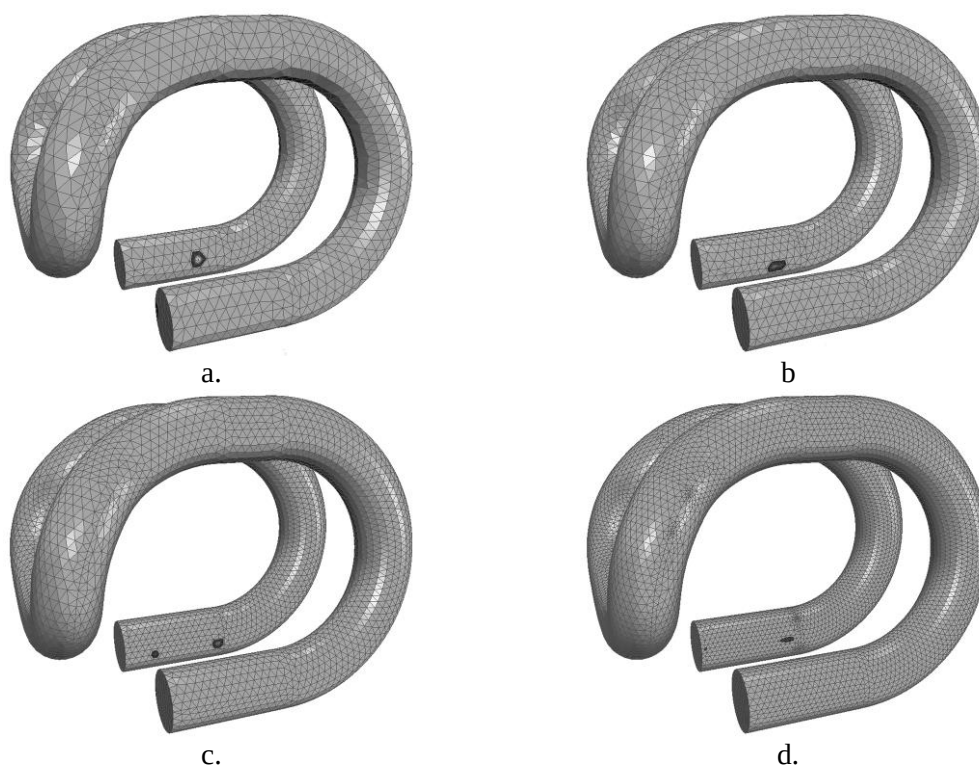


Fig. 10. Charts of the distribution of contact stresses on cylindrical surfaces of spring clip for a different maximum length of the edges of the tetragonal elements (for different mesh density): a. 3mm, b. 2.5mm, c. 2mm, d. 1.5mm

Rys. 10. Mapy rozkładu naprężeń kontaktowych na powierzchniach cylindrycznych części łapki sprężystej dla różnych maksymalnych długości krawędzi elementów tetragonalnych (dla różnych gęstości siatki): a. 3mm, b. 2.5mm, c. 2mm, d. 1.5mm

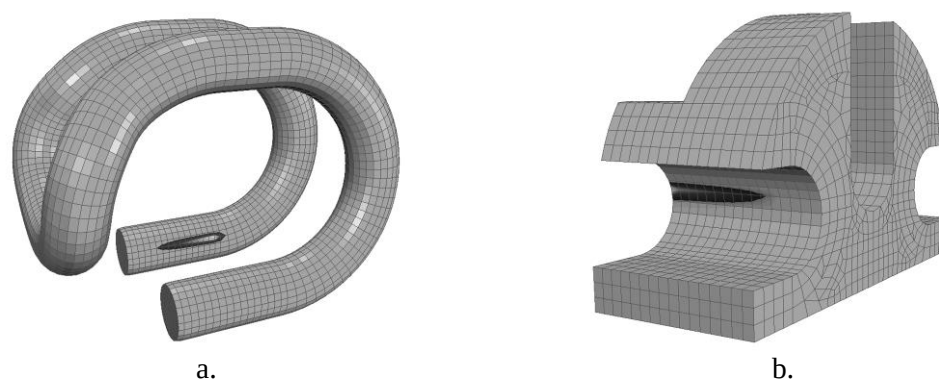


Fig. 11. Charts of the distribution of contact stresses on cylindrical surfaces of spring clip and on cylindrical holes of anchor head with using hexagonal mesh

Rys. 11. Mapy rozkładu naprężeń kontaktowych na powierzchniach cylindrycznych części łapki sprężystej i w otworach walcowych głowy kotwy przy użyciu siatki heksagonalnej

6. PODSUMOWANIE

Model obliczeniowy budowany z wykorzystaniem metody elementów skończonych, takiego złożonego zespołu części jakim jest mocowanie szyn do podkładów, musi uwzględniać jego specyficzne cechy. Duża liczba miejsc wzajemnego oddziaływania części złożenia, w których należy

uwzględnić zjawisko kontaktu, powoduje, że należy racjonalnie podejść do sprawy generowania siatki elementów skończonych poszczególnych części składowych mocowania. Należy mieć na uwadze to, iż siatka musi być zbudowana tak, że w miejscach kontaktu części ze sobą węzły elementów skończonych muszą być uzgodnione. W warunkach wzajemnego oddziaływania części na siebie, węzły przynależne do modeli dyskretnych dwu współpracujących części muszą zajmować to samo miejsce w przestrzeni, muszą na siebie „trafiać”. Należy wziąć pod uwagę również to, że siatka elementów skończonych nie może być zbyt gęsta. Duża gęstość siatki, a tym samym duża liczba węzłów powoduje, że model posiada dużą liczbę stopni swobody. Duża liczba stopni swobody może spowodować, że czas obliczeń będzie nieracjonalnie długi. W skrajnych przypadkach otrzymanie rozwiązania może stać się niemożliwe, ze względu na to, że obliczenia z uwzględnieniem zjawiska kontaktu realizowane są w sposób iteracyjny. Należy więc zadbać o to, aby siatki elementów skończonych posiadały jak najmniejszą liczbę węzłów, a tym samym minimalną liczbę stopni swobody. Zaproponowany przez autorów sposób półautomatycznego generowania siatek elementów skończonych posłużył do zbudowania testowego modelu mocowania typu SB-3 szyn do podkładów. Wyniki obliczeń uzyskana za pomocą tego modelu powinny być traktowane jako szacunkowe i orientacyjne z uwagi na to, że opracowany model jest wciąż rozwijany i udoskonalany. Ponadto wyniki obliczeń wymagają weryfikacji i porównania z wynikami badań laboratoryjnych przeprowadzanych na rzeczywistych obiektach. Po takiej weryfikacji model może służyć do wstępnych obliczeń podczas projektowania nowych rozwiązań mocowań. Projektowania nowego kształtu elementów mocowań, wykorzystania nowych materiałów itp.

References

1. Ślaskowski, 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.
2. Ślaskowski, A. & Kuminek, T. Modelowanie współpracy kontaktowej kół i szyn za pomocą MES (Modelling of contact interaction of wheels and rails by means of the FEM). In: *Zeszyty naukowe katedry mechaniki stosowanej. XLIV sympozjon PTMTS „Modelowanie w mechanice”*. Gliwice: Politechnika Śląska. 2005. No. 29. P. 425-430. ISBN 83-60102-15-5.
3. Ślaskowski, A. Accuracy analysis of the solution of spatial contact problem by means of the FEM, *Mechanika*. 2005. No. 3 (53). P. 17-21. ISSN 1392-1207.