

zjawisko zmęczenia materiału., Metoda Elementów Skończonych, krzywa Wöhlera, prognozowanie wytrzymałości zmęczeniowej, hak samochodowy, mechaniczne urządzenia sprzęgające pojazdy silnikowe i ich przyczepy

PATYK Radosław¹

KUŁAKOWSKA Agnieszka²

ANALIZA ZMĘCZENIOWA ZACZEPU KULOWEGO

Praca dotyczy analizy zmęczeniowej urządzenia sprzęgającego pojazdy silnikowe i ich przyczepy oraz systemy ich mocowania do tych pojazdów. Przedstawiono podstawowe wytyczne DYREKTYWY 94/20/WE PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY z dnia 30 maja 1994 r. odnoszącą się do mechanicznych urządzeń sprzęgających pojazdów silnikowych i ich przyczep oraz systemów ich mocowania do tych pojazdów. Omówiono podstawowe zagadnienia związane ze zmęczeniem materiału i metodą elementów skończonych (MES). Opracowano model geometryczny zaczepu kulowego stosowanego w samochodach Skoda Octavia 5D produkowanych 1996-05.2004 i kombi produkowanych od 1998 r.. Przeprowadzono numeryczne analizy statyczne oraz odporności na zmęczenie. Uzyskane wyniki przedstawiono w postaci rysunków i wykresów.

FATIGUE ANALYSIS OF BALL HOOK

The work is about fatigue analysis of the couple machine of engine vehicles and their trailers as well as systems of its connections to these vehicles. The basis directions DYREKTYWY 94/20/WE PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY z dnia 30 maja 1994 r. are presented, which are related to mechanical couple machines of the engine vehicles and their trailers as well as the systems of its connection to these vehicles. The basis definitions from the topic of material fatigue and finite element method are presented. The geometrical model of the ball hook using in the Skoda Octavia 5D cars made during 1996-05.2004 and estate cars made from 1998 r.. The statically numerical analysis and wear resistance were conducted. The received results as the graphs and figures are presented.

1. WPROWADZENIE

Zgodnie z DYREKTYWĄ 94/20/WE PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY z dnia 30 maja 1994 r. urządzenia sprzęgające pojazdy silnikowe i ich przyczepy oraz systemy ich mocowania do tych pojazdów muszą posiadać homologacje typu EWG [2]. Zgodnie z tą dyrektywą urządzenia sprzęgające podlegają kontroli z zakresu: a) sprawdzenie wymagań ogólnych, b) sprawdzenie wymiarów zaczepu kulowego, chropowatości powierzchni kuli,

¹Politechnika Koszalińska, ul. Raclawicka 15-17, 75-620 Koszalin, radoslaw.patyk@tu.koszalin.pl

² Politechnika Koszalińska, ul. Raclawicka 15-17, 75-620 Koszalin, agnieszka.kulakowska@tu.koszalin.pl

położenia kulistej części zaczepu kulowego w stosunku do samochodu i jezdni oraz wolnej przestrzeni wokół zaczepu kulowego, c) sprawdzenie wytrzymałości zmęczeniowej, d) sprawdzenie cechowania. Obiektem badań był zaczep kulowy zaprojektowany w Katedrze Mechaniki Technicznej i Wytrzymałości Materiałów Politechniki Koszalińskiej przystosowany do samochodów Skoda Octavia. Z analiz wynika, że najtrudniejszym dla konstrukcji oraz technologii wykonania jest spełnienie warunku uzyskania odpowiedniej odporności na zużycie zmęczeniowe.

Konstrukcje poddane wielokrotnym obciążeniom dynamicznym nieprzekraczającym dopuszczalnych mogą ulegać zniszczeniu przejawiającemu się w postaci niespodziewanego pęknięcia, następującego po określonej liczbie zmian obciążenia, czyli zużyciu zmęczeniowemu. Jedną z charakterystycznych cech pęknięcia zmęczeniowego jest to, że nawet w przypadku metali mających przy obciążeniach statycznych dobre właściwości plastyczne przełom zmęczeniowy nie wykazuje wyraźnej deformacji plastycznej w skali mikroskopowej [1, 3]. Według *DYREKTYWY 94/20/WE* analizowany zaczep kulowy musi zostać przebadany eksperymentalnie. Jednakże już na etapie projektowania można odrzucić koncepcje niespełniające wymogów (szczególnie wytrzymałościowych), stosując techniki komputerowe do wspomaganie procesu projektowania i wytwarzania.

2. OBLICZENIA NUMERYCZNE

Obiektem badań był zaczep kulowy przystosowany do samochodów Skoda Octavia 5D produkowanych 1996-05.2004 i kombi produkowanych od 1998 r., zaprojektowany zgodnie z Dyrektywą 94/20/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 30 maja 1994 r. przedstawiony na rysunku 1.

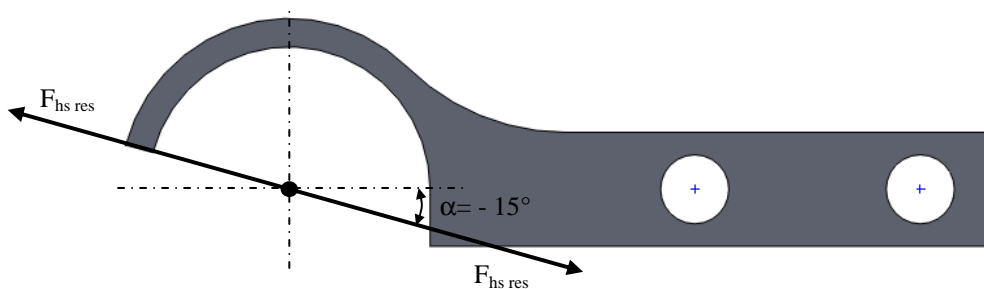


Rys.1. Zaczep kulowy przystosowany do samochodów Skoda Octavia.

Celem badań numerycznych było sprawdzenie zgodności konstrukcji zaczepu kulowego z wymaganiami Dyrektywy 94/20/WE odnoszącej się do mechanicznych

urządzeń sprzęgających pojazdów silnikowych i ich przyczep oraz systemów ich mocowania do tych pojazdów w zakresie sprawdzenia wytrzymałości zmęczeniowej. Obliczenia przeprowadzono w programie ANSYS/LS-DYNA, który przeprowadza obliczenia w oparciu o MES oraz uaktualniony opis Lagrange'a. Pierwszym etapem analiz konstrukcji jest analiza statyczna, umożliwiająca analizę przekrojów niebezpiecznych. Jeśli wyniki analizy statycznej są pomyślne, następnie konstrukcja jest poddawana obciążeniom dynamicznym i wówczas należy przeprowadzić obliczenia odporności na zużycie zmęczeniowe oraz jeśli jest to wymagane przeprowadzić dodatkowe obliczenia wartości częstotliwości drgań własnych oraz ich postaci. Jest to potrzebne o ile istnieje podejrzenie, że konstrukcja może wpadać w rezonans.

Analizy numeryczne wykonano zgodnie z załącznikiem VI Dyrektywy na zgodność z wymaganiami p. 5.9 Dyrektywy. Badanie dynamiczne należy przeprowadzić z zaczepem kulowym klasy A o odpowiedniej wytrzymałości. Sprzężenie kulowe i zaczep kulowy muszą być ustawione na odpowiednim statywie badawczym zgodnie ze wskazaniem producenta i w sposób odpowiedni do ich umocowania w pojeździe. Na próbkę nie mogą działać inne siły poza siłą stosowaną do przeprowadzania badania. Siłę przykłada się wzdłuż linii przechodzącej przez środek kuli i nachylonej do dołu pod kątem 15° (Rys. 2).



Rys.2. Przyłożenie siły wypadkowej $F_{hs\ res}$ zgodnie z Dyrektywą 94/20/WE do zaczepu kulowego przystosowanego do samochodów Skoda Octavia.

Badanie zmęczeniowe na próbce przeprowadza się przykładając siłę $F_{hs\ res}$ (będącą wypadkową sił F_h – składowa pionowa oraz F_s – składowa pozioma oddziałująca na zaczep kulowy), amplitudę tej siły obliczono ze wzoru:

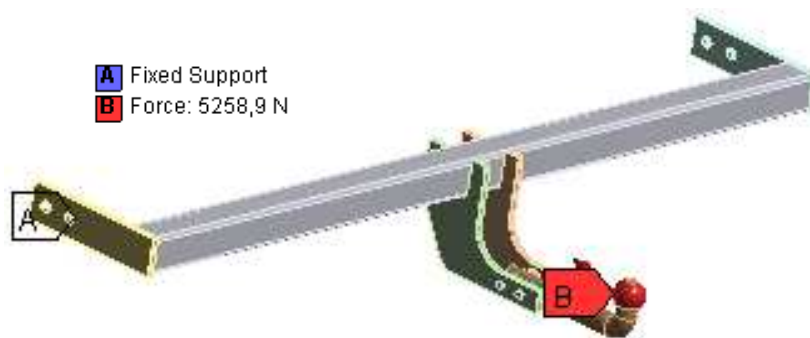
$$F_{hs\ resw} = 0,6 D, \quad (1)$$

gdzie D jest określana jako teoretyczna siła odniesienia siły poziomej występującej między pojazdem ciągnącym i przyczepą, dla analizowanego przypadku wynosi ona $D = 8,6$ kN, zaś $F_{hs\ res} = 5,26$ kN. Przebieg w czasie siły p obciążającej zaczep był funkcją harmoniczną: $p = F_{hs\ res} \sin(\omega t)$, gdzie $\omega = 2\pi f$ [s^{-1}], gdzie: f – częstotliwość siły wymuszającej.

Zgodnie z wymaganiami, analizowany zaczep kulowy powinien przenieść 2 mln cykli obciążeń bez zaistnienia widocznych uszkodzeń. Punkty mocowania zaczepu kulowego podczas analiz muszą być identyczne, jak w pojeździe. Częstotliwość obciążenia badanego zaczepu kulowego była zgodna z wymaganiem i wynosiła 6,0 Hz.

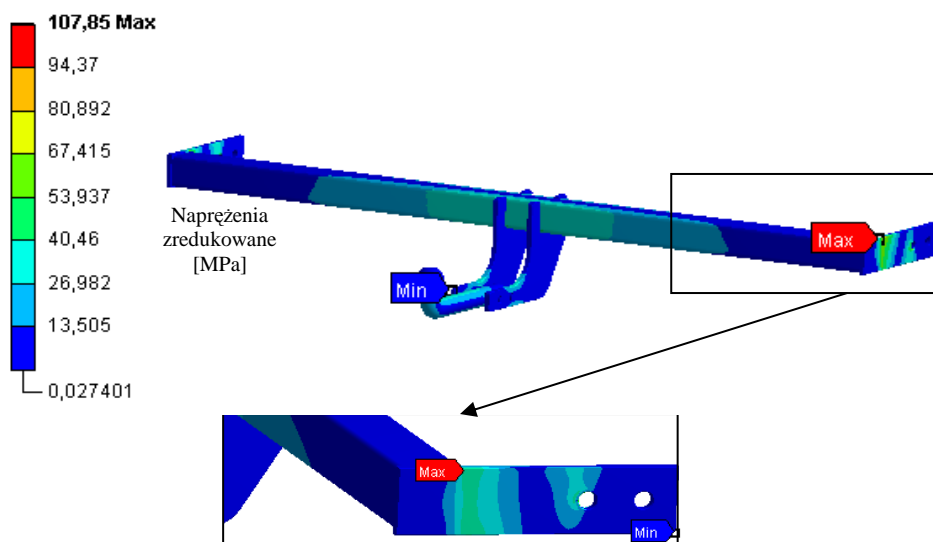
2. 1. Analiza statyczna

Analizie poddano zaczep kulowy przystosowany do montażu w samochodzie typu Skoda Octavia. W symulacjach komputerowych założono, że model materiałowy zaczepu jest idealnie sprężysty [4]. Przyjęto, że moduł Younga wynosi $E = 2,1 \cdot 10^{11} [Pa]$ oraz współczynnik Poissona wynosi $\nu = 0,3$. Pominięto wpływ zjawisk cieplnych. Model geometryczny zdyskretyzowano na 111998 elementów skończonych (521208 węzłów). Na model nałożono warunki brzegowe i początkowe zgodne warunkami rzeczywistymi (rys. 3).



Rys. 3. Model brytowy z warunkami brzegowo – początkowymi.

W wyniku przeprowadzonych symulacji uzyskano wyniki stanu naprężeń zredukowanych, co przedstawiono na rysunku 4.

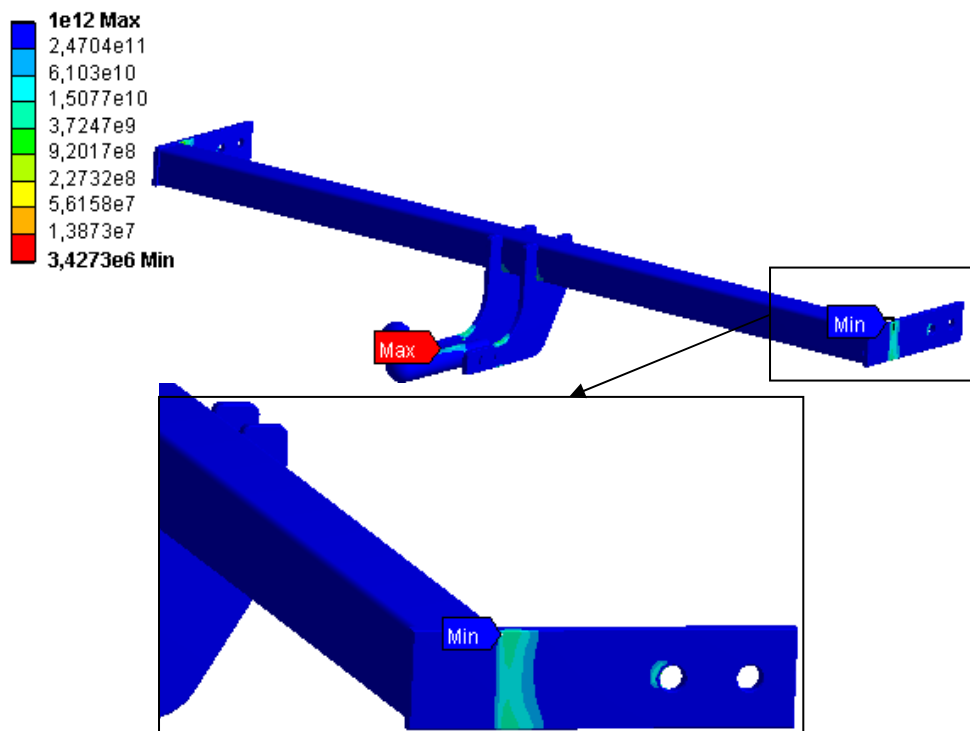


Rys. 4. Stan naprężeń zredukowanych.

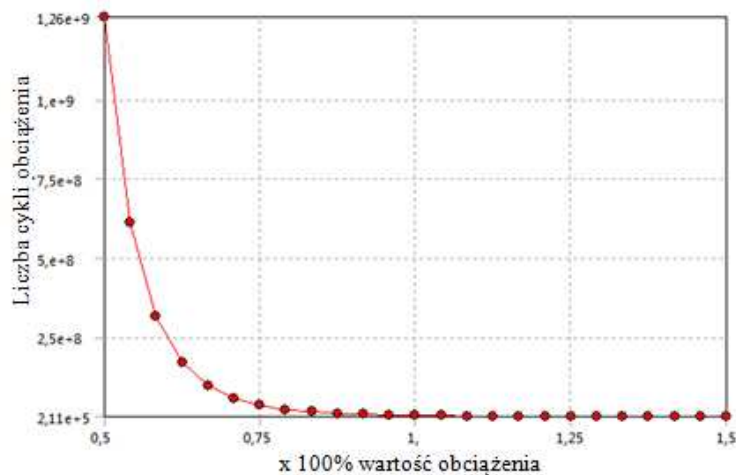
Założono, że część kulista zaczeptu wykonana jest ze stali S355J0, zaś kompletna belka wykonana jest ze stali S235JRG1, dla których odpowiednio naprężenia dopuszczalne nie powinny przekroczyć $\sigma_{dop} = 110$ MPa oraz $\sigma_{dop} = 150$ MPa. Po przeanalizowaniu wyników analiz statycznych stwierdzono, że badana próbka przenosi obciążenia statyczne. Uzupełnieniem analiz statycznych są obliczenia odporności na zużycie zmęczeniowe.

2. 2. Analiza zmęczeniowa

W związku z tym, że typowe uszkodzenia zaczeptów kulistych wynikają przede wszystkim ze zużycia zmęczeniowego przeprowadzono dodatkowo analizy numeryczne jego trwałości. Założono, że na zaczeptu oddziaływają obciążenia obustronne zmienne, przyjęto, że obciążenie zmienia się sinusoidalnie w czasie z częstotliwością $f = 6$ Hz. Wyniki trwałości zaczeptu (ilości cykli) w zależności od wartości jego obciążania (przy czym 100% obciążenia odpowiada oddziaływaniu siły $F_{hs\ resw}$) uzyskano na podstawie symulacji komputerowych i przedstawiono na rysunkach 5 i 6. Najmniejszą liczbę cykli zmian obciążenia jaką przeniesie analizowany zaczept wynosi $n_{min}=3,427 \cdot 10^6$. Stwierdzono, że najmniej trwałą częścią konstrukcji jest wspornik belki.



Rys. 5. Rozkład trwałości zaczeptu kulowego (liczba cykli zmian obciążenia).



Rys. 6. Krzywa zużycia zmęczeniowego zaczepu kulowego.

3. PODSUMOWANIE

Wyniki przeprowadzonych symulacji komputerowych wykazują, że inicjacja pęknięcia analizowanego zaczepu kulistego będzie miała miejsce na wsporniku belki. Zgodnie z przeprowadzonymi analizami stwierdzono, że minimalna trwałość wynosi $n_{\min}=3,427 \cdot 10^6$ cykli, co potwierdza poprawność zaprojektowanej konstrukcji z wytycznymi DYREKTYWY 94/20/WE PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY. Stwierdzono, że minimalna wartość współczynnika bezpieczeństwa wynosi blisko 2. Opracowana krzywa Wöhlera umożliwia prognozowanie trwałości analizowanego zaczepu stosowanego w samochodach Skoda Octavia. Opracowana metoda numeryczna umożliwi analizowanie dowolnego typu zaczepu kulowego. Istnieje możliwość zastosowania innych modeli materiałowych.

4. BIBLIOGRAFIA

- [1] Buch A.: *Zagadnienia wytrzymałości zmęczeniowej*, Warszawa, PWN 1964.
- [2] DYREKTYWY 94/20/WE PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY z dnia 30 maja 1994 r.
- [3] Hebda M., Wachal A.: *Trybologia*. WNT, Warszawa, 1980.
- [4] Kleiber M.: *Wykłady z nieliniowej termo – mechaniki ciał odkształcalnych*. Politechnika Warszawska. Warszawa, 2000.