



## **Analiza rozkładu naprężeń, przemieszczeń oraz odkształceń haka ciągowego wykonana w programie SolidWorks**

M. Machaczek<sup>a</sup>, M. Mieszczak<sup>a</sup>, S. Szczypczyk<sup>a</sup>, A. Śliwa<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Studenci Politechniki Śląskiej, Wydział Mechaniczny Technologiczny  
email: mihus16@gmail.com; mmiechu@gmail.com; sylwo.91@gmail.com

<sup>b</sup> Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych  
email: agata.sliwa@polsl.pl

**Streszczenie:** W pracy przedstawiono analizę wytrzymałości, rozkładu naprężeń i przemieszczeń w haku ciągowym, oraz podjęto się próby analizy przyczyn rozerwania haków. Określono miejsca o największych wartościach naprężeń oraz maksymalne przemieszczenie jakie występuje podczas eksploatacji haka ciągowego.

**Abstract:** This work shows the analysis of strength, tension distribution and displacements in a tow hook. Also an attempt was made to analyze the causes of shearing of these hooks. Placements of biggest tension were pictured along with the maximum displacement during the exploitation of a train tow hook.

**Słowa kluczowe:** hak ciągowy, kolejnictwo, rozkład naprężeń, przemieszczenia

### **1. WSTĘP**

Sprzęg śrubowy jest obecnie najczęściej używanym sprzęgiem w kolejnictwie do łączenia wagonów towarowych jak również osobowych. Składa się on z dwóch głównych elementów haka ciągowego oraz sprzęgu ciągowego. Celem projektu jest analiza naprężeń występujących w haku ciągowym. Siły działające na hak zależą od masy przewożonego ładunku, ilości wagonów oraz topografii terenu, im większa liczba przewożonego ładunku tym siły są większe. Połączenia pomiędzy kolejnymi wagonami nie są realizowane w sposób sztywny, dlatego hamowanie i kolejne przyspieszanie składu pociągu, powoduje działanie sił dynamicznych na haki ciąglowe. Zgodnie z normą PN-71/K-88164, obecnie wykorzystuje się dwa typy haków rys. 1 i rys. 2 [2,5,7].



Rysunek 1. Hak ciągowy typ A [1]  
*Figure 1. Tow hook type A [1]*



Rysunek 2. Hak ciągowy typ B [1]  
*Figure 2. Tow hook type B [1]*

Duże znaczenie mają obciążenia działające na hak i powodujące jego zginanie, szczególnie narażony jest drąg haka. Zgodnie z normą wytrzymałość haka powinna być większa od wytrzymałości sprzęgu ciągowego, jednak zerwaniu najczęściej ulega drąg haka, co powoduje konieczność wymiany całego haka ciągowego. Do pęknięć najczęściej dochodzi w przekroju dolnego zaokrąglenia, w przejściu drąga w łeb haka rys. 3 i rys. 4 [6,8].



Rysunek 3. Pęknięcie haka w przekroju dolnego zaokrąglenia  
*Figure 3. A crack of the hook in the lower round part*



Rysunek 4. Całkowicie zerwany hak ciągowy oraz pęknięcie w przekroju dolnego zaokrąglenia  
*Figure 4. A hook that's been completely torn apart in the lower round part*

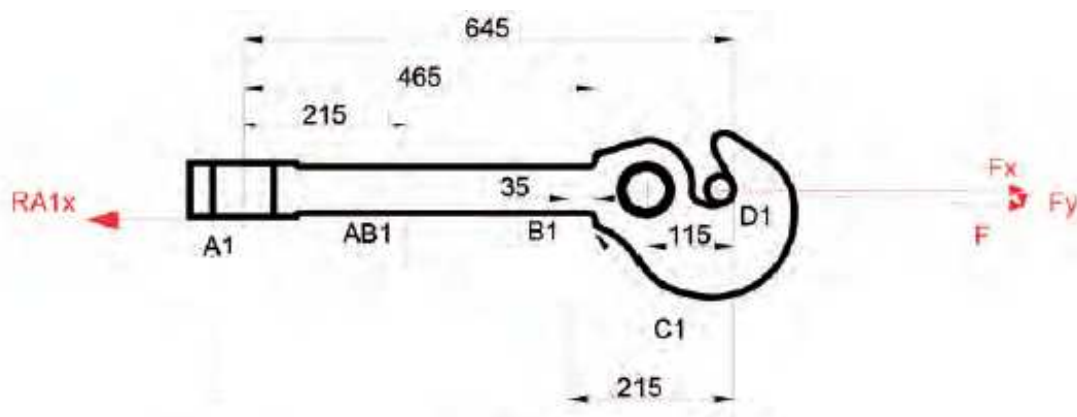
Zgodnie z normą PN-EN-15566+A1:2011 hak ciągowy został zaprojektowany do przeniesienia siły o wartości minimum 1000 kN. Siłą pociągową działającą na hak pojazdu trakcyjnego nie powinna, poza momentem ruszania z miejsca, przekraczać 300 kN. Wartość ta jest określana mianem siły uciągu i jest to siła, po przekroczeniu której w sprzęgu ciągowym mogą wystąpić odkształcenia plastyczne. W warunkach pracy, podczas rozruchu i jazdy ciężkich pociągów towarowych wartość siły często jest przekraczana. Wg normy próbę rozciągania haka wykonuje się przy stopniowym zwiększaniu siły rozciągającej do 1000 kN i utrzymuje się to obciążenie przez 2 do 3 minut. Najnowsze normy przewidują również badania zmęczeniowe elementów sprzęgu [3,5].

Siła pociągowa w zależności od typu lokomotywy może osiągać wartości do 550 kN. Wynika z tego, że wartość siły rozciągającej działającej na urządzenie ciągowe, przy założeniu braku sił dynamicznych nie może nigdy przekroczyć siły dopuszczalnej dla sprzęgu równej 850 kN. Działanie sił o większych wartościach może wystąpić, gdy:

- nastąpi szarpnięcie spowodowane przez nieprawidłowe sprzęgnięcie wagonów,
- amortyzatory tłumiące nie są w stanie pochłonąć energii kinetycznej podczas szarpnięć,
- nastąpi nierównomierne zadziałanie hamulców podczas hamowania powodując szarpnięcia,
- nastąpi nagłe wyłączenie napędu,
- podczas jazdy po nierównościach toru wystąpią pionowe ruchy drąga haka w ostoi pomiędzy jego prowadnikiem dolnym i górnym, co może powodować uderzanie drąga o prowadnik,
- kombinacja dwóch lub kilku przyczyn wymienionych wyżej [3,4,6÷8].

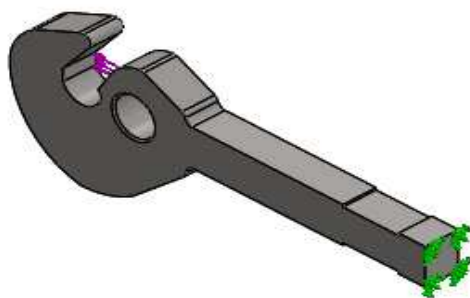
Punkt przyłożenia siły w haku można rozpatrywać w dwóch przypadkach obciążenia. Pierwszy, najpopularniejszy przypadek, na którym skupione zostały badania MES dotyczy sytuacji, kiedy hak obciążony jest w paszczy, współpracując z pałąkiem sprzęgu sąsiedniego wagonu (rys. 5). Na rysunku 5 zaznaczono składowe siły  $F$  oraz istotne wymiary. Rysunek 6

przedstawia trójwymiarowy widok badanego elementu wraz z wektorami przyłożonych sił oraz miejscem zaczeplenia.



Rysunek 5. Obciążenia haka ciągowego [7]

Figure 5. Loads on the tow hook [7]



Rysunek 6. 3D przedstawienie elementu

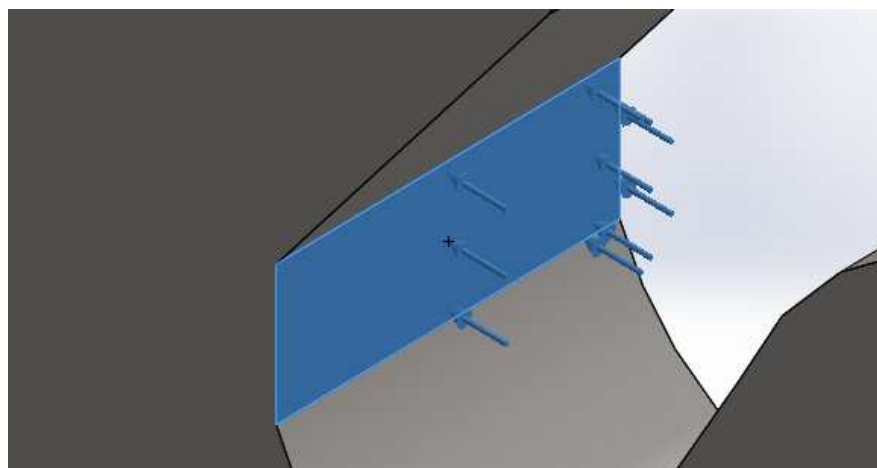
Figure 6. Part shown in 3D

## 2. ANALIZA NAPRĘŻEŃ, PRZEMIESZCZENIA I ODKSZTAŁCENIA PLASTYCZNEGO

Obliczenia naprężeń i odkształceń przeprowadzono za pomocą programu SolidWorks. W pracy przedstawiono analizy haka obciążonego rozciąganiem ze zginaniem. Analiza nieliniowa MES dla haka dotyczy wartości sił:

- 300 kN dla wypadku poruszania się pojazdu trakcyjnego,
- 550 kN dla momentu ruszania,
- 850 kN dla najbliższego elementu sprzęgu,
- 1000 kN wartość maksymalna wg normy.

Obciążenie zostało przyłożone do wewnętrznej powierzchni paszczy haka (rys. 7), symetrycznie względem osi drąga haka, na powierzchni współpracy z pałąkiem. Materiał haka to stal P55G, której właściwości wytrzymałościowe przedstawiono w tabelicy 1. Rozmiar siatki elementów skończonych dobrano optymalnie do możliwości obliczeniowych (rys. 8). Wyniki analizy MES przedstawiono na rysunkach 9-20.



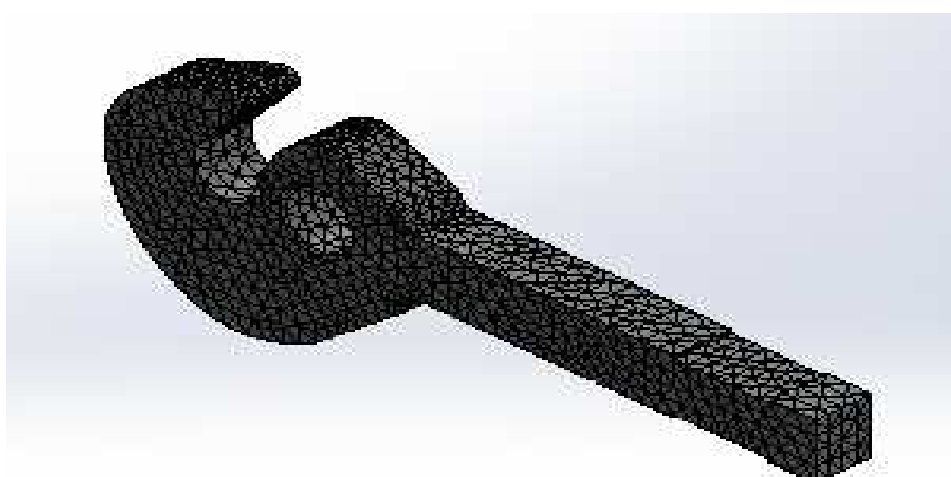
Rysunek 7. Miejsce przyłożenia siły

*Figure 7. Area where the force is applied*

Tablica 1. Własności wytrzymałościowe stali P55G

*Table 1. Strength properties of steel P55G*

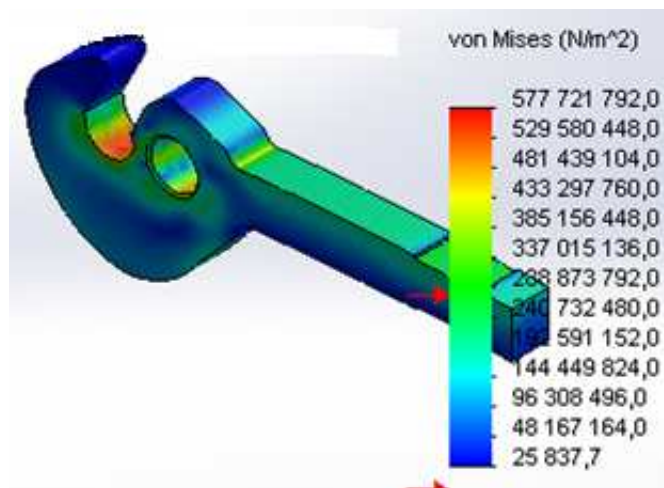
Moduł Younga E, GPa	210
Współczynnik Poissona n	0,3
Granica plastyczności, MPa	430
Wytrzymałość na rozciąganie, MPa	750
Wydłużenie względne, A, %	12



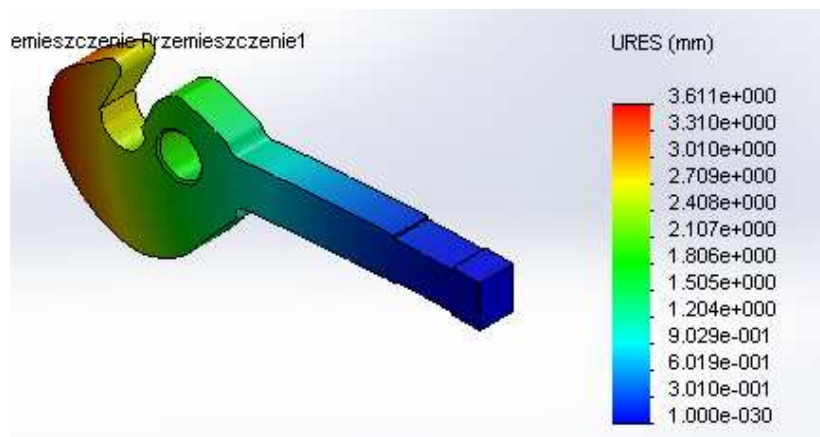
Rysunek 8. Rozmiar siatki dla wybranego elementu

*Figure 8. Grid size for the selected element analysis*

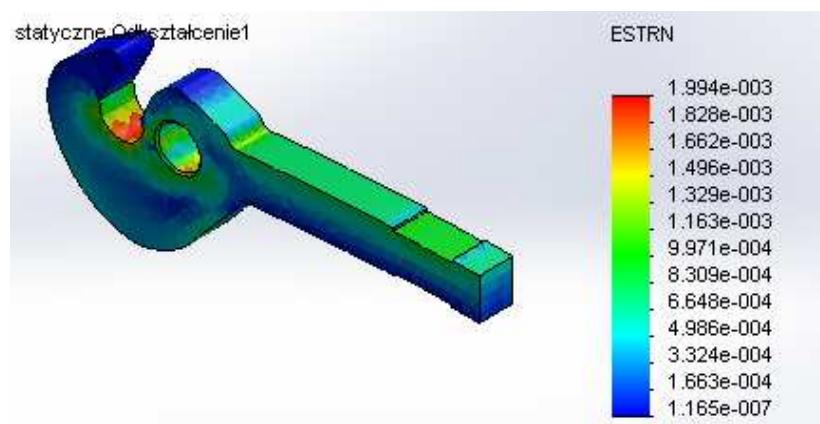




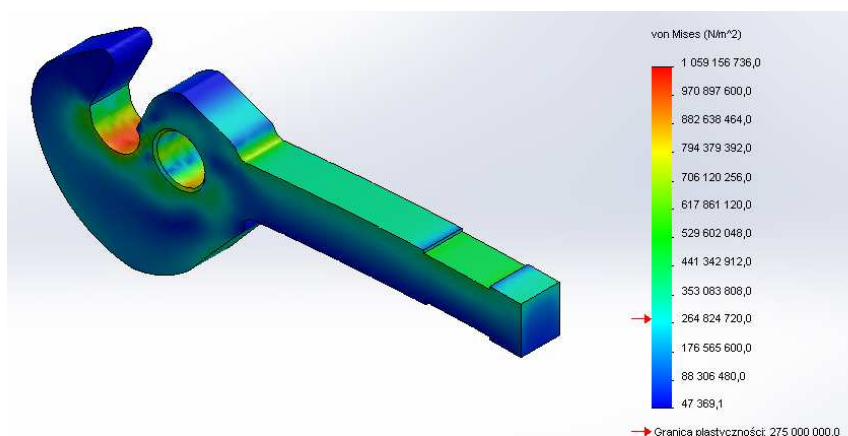
Rysunek 9. Rozkład naprężeń dla siły 300 kN  
 Figure 9. Load distribution for 300 kN load



Rysunek 10. Rozkład przemieszczeń dla siły 300 kN  
 Figure 10. Displacement distribution for 300 kN load

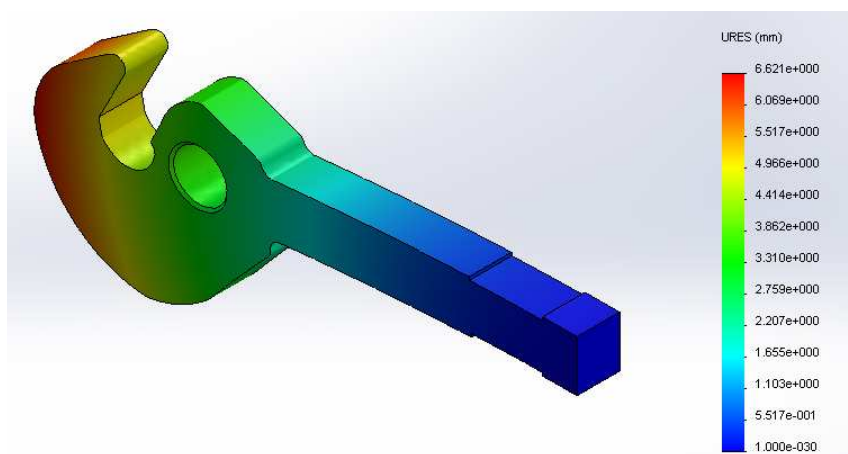


Rysunek 11. Rozkład odkształceń dla siły 300 kN  
 Figure 11. Deformation distribution for 300 kN



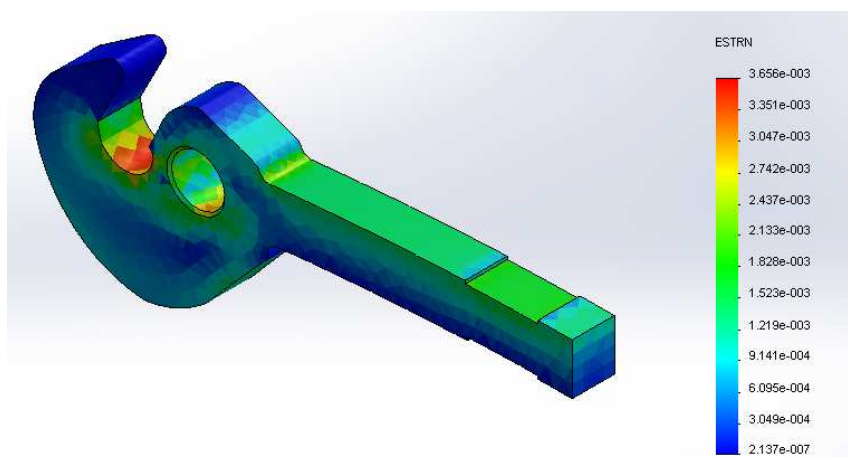
Rysunek 12. Rozkład naprężeń dla siły 550 kN

Figure 12. Tensions for 550 kN



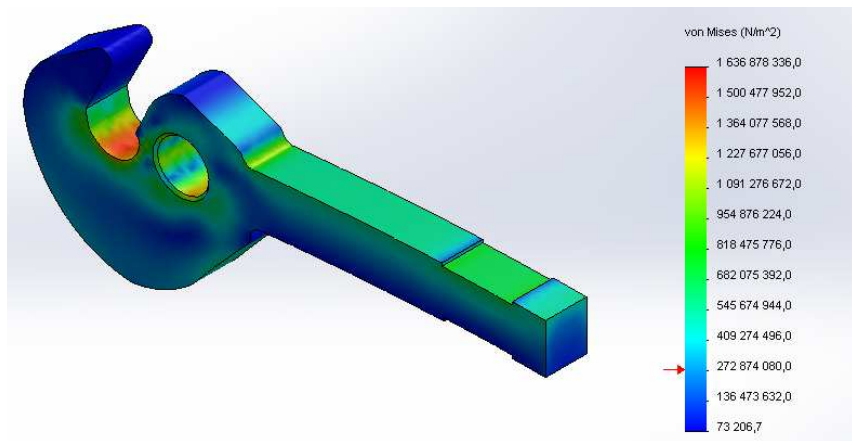
Rysunek 13. Rozkład przemieszczeń dla siły 550 kN

Figure 13. Displacements for 550 kN

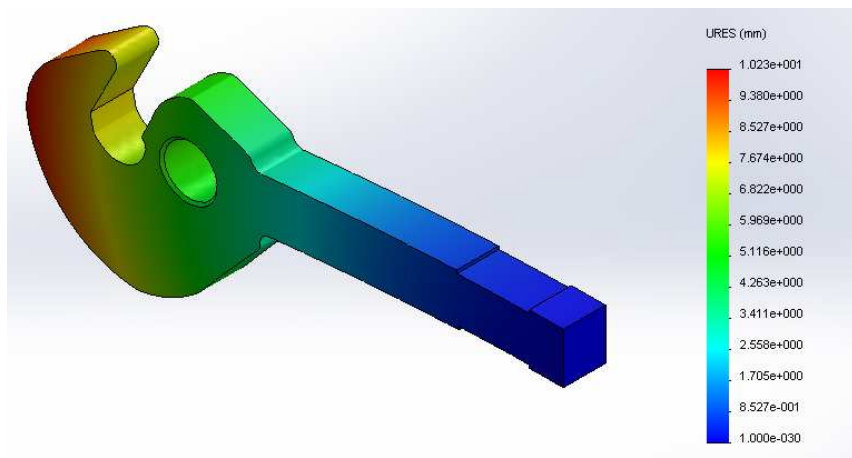


Rysunek 14. Rozkład odkształceń dla siły 550 kN

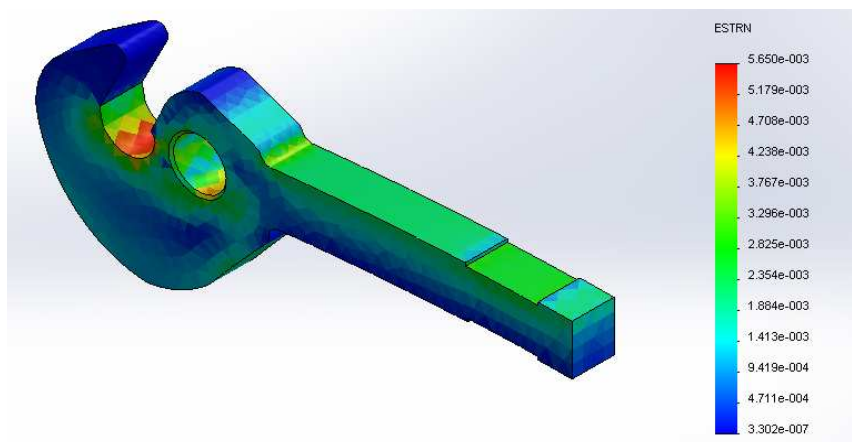
Figure 14. Deformations for 550 kN



Rysunek 15. Rozkład naprężeń dla siły 850 kN  
*Figure 15. Tensions for 850 kN*

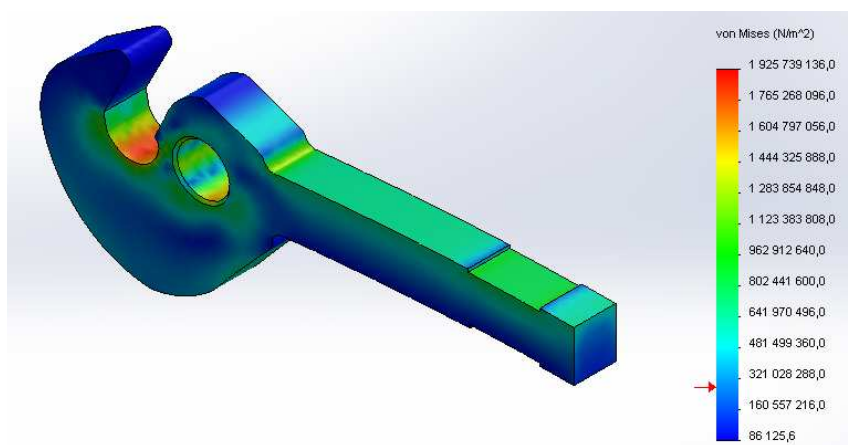


Rysunek 16. Rozkład przemieszczeń dla siły 850 kN  
*Figure 16. Displacements for 850 kN*

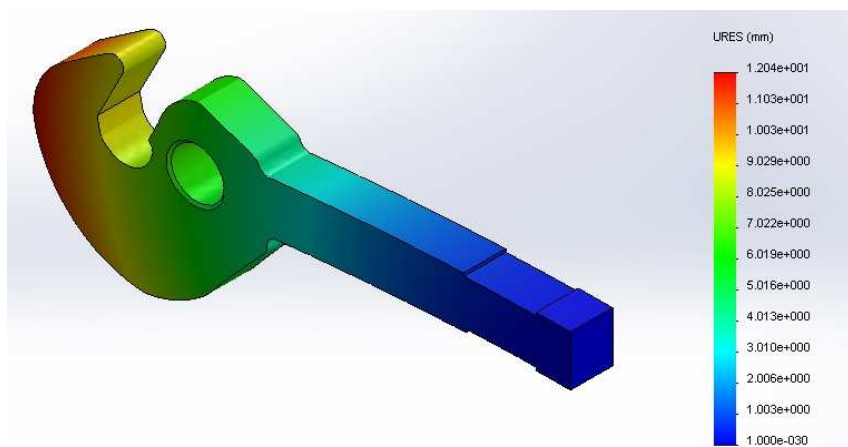


Rysunek 17. Rozkład odkształceń dla siły 850 kN  
*Figure 17. Deformations for 850 kN*

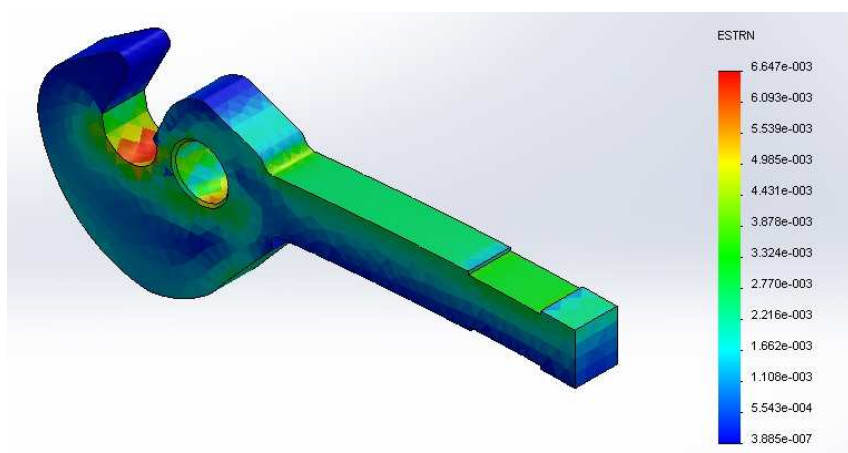




Rysunek 18. Rozkład naprężeń dla siły 1000 kN  
 Figure 18. Tensions for 1000 kN



Rysunek 19. Rozkład przemieszczeń dla siły 1000 kN  
 Figure 19. Displacements for 1000 kN



Rysunek 20. Rozkład odkształceń dla siły 1000 kN  
 Figure 20. Deformations for 1000 kN

W tablicy 2 zostały zawarte informacje odnośnie maksymalnych wartości dla naprężenia, przemieszczenia oraz odkształcenia, jakie występują w haku ciąglowym podczas jego pracy. Porównano również maksymalne wartości sił jakie powinien wytrzymać hak nim nastąpi jego rozerwanie. Zadana siła w wysokości 300 kN odpowiada sile działającej na hak podczas ruchu całego składu wagonów, ciągniętych przez pojazd trakcyjny.

Tablica 2. Wyniki dla poszczególnych badań

Table 2. The results for each test

Parametr\siła	300 kN	550 kN	850 kN	1000 kN
Naprężenie max, GPa	0,57	1	1,6	1,9
Przemieszczenie max, mm	3,6	6,62	10	12
Odkształcenie max, mm	$2 \times 10^{-3}$	$3,6 \times 10^{-3}$	$5,6 \times 10^{-3}$	$6,6 \times 10^{-3}$

### 3. PODSUMOWANIE

W pracy przedstawiono analizę rozkładu naprężeń, przemieszczeń oraz odkształceń w haku ciąglowym przy zadaniu różnych wartości sił w punkcie kontaktu. Największe naprężenia, przemieszczenia oraz odkształcenia w haku występują w miejscach kontaktu, pomiędzy hakiem a zaczepem poprzedniego wagonu. Badania były przeprowadzone dla elementu całkiem nowego, wraz z eksploatacją mogą występować różnego rodzaju defekty oraz nieznaczące zmiany wymiarów. Wszelkie zmiany wymiarów oraz nierówności na powierzchni elementów mają istotny wpływ na koncentrację i wartość naprężeń. W celu przeprowadzenia dokładnej analizy, badany element powinien zostać poddany analizie zmęczeniowej, ze względu na cykliczny sposób eksploataowania haka. Przy odpowiednio dużym obciążeniu zginającym, górne warstwy drąga haka pracują w strefie odkształceń plastycznych, a dolne warstwy w miejscu podparcia poddane są ścisaniu. Całkowite wydłużenie haka spowodowane odkształceniami plastycznymi może powodować występowanie luzów pomiędzy zderzakami wagonów, zbyt duże luzy pomiędzy zderzakami prowadzą do powstawania chwilowych różnic prędkości sąsiednich wagonów co powoduje dynamiczne obciążenia haka i sprzęgu.

### LITERATURA

1. strona internetowa: <http://www.obro-janstal.pl/oferta.html>
2. Commission Decision 2006/861/EC of 28 July 2006 concerning the technical specification of interoperability relating to the subsystem rolling stock - freight wagons of the trans-Europe - an conventional rail, Official Journal L 344 of 8.12.2006.
3. T. Morgado, C.M. Branco, V. Infante, Comparison of fatigue life extension results in railway couplings of cast steel ASTM 148 90-60 used in freight trains, Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference "Integrity, Reliability and Failure", Porto, Portugal, 2009.
4. PKP CARGO S.A. Biuro Wsparcia Technicznego: Dokumentacja systemu utrzymania Lokomotywa elektryczna typu E280, 4E, 303E serii EU06, EU07 i EP07, Warszawa, 2010.
5. J. Podemski, R. Marczewski, Urządzenia ciąglowe i zderzakowe, WKŁ, Warszawa, 1979.
6. PN-K-88160:1999, Sprzęg śrubowy.
7. PN-71/K-88164, Haki ciąglowe.
8. PN-EN-15566+A1:2011, Kolejnictwo - Urządzenie ciąglowe i sprzęg śrubowy.