



## Analiza rozkładu naprężeń wałka redukcyjnego ze stali S355J0 wykonana w programie SolidWorks

D. Gros<sup>a</sup>, M. Myrcik<sup>a</sup>, E. Jaskulska<sup>a</sup>, A. Śliwa<sup>b</sup>, M. Sroka<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Studenci Politechniki Śląskiej, Wydział Mechaniczny Technologiczny  
email: dariusz.gros@gmail.com

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

**Streszczenie:** W niniejszej pracy przedstawiona została analiza rozkładu naprężeń wałka redukcyjnego wykonanego ze stali S355J0 w programie SolidWorks. Naprężenia powstały w wyniku obciążenia wałka redukcyjnego momentem obrotowym przyłożonym na górnych zębach, które występują w momencie styku z drugim wałkiem podczas pracy. Określono miejsca z największymi naprężeniami podczas przyłożenia momentu obrotowego, miejscami zagęszczono siatkę w celu zwiększenia dokładności obliczeń oraz przemieszczenia występującego podczas obciążenia [1].

**Abstract:** This paper presents the analysis of stress distribution in reducing shaft made of S355J0 steel created by using SolidWorks. These stresses are caused by the torque loaded on the upper teethes, which occur at the time of contact with the second roller during operation. In this paper locations with the highest tension while bending, density of the grid in order to increase the accuracy of calculation and the displacements occurring during load were specified [1].

**Słowa kluczowe:** SolidWorks, rozkład naprężeń, wałek redukcyjny, stal S355J0

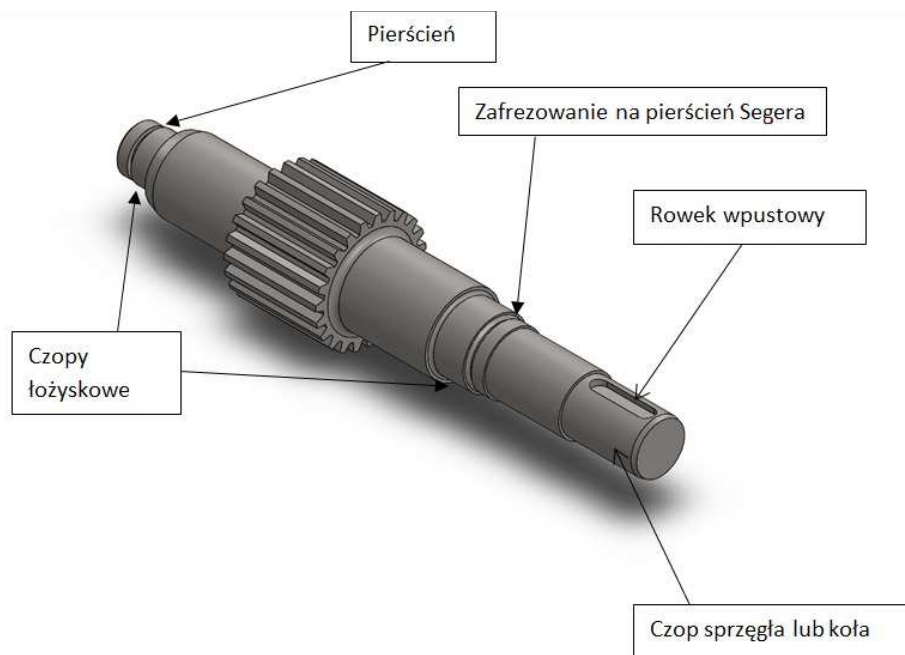
### 1. WPROWADZENIE

Wałkiem nazywamy sztywny element podparty na łożyskach, na których osadzone są inne części stałe lub ruchome. Warunkiem jakie musi spełniać wałek jest przenoszenie momentu skręcającego (elementy nie przenoszące momentu skręcającego nazywamy osiami). Najczęściej stosowane wałki to wałki proste. W rozpatrywanym przypadku wałek redukcyjny wyposażony jest w zęby współpracujące z innym wałkiem napędzającym. Przykładowy wałek, który jest przedmiotem pracy został przedstawiony na rysunku 1 [1,2,6].

Podstawowe elementy wałka to:

- czopy – powierzchnie, na których osadza się inne elementy mechanizmów,
- pierścienie i kołnierze – powierzchnie dla elementów, które są osadzone na wale,
- powierzchnie swobodne – powierzchnie przejściowe,

- czopy spoczynkowe – nie przesuwające się w czasie pracy,
- czopy ruchome – przesuwające się w czasie pracy,
- rowki spustowe – elementy służące do zamocowania piast na czopach wału,
- zafrezowania na pierścień Segera – powierzchnia przeznaczona na pierścień zabezpieczający przed zsuwaniem łożyska,
- zęby – współpracujące z wałkiem napędzającym służące do przekazania momentu na wał.



Rysunek 1. Zdjęcie zaprojektowanego wałka redukcyjnego z opisem poszczególnych części [5]  
 Figure 1. Photo of modeled reducing shaft with description of individual parts [5]

Wiele gałęzi przemysłu wykorzystuje metodę elementów skończonych. Metoda ta wykorzystywana jest także do sprawdzania wykonanych wcześniej obliczeń analitycznych, czy zaprojektowany wcześniej element wytrzyma warunki pracy i czy dobrano odpowiedni materiał. Pozwala to na pominięcie prób na gotowym, często bardzo kosztownym elemencie lub jest nawet jedyną możliwością sprawdzenia danej konstrukcji przed wprowadzeniem do produkcji [2,3].

W celu analizy naprężeń oraz w celu zamodelowania wałka został wykorzystany program SolidWorks 2013. Jest to program, który umożliwia projektowanie 3D, stworzenie rysunku technicznego elementu lub złożenia wielu elementów, symulacji, a skończywszy na wytwarzaniu i zarządzaniu projektem. Model wałka, który został użyty w tej pracy został stworzony od podstaw przez studentów [3,4].

Uwagi podczas projektowania wałków:

- unikanie zmniejszenia średnicy w środkowej części – powoduje to spiętrzenie naprężeń w miejscu gdzie znajduje się duże obciążenie i mała sztywność wału. Zwiększa się podatność na ugięcie;
- łagodne przejścia pomiędzy średnicami i duże promienie przejścia;
- zaokrąglenie krawędzi frezów,
- mała chropowatość czopów.

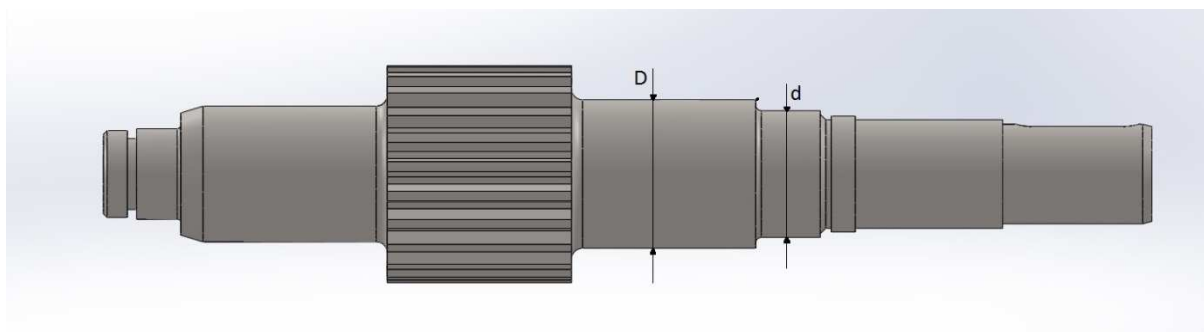
Kształtowanie wałów – po określeniu teoretycznego wyglądu wałka, wynikającego z obliczeń wytrzymałościowych należy wyznaczyć rzeczywisty kształt. Powinien on spełniać cztery wymagania:

- wał musi zachować wytrzymałość,
- powinien być jak najprostszy technologicznie,
- powierzchnie na wale muszą tworzyć dobre bazy dla części na nim osadzonych,
- kształt powinien zapewnić niski koszt produkcji.

Zaprojektowany wał powinien składać się z odcinków o kształcie cylindrycznym.

W taki sposób powstaje wał o różnych średnicach. Każdy skok ze średnicy  $d$  na średnicę  $D$  powoduje pojawienie się karbu (rys. 2). Następuje to według zasady stopniowania średnic (1):

$$\frac{D}{d} \leq 1,2 \quad (1)$$



Rysunek 2. Wał redukcyjny – przykład stopniowania średnic  
*Figure 2. Reducing shaft – example of gradation of diameters*

Materiały stosowane na wały:

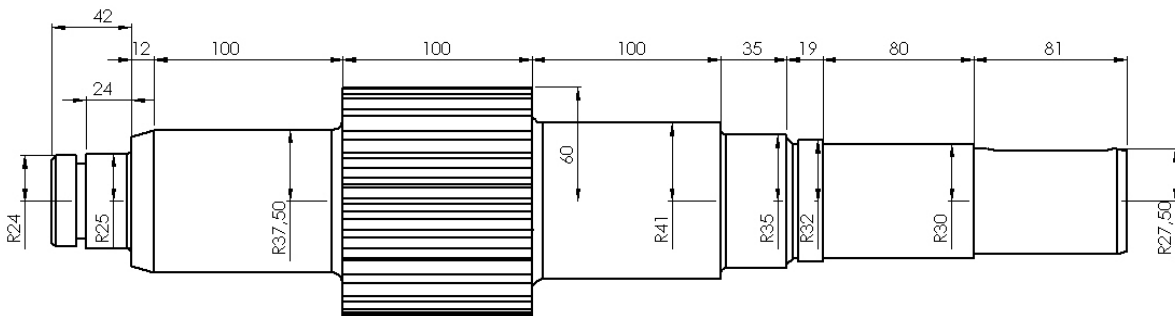
- stal konstrukcyjna węglowa zwykłej jakości np. St4, St5 (gdy elementy nie są bardzo obciążone),
- stal konstrukcyjna stopowa do ulepszenia cieplnego chromo-niklowa (gdy jest mała średnica wału),
- stal konstrukcyjna węglowa wyższej jakości N35, N45,
- stal konstrukcyjna stopowa do nawęglania lub azotowania (gdy ważna jest twardość powierzchni),
- stal konstrukcyjna stopowa o szczególnych własnościach (gdy pożądane są określone cechy takie jak nierdzewność, żaroodporność itp.).

## 2. ZAŁOŻENIA MODELOWE

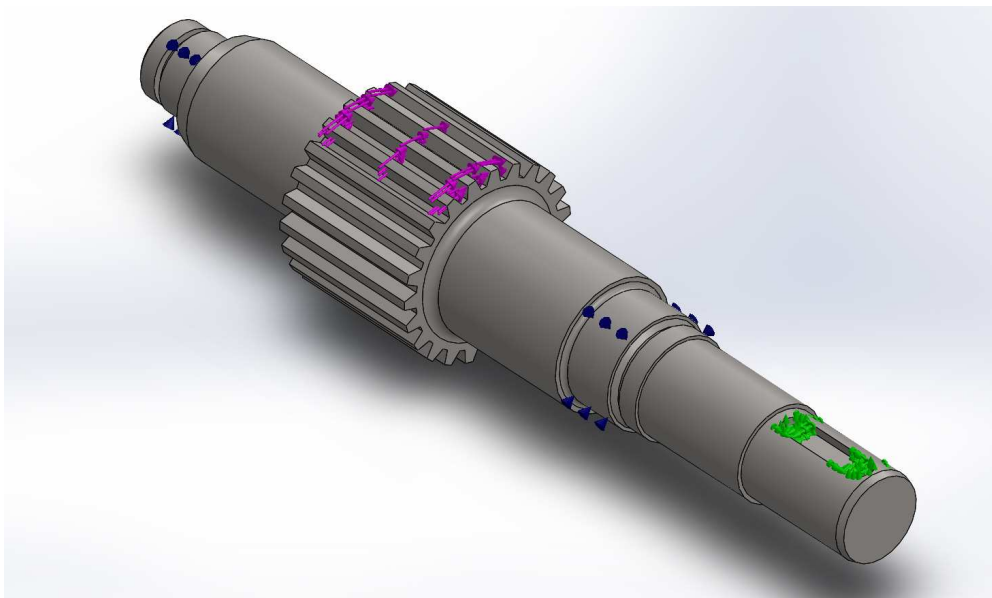
W niniejszej pracy analizie wytrzymałościowej został poddany wałek redukcyjny zaprojektowany od podstaw. Materiał użyty do zaprojektowania wałka to stal konstrukcyjna S355J0. Wymiary wałka zostały przedstawione na rysunku 3. Model stworzony został przy użyciu programu SolidWorks 2013. Wałek został umieszczony w dwóch łożyskach, na wyjściu wałka zostało zastosowane nieruchome umocowanie symulujące zablokowanie wałka podczas pracy, co zostało zobrazowane na rysunku 4. Moment obrotowy o wartości 150 N·m

został przyłożony na górnych zębach mających kontakt z wałkiem napędowym podczas pracy. W pracy została użyta analiza statyczna z trójścienną siatką. Siatka została zagęszczona w miejscach występowania naprężeń w celu zwiększenia dokładności obliczeń, pokazana na rysunku 5 [2÷4].

Przeanalizowano wpływ obciążenia momentem obrotowym na zęby wałka redukcyjnego ze stali konstrukcyjnej o wartości: 150 N·m.



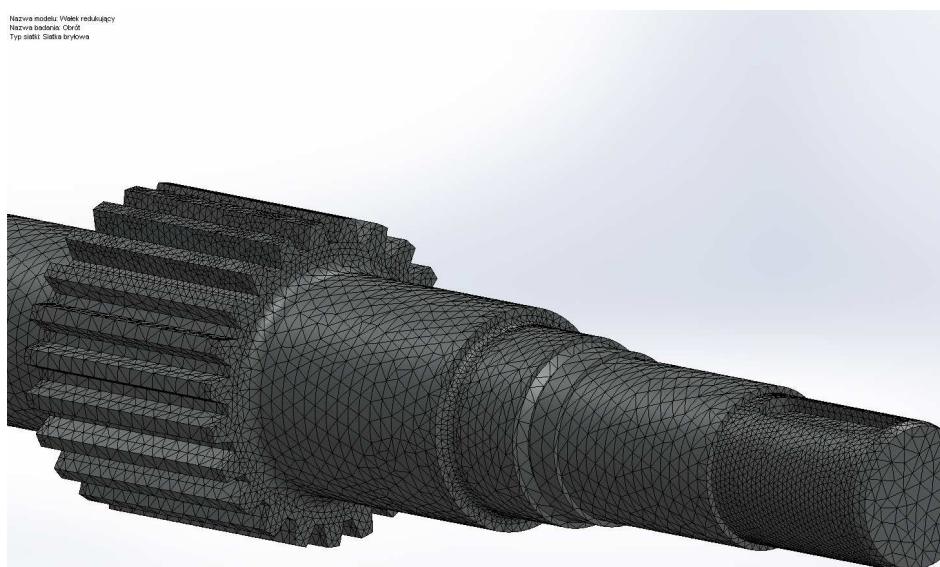
Rysunek 3. Wałek redukcyjny – wymiary poszczególnych fragmentów  
Figure 3. Reduction shaft – dimensions of specific fragments



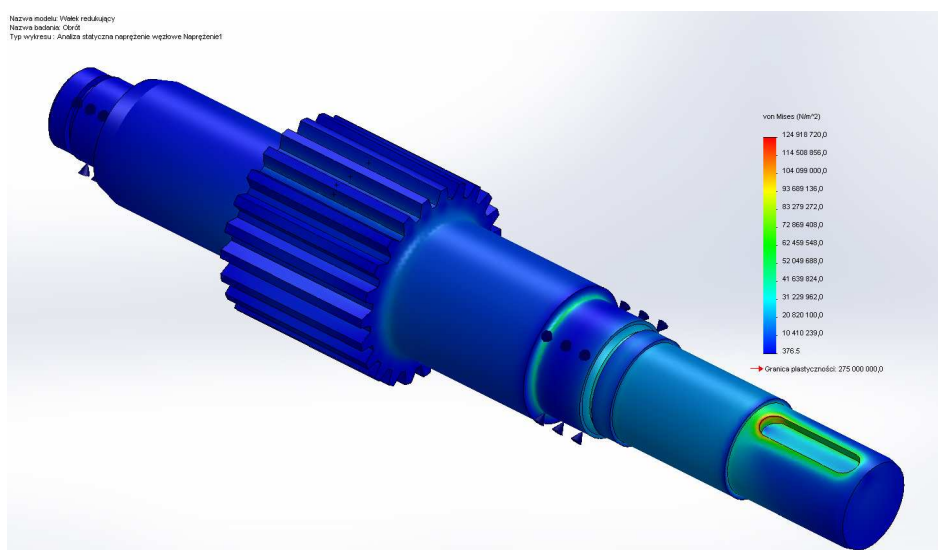
Rysunek 4. Wałek redukcyjny – miejsca umieszczenia łożysk, przyłożonego momentu obrotowego, umocowania  
Figure 4. Reduction shaft – locations of bearings, applied torque, fixation

### 3. ANALIZA ROZKŁADU NAPRĘŻEŃ

Na rysunkach 6÷7 przedstawiony został rozkład naprężeń analizowanego wałka redukcyjnego. Można zauważyć, że największe naprężenia występują w miejscu zafrezowania na pierścieniu Segera oraz miejscu otworu na czop [1].



Rysunek 5. Wałek redukcyjny–widok zmeshowanej siatki  
*Figure 5. Reduction shaft – view of meshed grid*

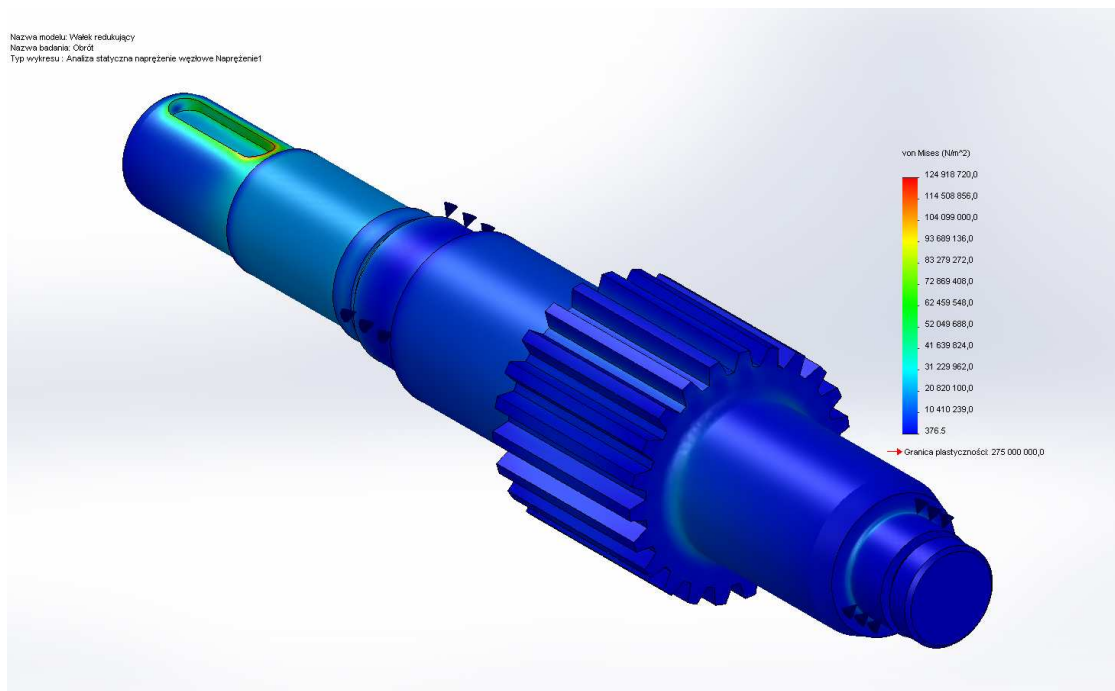


Rysunek 6. Rozkład naprężeń zredukowanych Hubera-von Misesa przy momencie obrotowym 150 N·m – widok izometryczny z przodu  
*Figure 6. Distribution of Huber-von Mises stress with torque of 150 N·m – isometric front view*

Naprężenia maksymalne wałka podczas obciążenia oscylują w granicach 100 – 125  $\text{MN/m}^2$ .

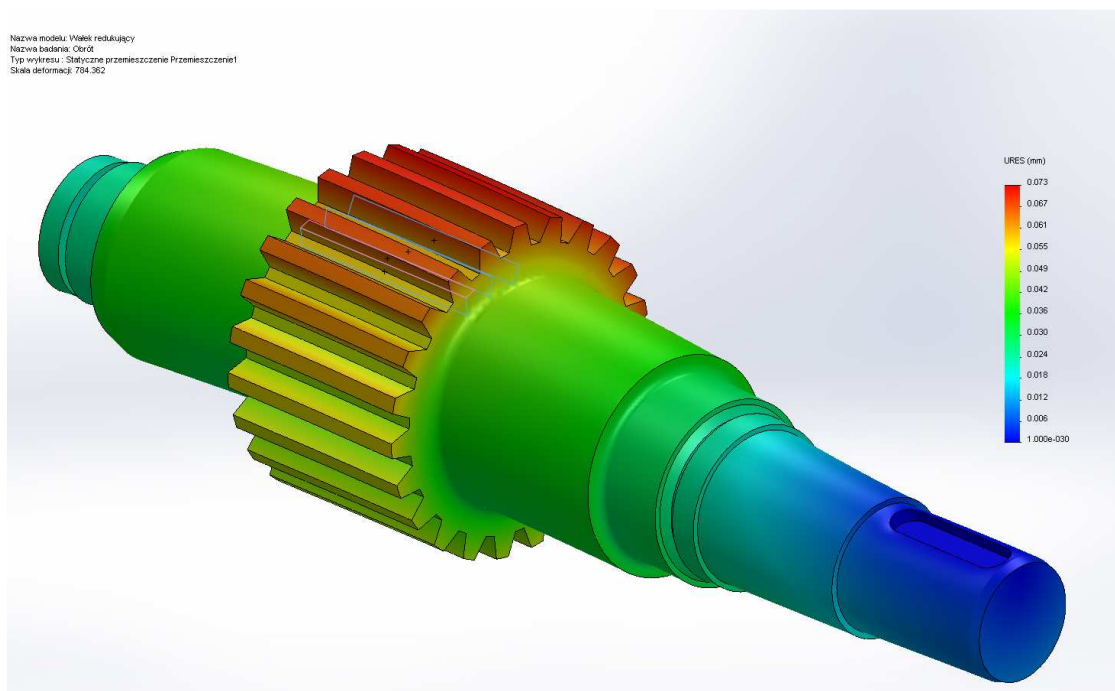
Badana stal spełnia zadane warunki, przy czym moment obrotowy może być dwukrotnie większy aby zbliżyć się do granicy plastyczności materiału [4].

Na rysunkach 8÷10 zostało przedstawione przemieszczenie wałka względem osi. Na rysunkach 8 i 9 przemieszczenia zostały zwiększone 764-krotnie w celu lepszego zobrazowania przemieszczenia wałka. Rysunek 10 pokazuje rzeczywistą skalę przemieszczenia, której maksymalna wartość wynosi 0,073 mm względem osi.



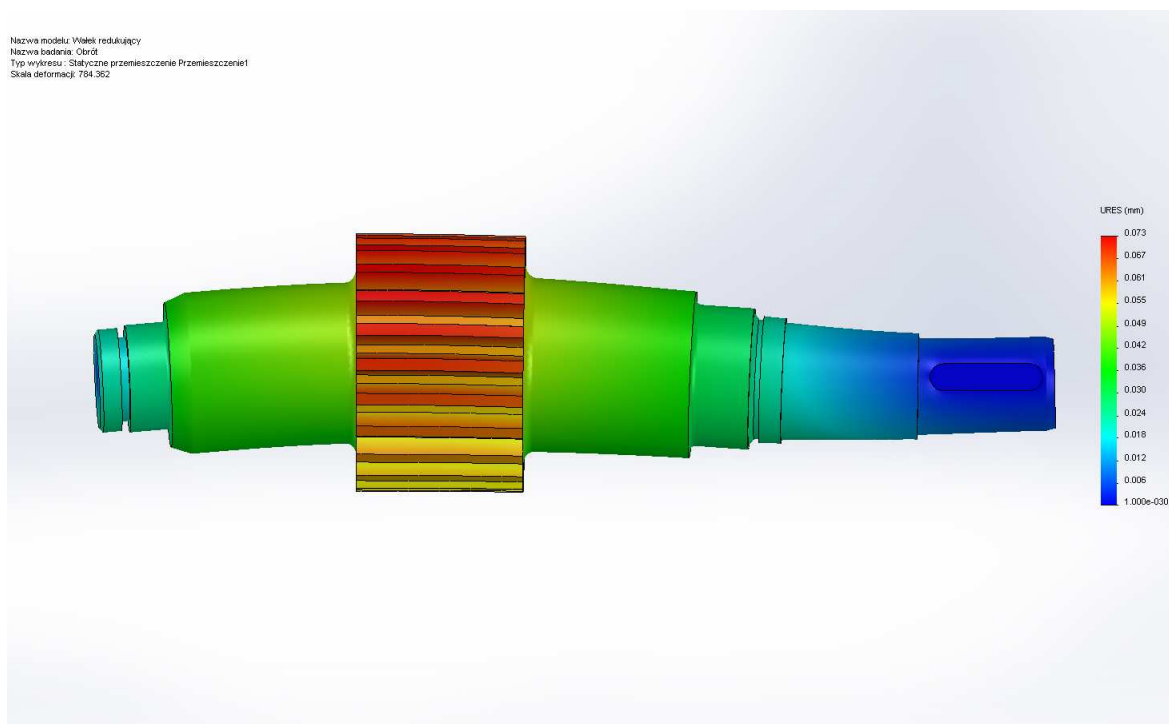
Rysunek 7. Rozkład naprężeń zredukowanych Hubera-von Misesa przy momencie obrotowym 150 N·m – widok izometryczny z tyłu

Figure 7. Distribution of Huber-von Mises stress with torque of 150 N·m – isometric view from behind

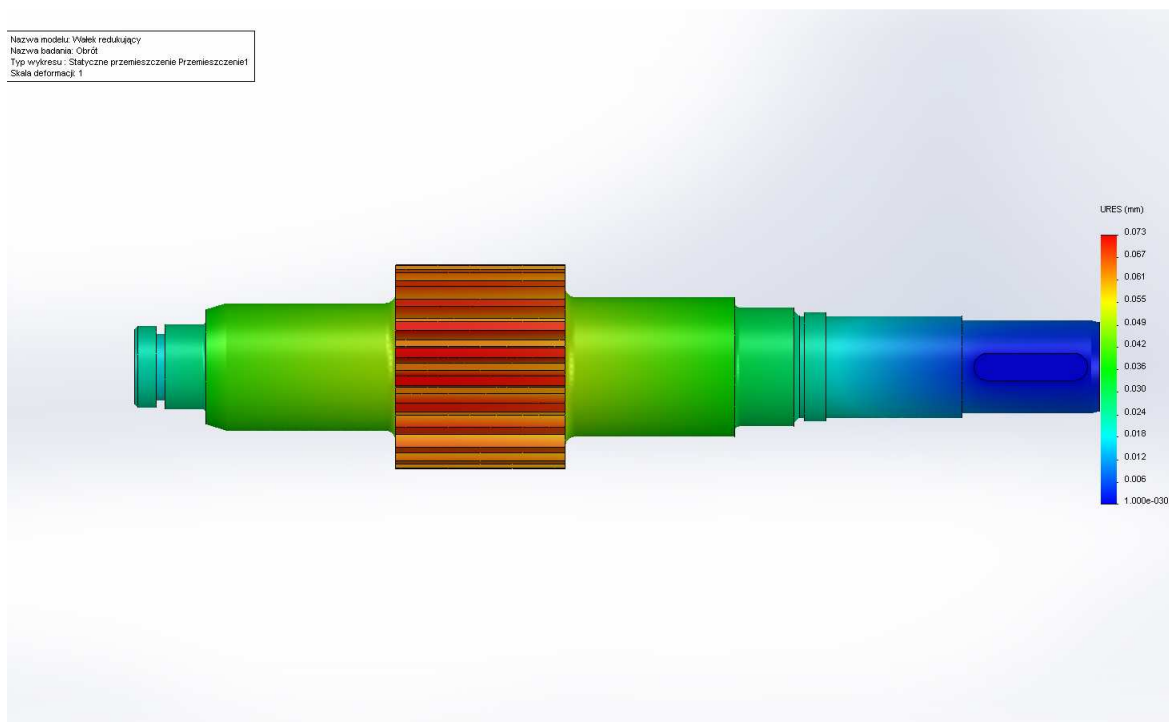


Rysunek 8. Przemieszczenie wałka (powiększone x764) – widok izometryczny

Figure 8. Displacement of shaft (magnified x764) – isometric view



Rysunek 9. Przemieszczenie wałka (powiększone x764) – widok z góry  
 Figure 9. Displacement of shaft (magnificated x764) – view from above



Rysunek 10. Przemieszczenie wałka (skala rzeczywista przemieszczenia) – widok z góry  
 Figure 10. Displacement of shaft (real scale of displacement) – view from above

#### **4. PODSUMOWANIE**

W niniejszej pracy przedstawiono analizę naprężeń wałka redukcyjnego ze stali konstrukcyjnej S355J0, zaprojektowanego przy pomocy oprogramowania SolidWorks 2013. Dzięki wykorzystaniu tego oprogramowania mamy możliwość przyspieszenia procesu projektowania, dostosowywania do określonych wymagań oraz symulowania wytrzymałościowego. Mamy też możliwość szybkiej korekty modelu, co w wypadku rzeczywistego przedmiotu byłoby trudniejsze i wolniejsze. Otrzymane wyniki potwierdzają słuszność wyboru stali konstrukcyjnej S355J0 do produkcji wałka redukcyjnego.

#### **LITERATURA**

1. M. Łodygowski, W. Kąkol, Metoda elementów skończonych w wybranych zagadnieniach mechaniki konstrukcji inżynierskich, skrypt nr 1779, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań, 1994.
2. G. Rakowski, Z. Kacprzyk, Metoda Elementów Skończonych w mechanice konstrukcji, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2005.
3. Strona internetowa producenta oprogramowania SolidWorks: <https://www.solidworks.com/sw/education/education-edition-2013-2014-overview.htm>, dostęp: 22/05/2015.
4. Norma PN-88/H-84020 – stale konstrukcyjne ogólnego przeznaczenia.
5. L.A. Dobrzański, Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo. Materiały inżynierskie z podstawami projektowania materiałowego, WNT, Warszawa, 2002.
6. A. Rutkowski, Części maszyn, WSiP, Warszawa, 2011.