



Analiza rozkładu naprężeń i odkształceń szyny kolejowej o profilu 60E1 wykonana w programie SolidWorks

K. Bauman^a, K. Dopierała^a, A. Śliwa^b

^a Studenci Politechniki Śląskiej, Wydział Mechaniczny Technologiczny
email: kasia.bauman@gmail.com

^b Politechnika Śląska Wydział Mechaniczny Technologiczny Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych
email: agata.sliwa@polsl.pl

Streszczenie: W pracy dokonano analizy rozkładu naprężeń i odkształceń szyny kolejowej o profilu 60 E1 oraz składzie chemicznym i własnościach odpowiadającym stali o oznaczeniu R350HT. Profil oraz stop pochodzą z normy PN-EN 13674-1:2006. Symulacje wykonano w programie SolidWorks.

Abstract: The paper presents an analysis of the distribution of stress and strain rail profile 60 E1 and the chemical composition and properties of steel corresponding marked R350HT. Profile and alloy derived from the PN-EN 13674-1:2006. Simulation was realized by SolidWorks.

Słowa kluczowe: szyna kolejowa, 60 E1, rozkład naprężeń, odkształcenie

1. WPROWADZENIE

Transport kolejowy stanowi jedną z głównych metod przemieszczania się materiałów i ludzi od dwóch wieków. Pierwsza publiczna linia kolejowa została otwarta w roku 1825 w Anglii, od tego momentu datuje się gwałtowny przyrost tego rodzaju transportu, a co za tym idzie zapotrzebowania na szyny kolejowe. Największy poziom produkcji szyn został osiągnięty na przełomie XIX i XX wieku – 24 tys. km. Współczesny wygląd szyna kolejowa (rys. 1) uzyskała już w I połowie XIX wieku za sprawą amerykańskiego inżyniera Stephensa, który zastąpił używany dotychczas w Stanach model szyny (drewniana belka z nałożoną grubą żelazną taśmą) swoim projektem. W Europie spopularyzowanie tego modelu nastąpiło dopiero pod koniec wieku za sprawą Charlsa Vignole'a, który zastąpił szynę Stephensa dotąd stosowaną na starym kontynencie projektem Stephensa, dlatego też w Europie szyna Stephensa znana jest pod nazwiskiem Vignole, mimo że to nie on jest jej twórcą [1,2,5].

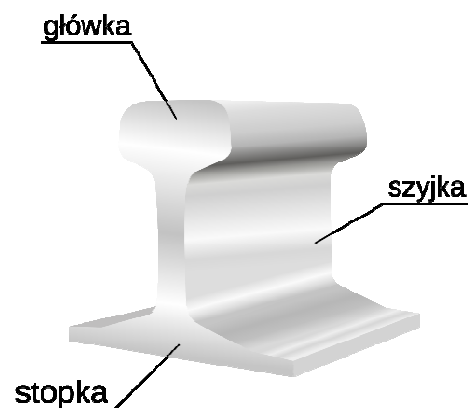


Rysunek 1. Szyna kolejowa Vignole'a [4]

Figure 1. Vignole rail [4]

Kształt szyny Vignole'a można podzielić na trzy obszary, z których każdy posiada osobne zadanie, któremu musi sprostać (rys. 2) [4,5]:

- główka, projektowana jest tak, aby odbierała obciążenia pociągu przy jak najmniejszej powierzchni styku szyna-koło, co pozwala zmniejszyć siły tarcia, jej budowa zapewnia również zabezpieczenie przed wypadnięciem pojazdu z toru podczas skrętów czy silnego bocznego wiatru. Główka jest projektowana na działanie sił zginających. Należy również pamiętać, że z czasem główka zmniejsza swój przekrój poprzeczny w wyniku starcia materiału;
- szyjka, projektowana jest tak, aby przenosiła obciążenia pionowe z główki do stopki, a jej wysokość ochrania koło pociągu od przedmiotów zalegających na ziemi, co zwiększa bezpieczeństwo jazdy;
- stopka, projektowana jest tak, aby podierała całą szynę oraz rozprowadzała siły nacisku przenoszone przez szyjkę z główki na podłożu, zapewnia to duża powierzchnia stopki.



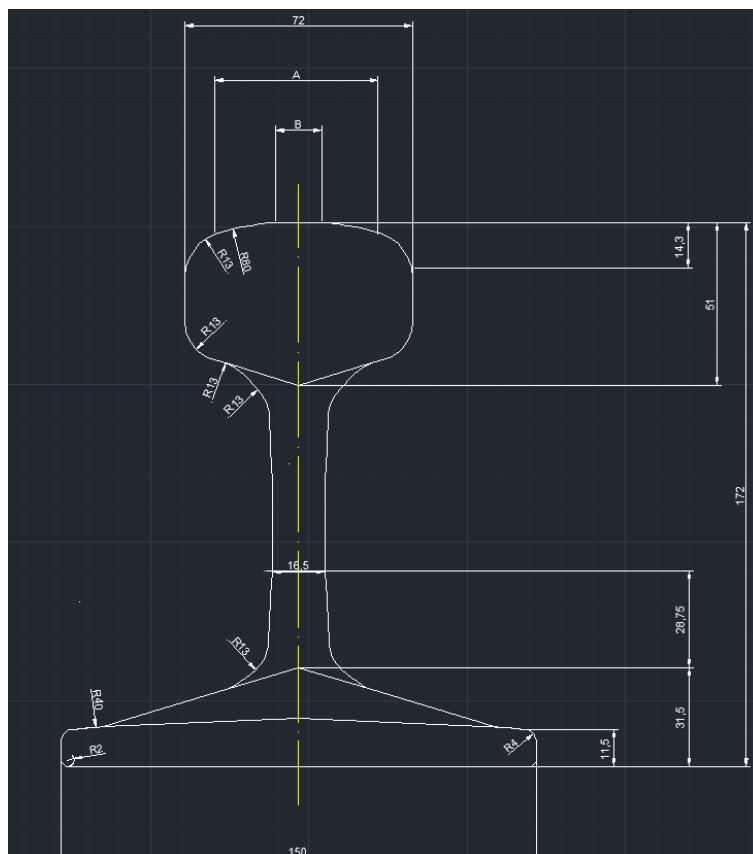
Rysunek 2. Sekcje szyny Vignole'a [4]

Figure 2. Vignole rail division[4]

2. WŁASNOŚCI SZYNY 60 E1, STOPU 350HT ORAZ ANALIZA WARUNKÓW PRACY

Do przeprowadzenia symulacji komputerowej rozkładu naprężeń i odkształceń została wybrana szyna kolejowa o profilu 60 E1 (rys. 3) zgodna z normą PN-EN 13674-1:2006. Szyna o tym profilu należy do jednej z najczęściej używanych szyn kolejowych w Polsce, spowodowane jest to wysokimi własnościami wytrzymałościowymi zapewnianymi przez kształt geometryczny profilu. Według wyżej wymienionej normy profil ten charakteryzuje się [1,2]:

- powierzchnia przekroju poprzecznego: $76,70 \text{ cm}^2$,
- masa 1mb: $60,21 \text{ kg/m}$,
- moment bezwładności względem osi x-x: $3038,3 \text{ cm}^4$,
- wskaźnik wytrzymałości względem główki: $333,6 \text{ cm}^3$,
- wskaźnik wytrzymałości względem stopki: $375,5 \text{ cm}^3$,
- moment bezwładności względem osi y-y: $512,3 \text{ cm}^4$,
- wskaźnik wytrzymałości względem osi y-y: $68,3 \text{ cm}^3$.



Rysunek 3. Szyna kolejowa o profilu 60 E1

Figure 3. Rail profile 60 E1

Stop użyty do wytworzenia szyny posiada oznaczenie 350HT i pochodzi z normy PN-EN 13674-1:2006. Jego skład chemiczny oraz własności przedstawiono w tablicach 1 oraz 2 [1,2].

Tablica 1. Skład chemiczny stali 350HT [1]

Table 1. The chemical composition of the steel 350HT [1]

		Udział masowy											
		%										10 ⁻⁴ %	
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Al	V	N	O	H	
Stan płynny	Min.	0,72	0,15	0,7	-	0,008	-	-	-	-	-	-	
	Maks.	0,8	0,58	1,2	0,02	0,025	0,15	0,004	0,03	0,009	20	3	
Stan stały	Min.	0,7	0,13	0,65	-	0,008	-	-	-	-	-	-	
	Maks.	0,82	0,6	1,25	0,025	0,03	0,15	0,004	0,03	0,01	20	3	

Tablica 2. Własności mechaniczne stali 350HT [1]

Table 2. Mechanical properties of the steel 350HT [1]

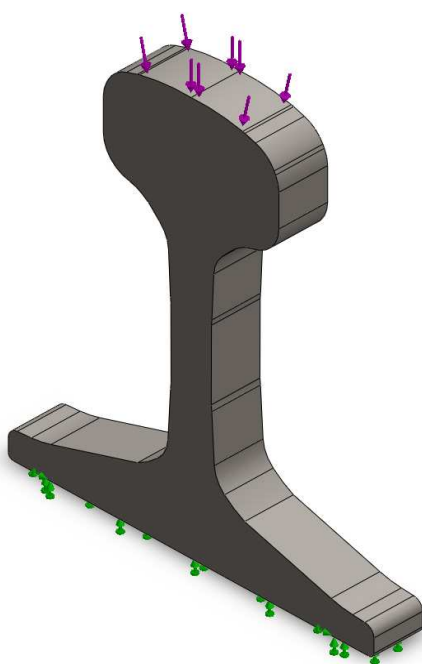
R _m _{min} , MPa	A, %	Zakres twardości, HBW
1175	9	350÷390

Zgodnie z zaleceniami kodeksu UIC kategoria torów na terenie Polski mieści się w granicach klasy C3, o ile nie ma wprowadzonych dodatkowych ograniczeń. Maksymalne obciążenie na oś w takim przypadku wynosi 20 ton oraz 7,2 t/mb. Właśnie takie obciążenie zostało uwzględnione podczas obliczeń [3].

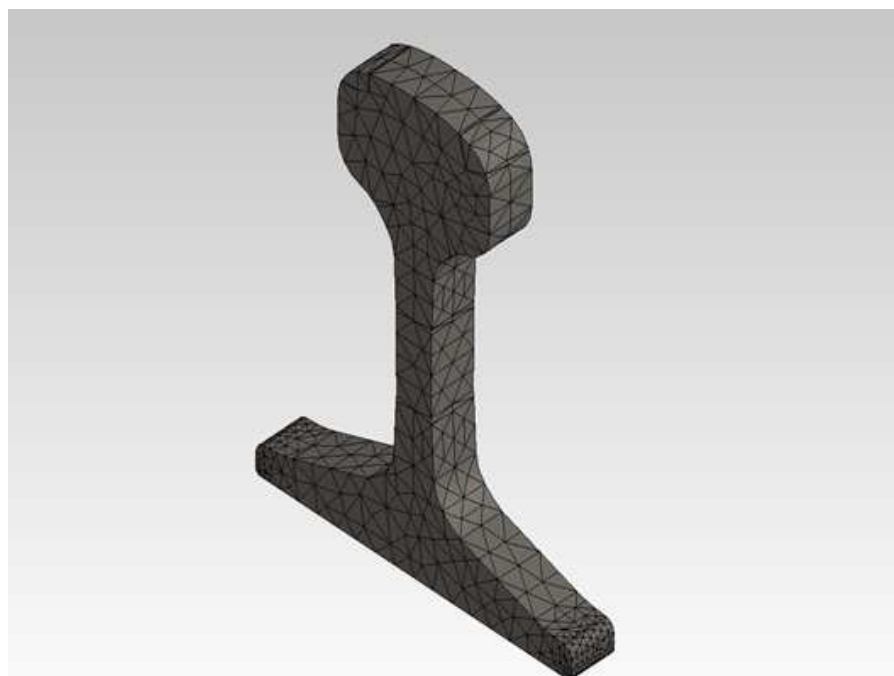
3. PRZYGOTOWANIE MODELU GRAFICZNEGO I WYKONANIE SYMULACJI KOMPUTEROWEJ

W niniejszej pracy analizie z zastosowaniem modelowania metodą elementów skończonych (MES) poddano profil szyny kolejowej 60 E1 przy użyciu programu SolidWorks. Celem analizy było otrzymanie symulacji naprężeń, odkształceń oraz przemieszczeń występujących w elemencie podczas pracy.

Głównym założeniem MES jest podział modelu geometrycznego ciągłego na elementy skończone, łączące się w tzw. węzłach, czego efektem jest utworzenie modelu geometrycznego dyskretnego. W czasie obliczeń dyskretyzacji ulegają również wszystkie inne wielkości fizyczne, przedstawione w układzie za pomocą funkcji ciągłych (np. obciążenia, utwierdzenia, przemieszczenia, naprężenia). Podczas dyskretyzacji określonej wielkości fizycznej dąży się do maksymalnego zbliżenia jej postaci dyskretnej i ciągłej z zastosowaniem metod aproksymujących. Przed dyskretyzacją modelu CAD dokonano odpowiedniego uproszczenia, usuwając elementy nieistotne z punktu widzenia analizowanego zjawiska np. promienie, fazy, małe pochylenia. Następnie na modelu 3D przekroju szyny zostały odebrane punkty podparcia od strony kontaktu szyny z podłożem. Przekrój obciążono dwoma różnymi wartościami siły na powierzchni styku z kołem pociągu. Pierwsza analiza została przeprowadzona dla 1t, druga dla 10t. Geometryczny model został przedstawiony na rysunku 4. Model zdyskretyzowano za pomocą 74485 węzłów (rysunek 5). Materiał szyny zdefiniowano jako „AISI 1010 Stal walcowana na gorąco”. Własności sprężyste materiału określono przez wprowadzenie współczynnika Poissona $\nu=0,29$. Symulacje numeryczne wykonano zakładając warunek plastyczności Huber-Mises dla ciał izotropowych z granicą plastyczności równą $1,8e+008 \text{ N/m}^2$.



Rysunek 4. Model geometryczny (CAD) profilu szyny kolejowej 60E1
Figure 4. Geometric model (CAD) of rail profile 60E1



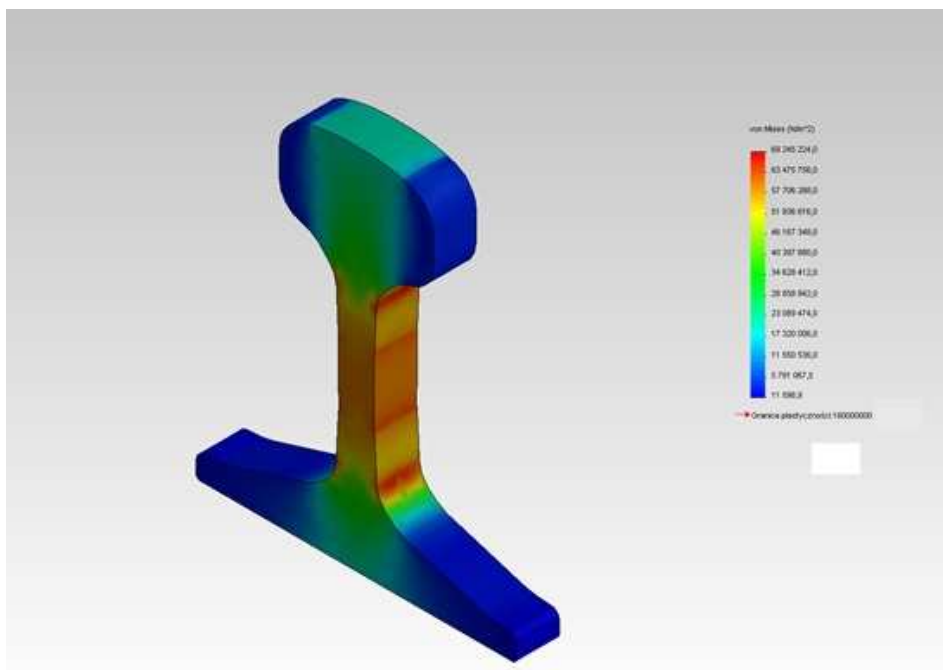
Rysunek 5. Model numeryczny profilu szyny dyskretyzowany za pomocą elementów skończonych
Figure 5. Numerical model of rail profile discretized by finite element method

4. ANALIZA WYNIKÓW

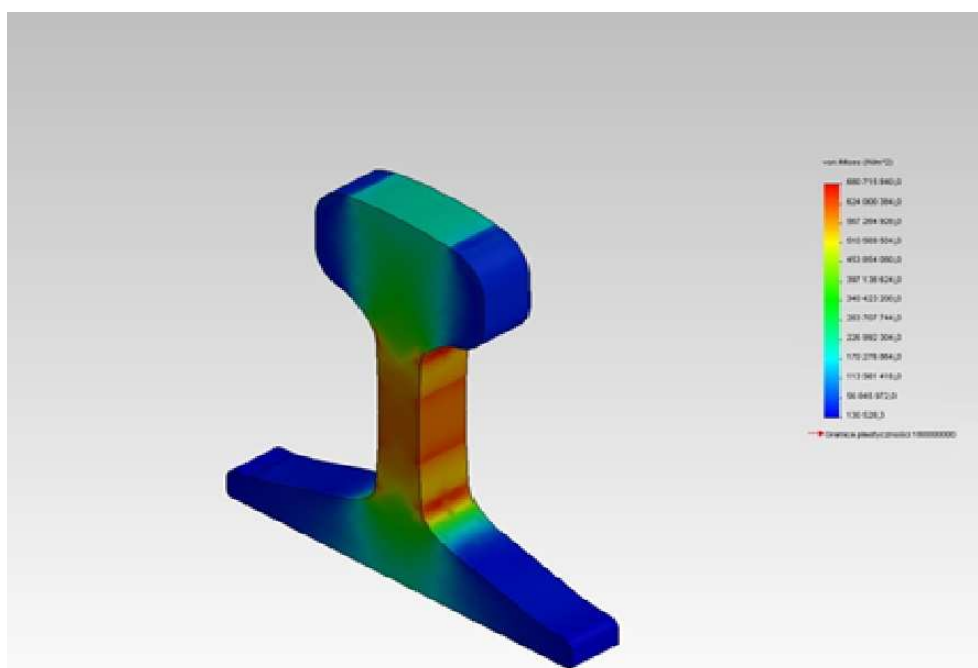
W pracy przeanalizowano wpływ obciążeń o dwóch różnych wartościach. W pierwszym przypadku element został obciążony 1t, natomiast w drugim, maksymalnym dopuszczalnym obciążeniem szyny kolejowej na jedną oś tj. 10t. Pierwszą przeprowadzoną analizą był rozkład naprężeń von Misesa. Wartość naprężeń przedstawiono w kolorach, według skali znajdującej się po prawej stronie rysunków 6 i 7 i podzielonej na 12 równych części. Na podstawie analizy można stwierdzić, że największe naprężenia powstają w centralnej części profilu, w obszarze szyjki szyny. Największa kumulacja naprężeń ma miejsce od górnej i dolnej części szyjki. Przy obciążeniu o masie 1t wartość maksymalnego naprężenia wynosi $6.92452e+007$ N/m², natomiast przy zastosowaniu 10 ton wzrasta do $68,0715840e+007$ N/m². Na podstawie symulacji można stwierdzić, że dla wybranej stali obciążenie 10 ton nie spowoduje uszkodzenia szyny. Została zachowana granica bezpieczeństwa, a wartość granicy plastyczności nie została przekroczona.

Druga analiza dotyczyła rozkładu przemieszczeń, w obu przypadkach przemieszczenia rozkładają się w górnej części profilu w tzw. główce osiągając kolejno wartości $3,529e-002$ mm (rys. 8) i $3,580e-001$ mm (rys. 9).

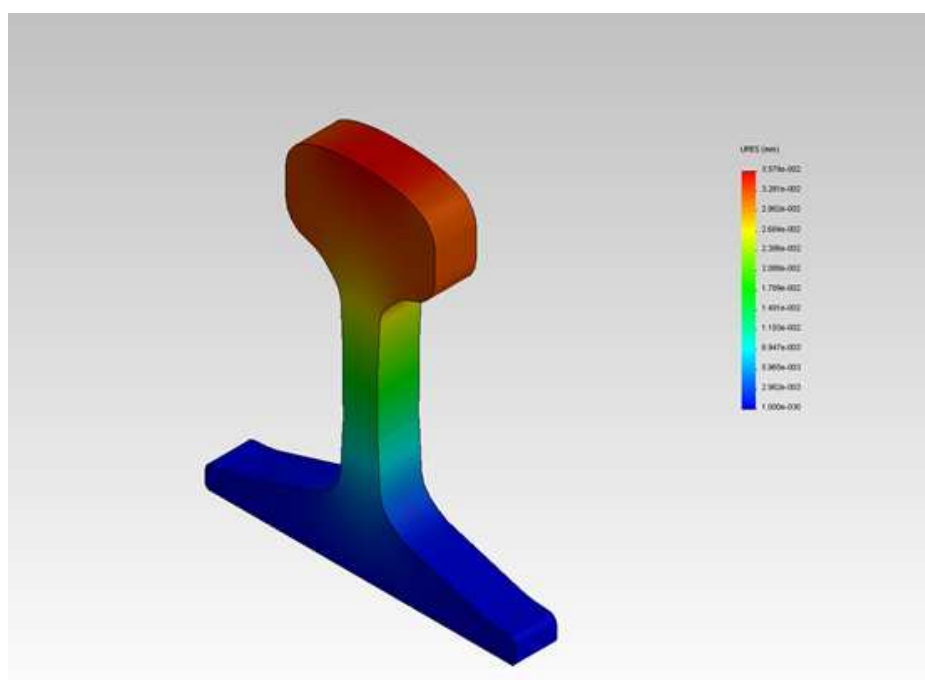
Ostatnią przeprowadzoną analizą był rozkład odkształceń dla profilu poddanego obciążeniu 1t i 10t. W obu modelach największe odkształcenie występuje w środkowej części szyny – szyjce. Dla pierwszego przypadku (rys. 10) osiąga ono wartość $2690e-004$, dla drugiego (rys. 11) $2704e-003$.



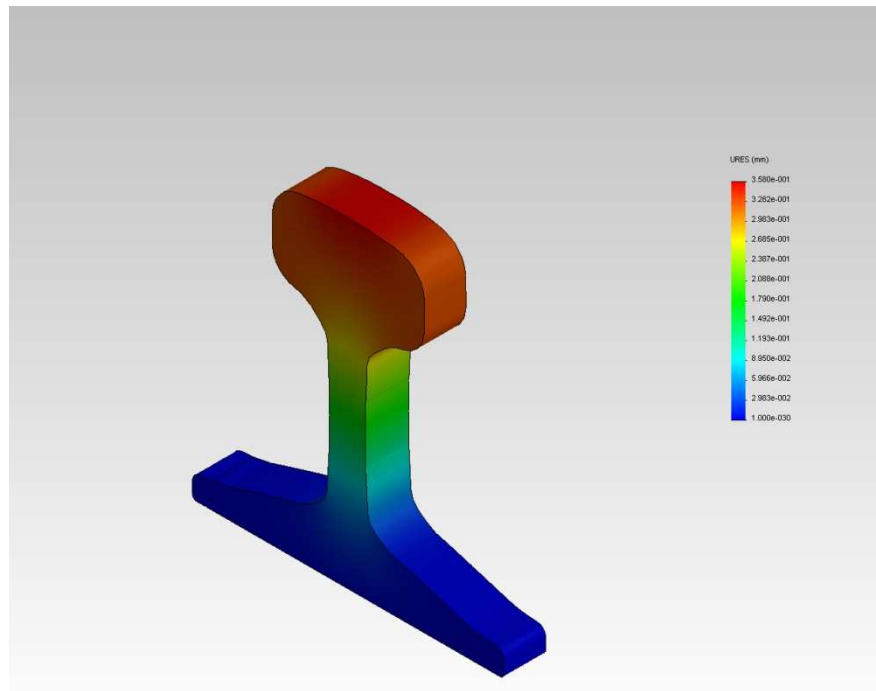
Rysunek 6. Rozkład naprężeń dla szyny 60E1 przy obciążeniu 1 tony
Figure 6. Stress distribution for rail profile 60E1 under 1 ton load



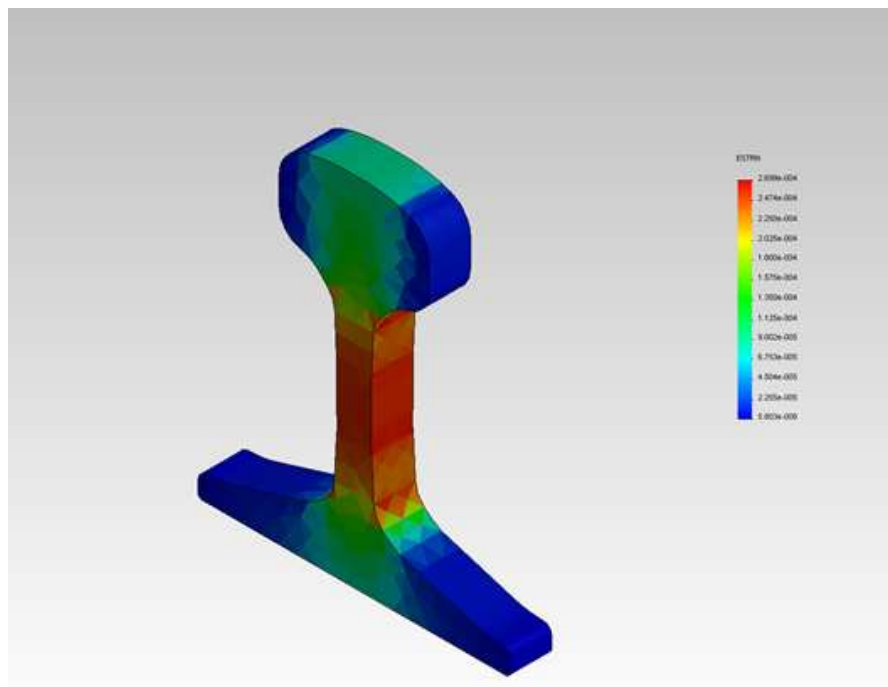
Rysunek 7. Rozkład naprężeń dla szyny 60E1 przy obciążeniu 10 ton
 Figure 7. Stress distribution for rail profile 60E1 under 10 tons load



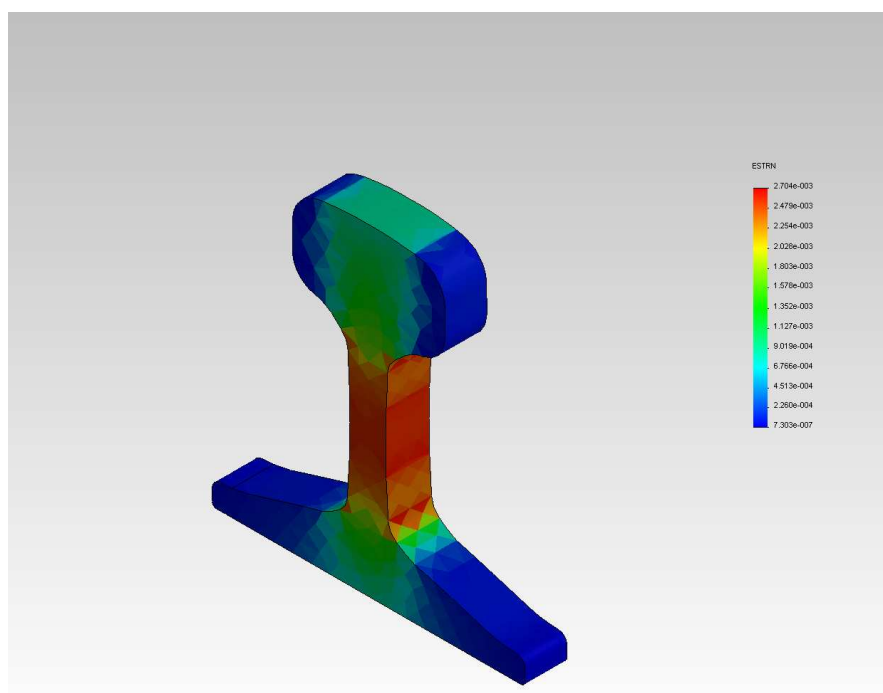
Rysunek 8. Rozkład przemieszczeń dla szyny 60E1 przy obciążeniu 1 tony
 Figure 8. Displacement distribution for rail profile 60E1 under 1 ton load



Rysunek 9. Rozkład przemieszczeń dla szyny 60E1 przy obciążeniu 10 ton
Figure 9. Displacement distribution for rail profile 60E1 under 10 tons load



Rysunek 10. Rozkład odkształceń dla szyny 60E1 przy obciążeniu 1 ton
Figure 10. Deformation distribution for rail profile 60E1 under 1 ton load



Rysunek 11. Rozkład odkształceń dla szyny 60E1 przy obciążeniu 10 ton
Figure 11. Deformation distribution for rail profile 60E1 under 10 tons load

5. PODSUMOWANIE

Uzyskane dane sugerują, że charakter przemieszczeń oraz rozkłady odkształceń i naprężeń są w obu modelach podobne. Analiza przemieszczeń wykazała, że w przypadku proponowanej geometrii i wymiarów profilu szyny maksymalnym dopuszczalnym obciążeniem dla pojedynczej osi jest masa 10t. Analogicznie jak w przypadku naprężeń większe wartości przemieszczeń i odkształceń zredukowanych stwierdzono w modelu obciążonym 10t. Różnice wartości przemieszczeń i odkształceń są znaczące. Dla przemieszczeń szczególnie w górnej części profilu, natomiast dla odkształceń najbardziej narażonym miejscem jest szyjka profilu szyny.

LITERATURA

1. PN-EN 13674-1:2006. Kolejnictwo. Tor. Szyna. Część 1: Szyny kolejowe Vignole'a o masie 46 kg/m i większej, PKN, Warszawa, 2006.
2. Warunki techniczne i odbioru szyn kolejowych, Biuro Dróg Kolejowych Centrala PKP PLK S.A., Warszawa, 2004.
3. Kodeks UIC.

4. strona internetowa: www.thyssenkruppght.pl
5. E. Urbańczyk, J. Kasproicz, Szyny kolejowe – wymagania, technologia i pozycja na rynku. Huta Katowice – ISPAT Polska Stal, Materiały seminaryjne: Szóste seminarium diagnostyki nawierzchni szynowych, 293-306.