



Analiza rozkładu naprężeń oraz przemieszczeń regału paletowego wykonana w programie SolidWorks

M. Morawiec^a, A. Kretek^a, W. Głowacki^a, A. Śliwa^b

^a Studenci Politechniki Śląskiej, Wydział Mechaniczny Technologiczny
email: mateuszmorawiec0@gmail.com, annakretek@onet.pl, wggłowacki@op.pl

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

Streszczenie: W pracy przedstawiono analizę rozkładu naprężeń i przemieszczeń powstałych w regałach paletowych pod obciążeniem. Określono miejsca o największej wartości naprężeń oraz maksymalne przemieszczenie jakie ma miejsce podczas użytkowania. Sprawdzono również czy możliwe byłoby zastosowanie aluminium jako materiału na konstrukcję regału.

Abstract: The paper presents the analysis of the stress and displacement distribution in pallet racking under different load. Places with the higher stress and displacement was determined. The paper show an investigation on potential use of aluminum to manufacture pallet racking.

Słowa kluczowe: regały paletowe, rozkład naprężeń, przemieszczenia

1. WPROWADZENIE

Regały paletowe są często wykorzystywane do magazynowania różnego rodzaju artykułów powszechnego użytku (meble, sprzęt AGD, materiały budowlane itp.). Ponadto nierzadko są one regałami wysokiego składowania (posiadają kilka poziomów załadunkowych), co pozwala na zmniejszenie powierzchni hali magazynowej przy jednoczesnym zwiększeniu powierzchni załadunkowej. Przykład regału wysokiego składowania został przedstawiony na rysunku 1.

W zależności od zastosowanej konstrukcji wyróżnia się następujące klasy regałów paletowych [2]:

- klasa 100,
- klasa 200,
- klasa 300A,
- klasa 300B,
- klasa 400.

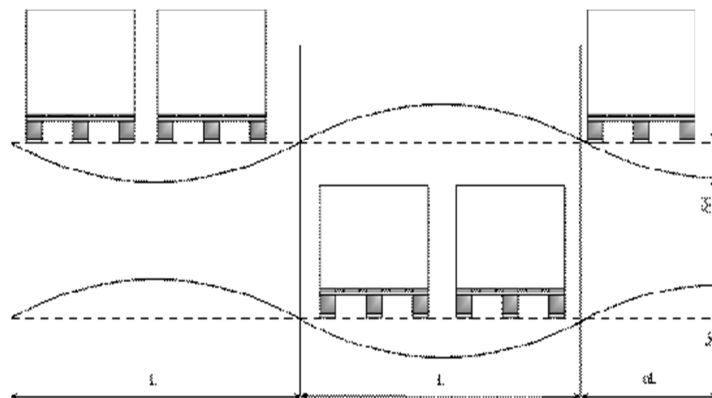
Poszczególne klasy różnią się między sobą sposobem załadunku palet na miejsca paletowe. Wykazują także różnice pod względem aspektów eksploatacyjnych, z których najważniejszym jest odkształcenie poprzeczek nośnych jakie powstaje podczas obciążania regału. Cecha ta

jest niezwykle istotna ze względu na konieczność zapewnienia bezpieczeństwa obsługującym konstrukcje pracownikom, a w przypadku magazynów samoobsługowych również klientom. Z tego powodu dla każdego rodzaju regału paletowego wytwórca podaje dopuszczalne obciążenie całego produktu oraz pojedynczego miejsca paletowego. Podczas projektowania oraz użytkowania regału z dwoma lub trzema miejscami paletowymi pamiętać należy, że oprócz ugięcia poprzeczki w dół w miejscu obciążonym może wystąpić ugięcie w górę w miejscu sąsiednim (rys. 2) [2,3].



Rysunek 1. Regał wysokiego składowania [1]

Figure 1. High storage racks [1]

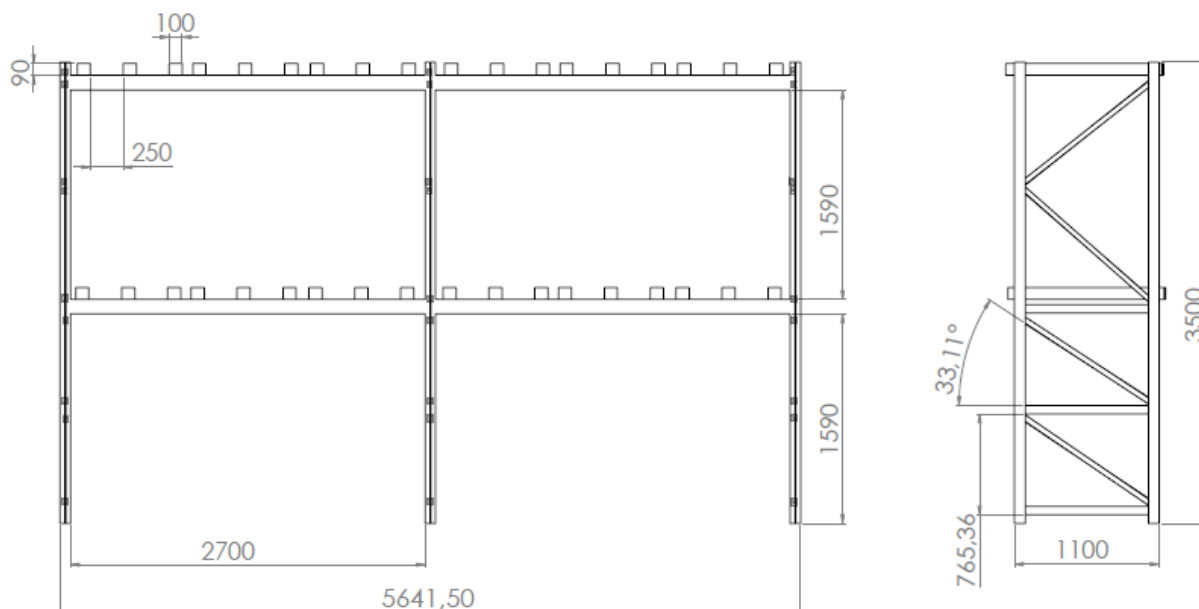


Rysunek 2. Ugięcie poprzeczki pod obciążeniem [3]

Figure 2. Bending of beam under the load [3]

2. ANALIZA ROZKŁADU NAPRĘŻEŃ DLA REGAŁU PALETOWEGO

W niniejszej pracy analizie poddano regał należący do klasy 400, czyli obsługiwany przez wózki podnośnikowe czołowe lub z masztem wewnętrznym wysuwanym. Na rysunku 3 przedstawiono geometrię oraz wymiary analizowanego regału.



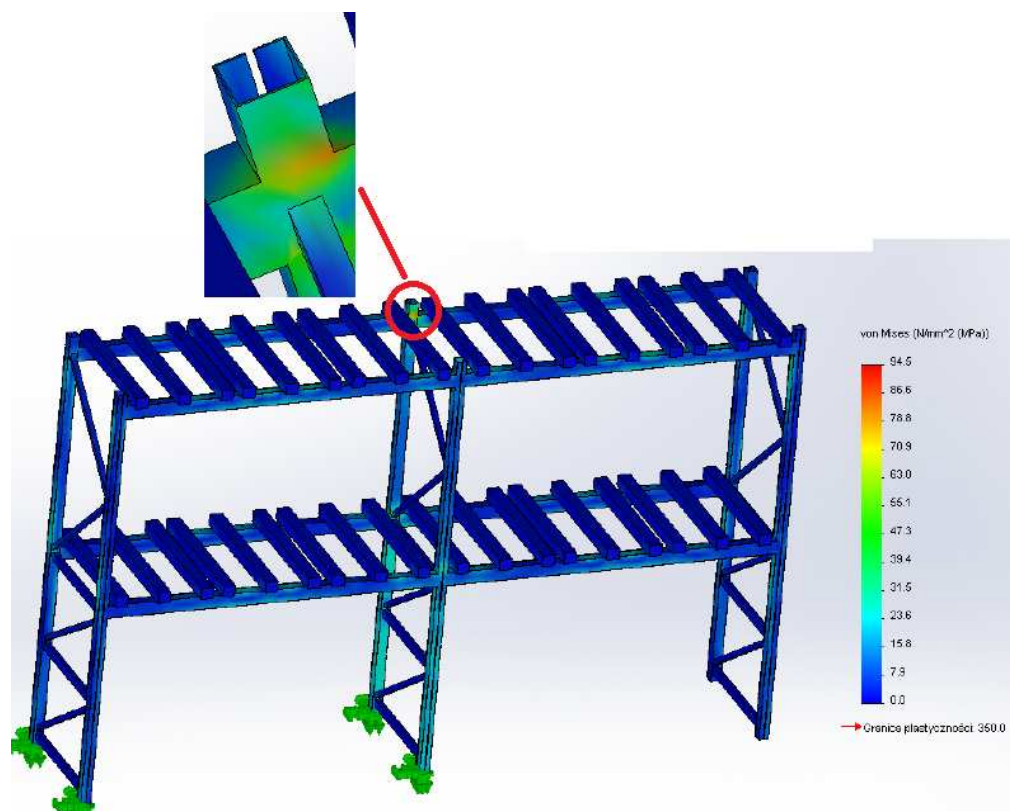
Rysunek 3. Geometria oraz wymiary analizowanego regału (na podstawie [4])

Figure 3. The geometry and dimensions of pallet racking (based on [4])

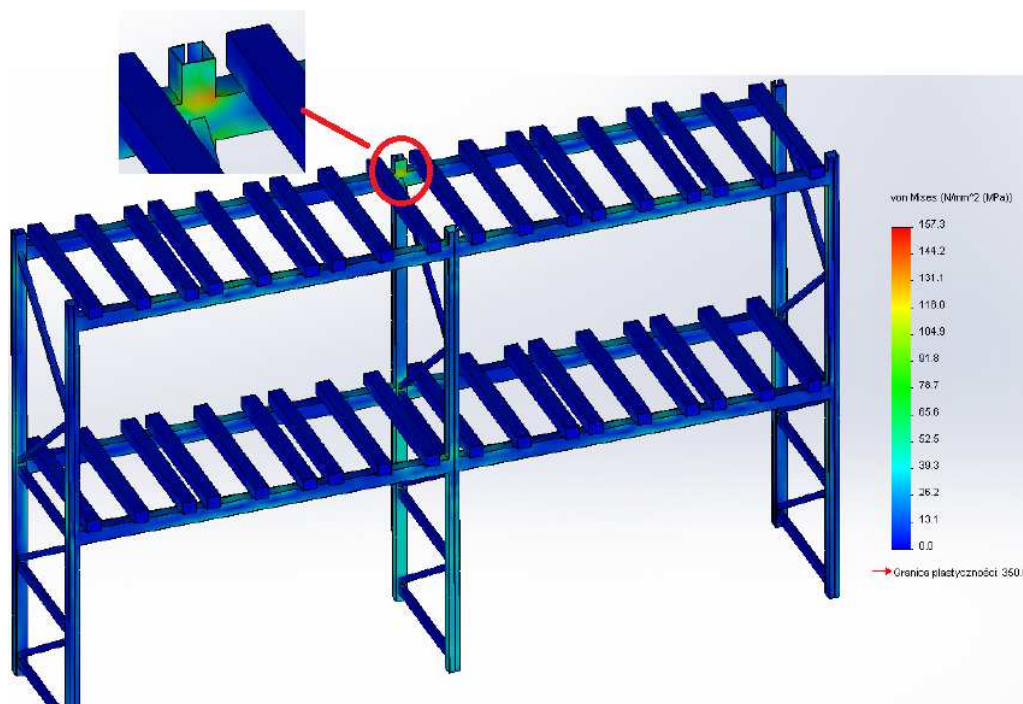
Powyższa konstrukcja jest regałem dwupoziomowym posiadającym 18 miejsc paletowych o dopuszczalnym obciążeniu na każde wynoszącym 1 tonę.

Przeanalizowano wpływ obciążeń o trzech różnych wartościach. W pierwszym przypadku wynosiło ono 600 kg na jedno miejsce paletowe (często spotykane obciążenie w sklepach meblowych). Następnie wartość tą zwiększono do 1000 kg (maksymalne obciążenie), a w ostatnim przypadku do 2000 kg. Materiałami poddanymi analizie były: stal AISI 1024 (22Mn6) oraz stop aluminium 2024-T4.

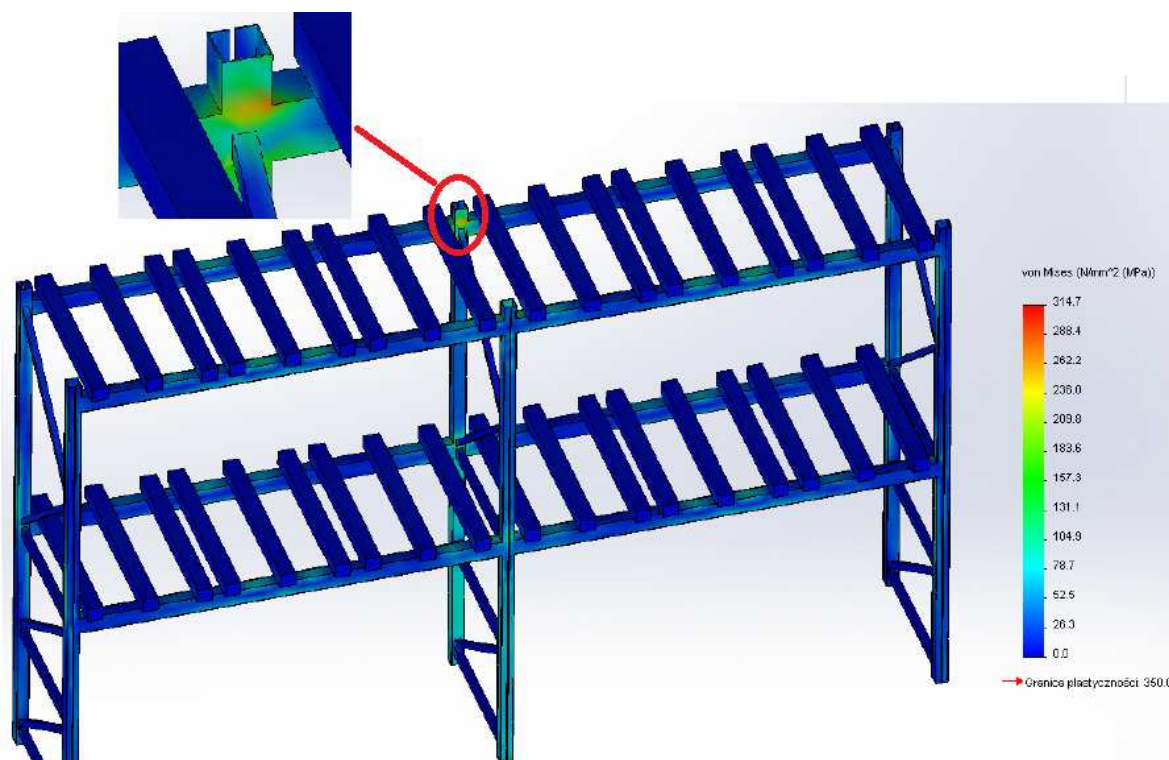
Rysunki 4, 5, 6, 7 wyraźnie ukazują, że największe naprężenia powstają w centralnym słupku regału w miejscu połączenia z górnymi poprzeczkami. Kolejnym punktem kumulacji naprężeń jest miejsce połączenia tego słupka z dolnymi poprzeczkami. Przy obciążeniu paletą o masie 600 kg wartość maksymalnego naprężenia wynosi 95 MPa, natomiast przy zastosowaniu 2 ton wzrasta do 315 MPa. Na tej podstawie można wnioskować, że dla wybranej stali obciążenie 2 ton nie spowoduje zniszczenia regału, jednak wytworzy ono naprężenia bliskie jej granicy plastyczności ($R_e = 350$ MPa). Przy dążeniu do zmniejszenia masy całej konstrukcji oraz ułatwienia montażu warto rozważyć zastosowanie aluminium. Wartość maksymalnego naprężenia przy takim rozwiązaniu jest nieznacznie mniejsza niż dla stali, a więc istnieje możliwość wykonania regału z aluminium (dla 1 tony naprężenie jest równe 151 MPa). Jednak materiał ten posiada niższą granicę plastyczności ($R_e = 325$ MPa) i, co wykazała analiza, nie należy obciążać konstrukcji masą 2 ton (maksymalne naprężenie przy takim obciążeniu wynosi 311 MPa).



Rysunek 4. Rozkład naprężeń dla stali przy obciążeniu 600 kg
Figure 4. Stress distribution for steel pallet racking under 600 kg load

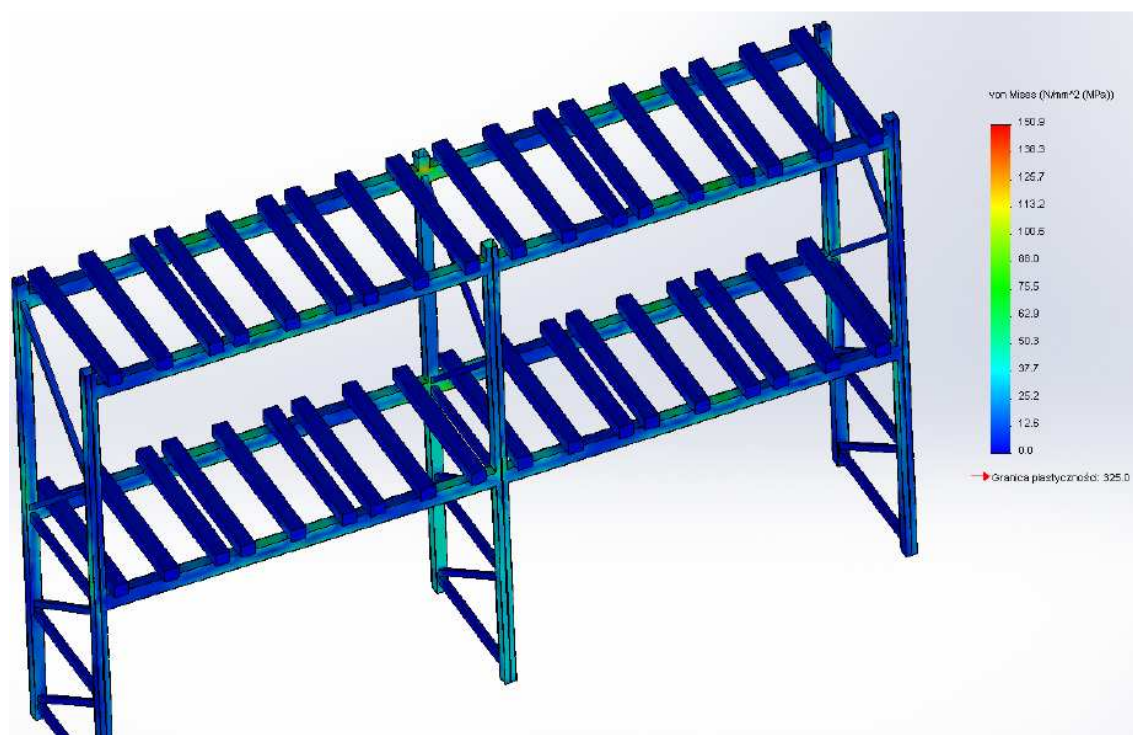


Rysunek 5. Rozkład naprężeń dla stali przy obciążeniu 1 tony
Figure 5. Stress distribution for steel pallet racking under 1 ton load



Rysunek 6. Rozkład naprężeń dla stali przy obciążeniu 2 ton

Figure 6. Stress distribution for steel pallet racking under 2 tons load



Rysunek 7. Rozkład naprężeń dla aluminium przy obciążeniu 1 ton

Figure 7. Stress distribution for aluminum pallet racking under 1 ton load

3. ANALIZA ROZKŁADU PRZEMIESZCZEŃ DLA REGAŁU PALETOWEGO

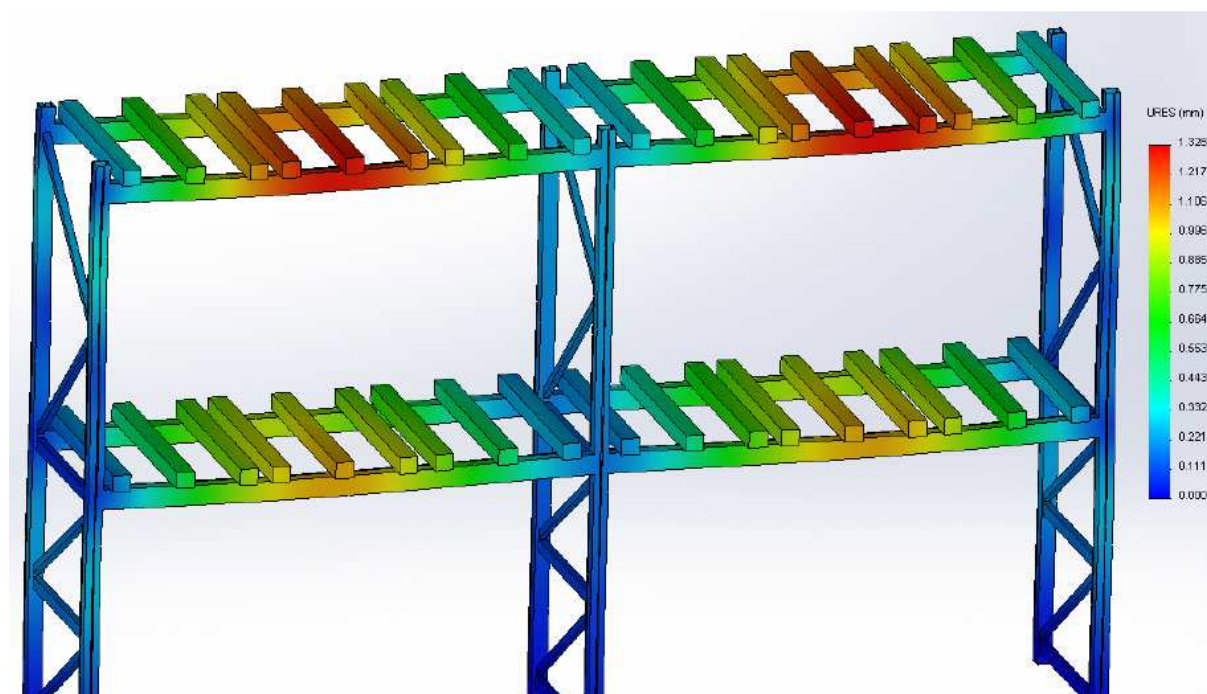
Analizując wpływ obciążenia na tego typu konstrukcje nie można zapomnieć o wyznaczeniu wywołanych nim przemieszczeń. Jest to istotne ze względu na maksymalne dopuszczalne ugięcie poprzeczki pomiędzy dwoma słupkami. Dla regałów paletowych klasy 400 maksymalne ugięcie można wyznaczyć ze wzoru [2,5]:

$$gięcie = \frac{L}{200} \quad (1)$$

gdzie:

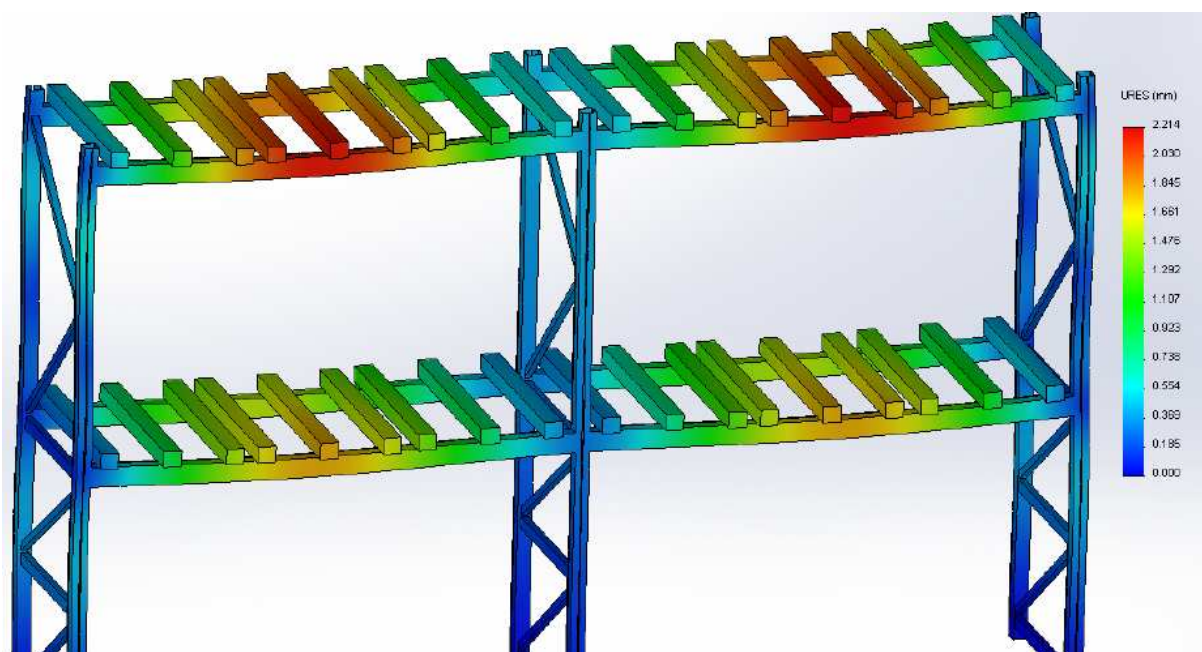
L – szerokość belki między słupkami.

Szerokość belki analizowanego regału wynosi 2700 mm. Obliczone na podstawie równania (1) maksymalne dopuszczalne ugięcie jest równe 13,5 mm. Rysunki 8, 9 i 10 przedstawiają analizy przemieszczeń dla regału wykonanego ze stali przy różnych obciążeniach. Aby lepiej uwidocznić sposób ugięcia pod zadaniem obciążeniem na obrazach przyjęto skalę 20.



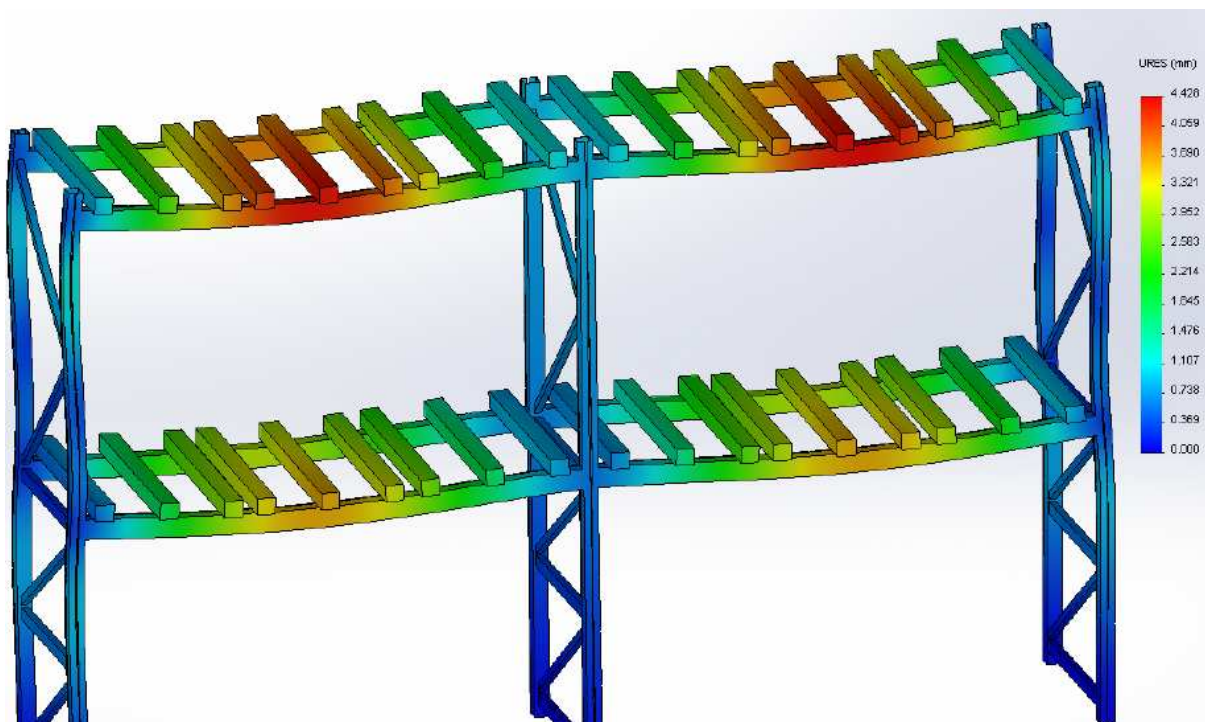
Rysunek 8. Rozkład przemieszczeń w regale stalowym przy 600 kg

Figure 8. Displacement distribution in steel racking under 600 kg load



Rysunek 9. Rozkład przemieszczeń w regale stalowym dla 1 tony

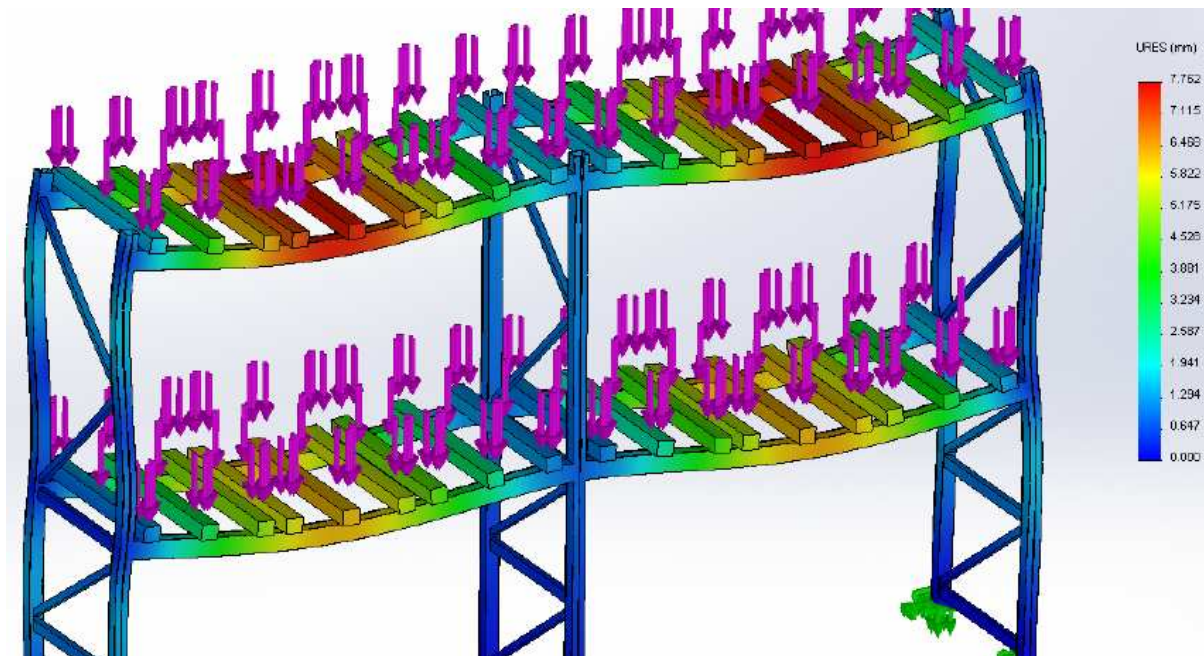
Figure 9. Displacement distribution in steel racking under 1 ton load



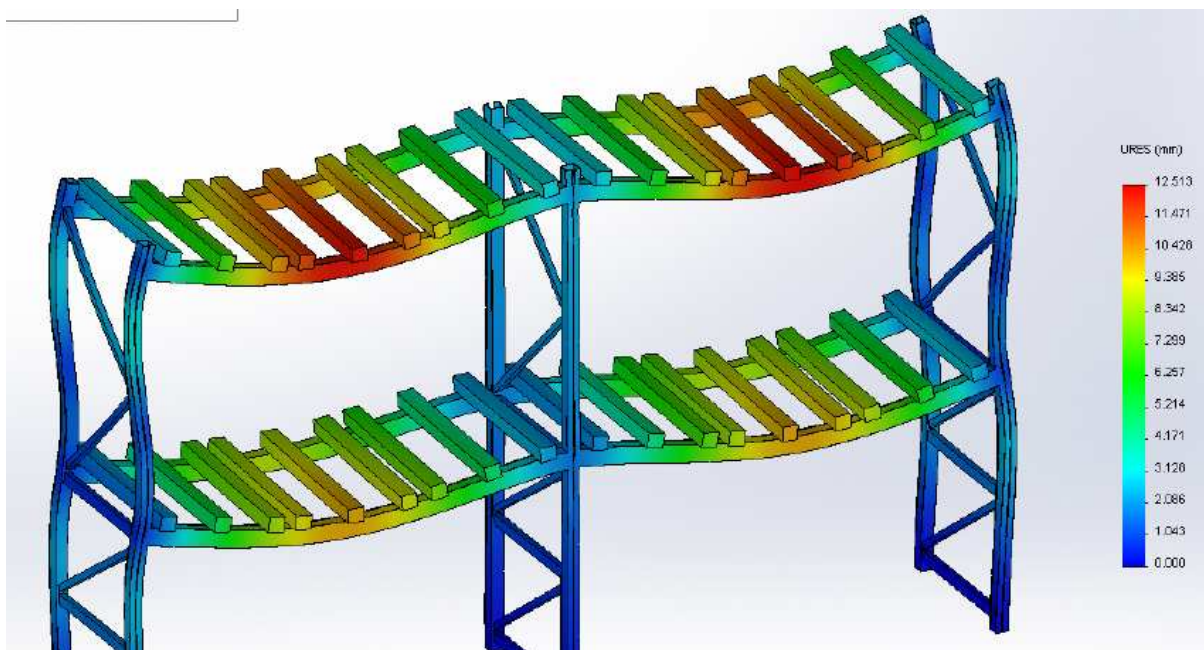
Rysunek 10. Rozkład przemieszczeń w regale stalowym dla 2 ton

Figure 10. Displacement distribution in steel racking under 2 tons load

Następnie wykonano analizę rozkładu naprężeń dla regału wykonanego z aluminium. Jej wyniki przedstawiono na rysunkach 11 i 12.



Rysunek 11. Rozkład przemieszczeń w regale aluminiowym dla 1 tony
Figure 11. Displacement distribution in aluminum racking under 1 ton load



Rysunek 12. Rozkład przemieszczeń w regale aluminiowym dla 2 ton
Figure 12. Displacement distribution in aluminum racking under 2 tons load

Przeprowadzona analiza wykazała, że w przypadku regału wykonanego ze stali maksymalne przemieszczenie w wyniku obciążenia wynosi 1,32 mm dla 600 kg, 2,21 mm dla 1 tony oraz 4,42 mm dla 2 ton. Na przedstawionych rysunkach można także zauważyć, że największe przemieszczenie występuje dla górnego poziomu w centralnych miejscach paletowych. Jeżeli konstrukcja jest wykonana z aluminium to maksymalne przemieszczenie wynosi 7,76 mm dla 1 tony i 12,51 mm dla 2 ton. Można zauważyć, że odkształcenie poprzeczki w przypadku aluminium jest trzykrotnie większe niż w przypadku stali. Maksymalne przemieszczenia powstają w tych samych miejscach dla obydwu materiałów. W żadnym z analizowanych przypadków nie zostało przekroczone maksymalne ugięcie poprzeczki. Jednak należy wziąć pod uwagę, że przy zastosowaniu aluminium i obciążenia równego 2 tony ugięcie jest tylko o 1 mm mniejsze od dopuszczalnego. Oznacza to, że konieczne jest unikanie tak wysokich obciążeń miejsc paletowych w konstrukcjach aluminiowych.

4. PODSUMOWANIE

W pracy przedstawiono wstępną analizę rozkładu naprężeń oraz przemieszczeń powstających w regałach paletowych wykonanych ze stali i aluminium przy różnych obciążeniach. Uzyskane wyniki pozwalają stwierdzić, że dla analizowanej geometrii oraz wymiarów dopuszczalne jest obciążenie pojedynczego miejsca paletowego konstrukcji stalowej masą większą niż 1 tona. Uznano również, że jeśli masa palety nie przekracza 1 tony możliwe jest zastosowanie regałów paletowych wykonanych z aluminium. Konieczne jest jednak przeprowadzenie analizy zmęczeniowej poprzeczek ze względu na cykliczny sposób ich eksploatacji i uwzględnienie jej wyników przy doborze materiału na regały paletowe.

LITERATURA

1. Wytyczne, Storage Equipment information bulletine, FEM Racking and Shelving Product Grup, lipiec 2010.
2. Norma: EN 15620, Steel static storage systems - Adjustable pallet racking - Tolerances, deformations and clearances, październik 2008.
3. Ł. Wojciechowski, Normowane zagrożenia, Instytut Maszyn Roboczych i Pojazdów Samochodowych, Politechnika Poznańska.
4. strona internetowa: www.regaly-paletowe.com

5. Norma: EN 15635, Steel static storage systems - Application and maintenance of storage equipment, listopad 2008.