

ZESZYTY STUDENCKICH KÓŁ NAUKOWYCH

Analiza wytrzymałościowa ławki ogrodowej, wykonana w programie SolidWorks

A. Łyczko^a, K. Niemiec^a, T. Tański^b

^a Studentka Politechniki Śląskiej, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Katedra Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych

email: anetałyczko3@windowslive.com

email: kasia9625@gmail.com

^b Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Katedra Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych,

email: tomasz.tanski@polsl.pl

Streszczenie: Celem artykułu jest analiza danych uzyskanych z badań symulacyjnych w programie SolidWorks, wykonanych dla przedmiotu jakim jest ławka ogrodowa. Analiza zależności wytrzymałości od sił wywierających nacisk prostopadle względem siedziska, została wykonana dla trzech różnych materiałów inżynierskich, które zostały wytypowane do wykonania projektowanej ławki: stali nierdzewnej, drewna (balsy) oraz ABS (akrylonitrylo-butadieno-styren). Wykonanie analizy miało na celu ocenę, który z wybranych materiałów inżynierskich charakteryzuje się najlepszymi własnościami użytkowymi.

Abstract: The aim of the article is to analyze data obtained from simulation tests performed for a garden bench in SolidWorks. The analysis of the dependence of strength on the forces exerting pressure perpendicular to the seat, was made for three different engineering materials that were selected to make the designed bench: stainless steel, wood (balsa) and ABS (acrylonitrile butadiene styrene). The purpose of the analysis was to assess which of the selected materials has the best properties in relation to the bench usage conditions.

Słowa kluczowe: SolidWorks, rozkład naprężeń, obciążenie, analiza wytrzymałościowa, metoda elementów skończonych, ławka ogrodowa

1. WSTĘP

Ławka ogrodowa stanowi prostą, powszechnie znaną konstrukcję, mającą na celu przede wszystkim zapewnić wygodny odpoczynek. Jako element aranżacji ogrodów czy parków, ławka powinna być także estetyczną dekoracją otoczenia oraz powinna spełniać wymagania funkcjonalne, w tym musi być odpowiednio wyprofilowana, stabilna oraz odporna na działanie

czynników pogodowych, takich jak różnego rodzaju opady atmosferyczne, temperatura, erozja, oddziaływanie promieniowania słonecznego. Istotne jest także, aby ławka była dopasowana projektem do otoczenia, w którym zostanie umieszczona.

Jednak przede wszystkim, z punktu widzenia inżynierskiej konstrukcji, ławki muszą charakteryzować się odpowiednimi własnościami wytrzymałościowymi, w tym głównie odpornością na zginanie podłużne. Podczas projektowania tego typu konstrukcji należy zwrócić szczególną uwagę na rozkład naprężeń i występujące obciążenia, które są zależne od ilości osób, ich masy (oraz rozłożenia masy na siedzisku), a także sposobu skorzystania z ławki przez użytkowników. Istotne jest to, aby naprężenia rozkładały się równomiernie na całej powierzchni siedziska ławki, tak, aby nie nastąpiło przeciążenie występujące wyłącznie z jednej strony ławki, destabilizujące całą konstrukcję, lub powodujące zniszczenie materiału siedziska.

Ważne jest, aby materiały wykorzystane do budowy ławki ogrodowej, w szczególności na siedzisko, charakteryzowały się wysoką twardością przy zachowaniu odpowiedniej plastyczności (w tym modułu Younga) oraz podwyższoną odpornością na korozję. Dodatkowym elementem wydłużającym czas eksploatacji ławki są powłoki ochronne, zapewniające odporność na ścieranie i zarysowanie, a także stanowiące element dekoracyjny przedmiotu. Przemyślana konstrukcja ławki powinna zapewnić jej stabilność i bezpieczny rozkład naprężeń. Materiały wykorzystane do budowy ławki, nie mogą także ulec degradacji pod wpływem zmiennych warunków atmosferycznych, w tym w szczególności temperatury, w Polsce jest to zakres temperatur z zakresu od -40°C do $+50^{\circ}\text{C}$.

Mając na uwadze powyższe informacje, należy zwrócić uwagę, iż jednym z najlepszych narzędzi wykorzystywanych do aproksymacji numerycznej jest metoda elementów skończonych. MES, pozwalającą na rozwiązanie problemów z zakresu wytrzymałości badanych elementów, a także, pozwala na analizę zachowania danego materiału, konstrukcji czy elementu pod wpływem działania zdefiniowanych sił, naprężeń, obciążeń czy innych warunków. Wykorzystanie symulacji do wykonywania obliczeń niesie ze sobą wiele zalet m.in.: obniżenie kosztów przeznaczonych na budowę prototypów, znaczne zmniejszenie czasu poświęconego na dokonanie obliczeń oraz możliwość optymalizacji i łatwej zmiany danych wyjściowych [1 - 3].

Program umożliwia dokonanie różnego rodzaju symulacji w warunkach zbliżonych do warunków użytkowania obiektu. Dane uzyskane podczas wykonanych analiz (np. naprężeń, przemieszczeń czy działania temperatury), mogą okazać się pomocne w trakcie wyboru materiału, najlepszego dla danego przypadku [4].

2. ZAŁOŻENIA MODELOWE

W pracy zaprezentowano analizę wytrzymałościową ławki ogrodowej wykonanej w programie SolidWorks. Wyniki uzyskane podczas obliczeń umożliwiły przeprowadzenie analizy rozkładu naprężeń oraz przemieszczeń występujących w unieruchomionej do podłoża, ławce pod wpływem działania sił zewnętrznych skierowanych na siedzisko ławki. Podczas symulacji zastosowano cztery różne wartości siły: 250, 500, 1000, 2000N.

W celu wytypowania materiału charakteryzującego się najlepszymi własnościami wytrzymałościowymi, analizie poddane zostały trzy różne materiały inżynierskie, z których wykonano siedzisko oraz oparcie, w tym:

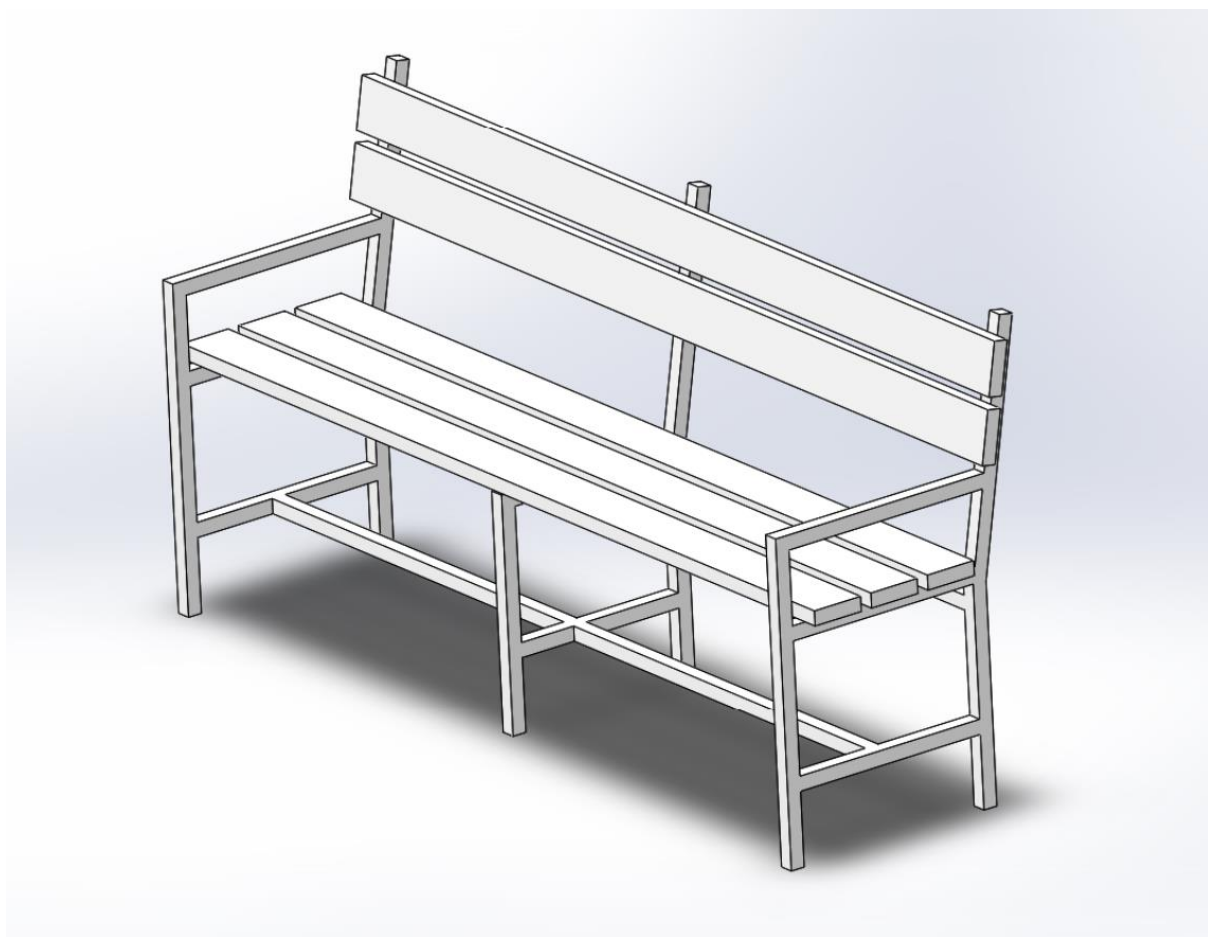
- AISI 316 stal nierdzewną, odprężoną (w dalszej części pracy przedstawiane jako rozwiązanie A),

- drewno (balsę; w dalszej części pracy przedstawiane jako rozwiązanie B),
- ABS (w dalszej części pracy przedstawiane jako rozwiązanie C).

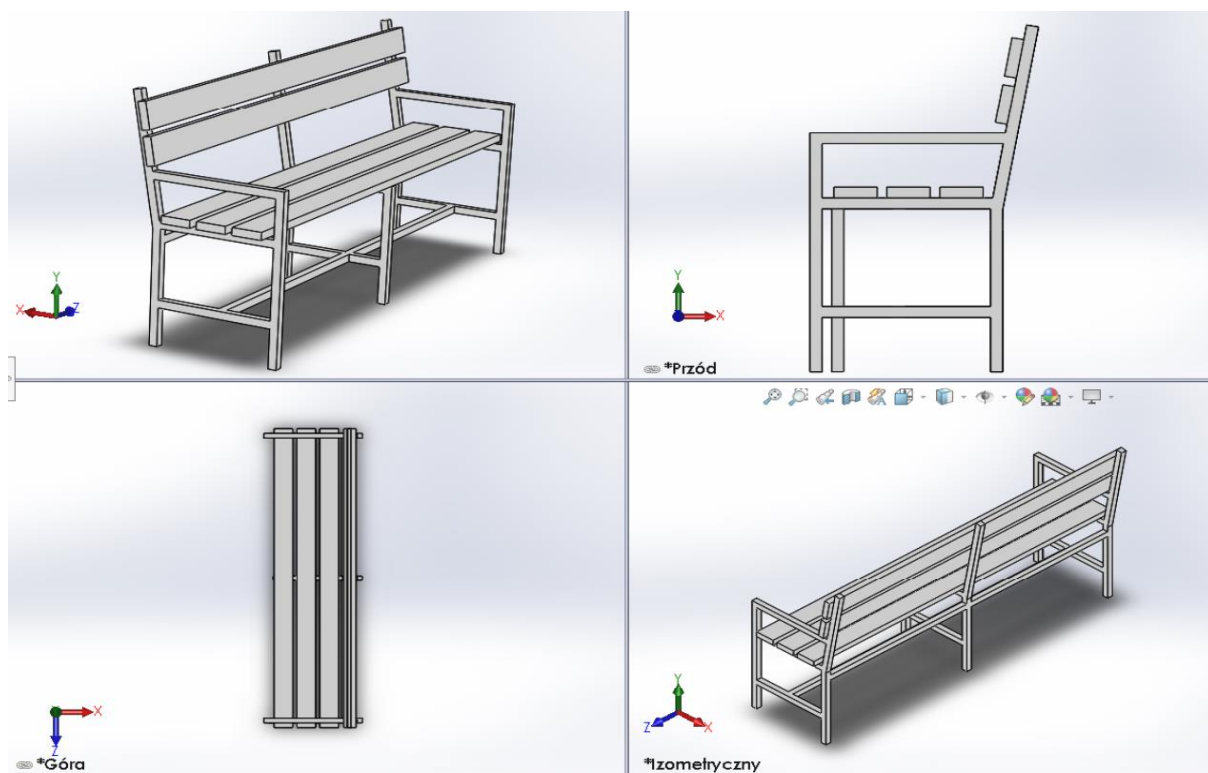
Na materiał ramy ławki ogrodowej wybrano żeliwo szare i zastosowano niezmiennie dla każdego rozpatrywanego przypadku.

W celu wykonania symulacji, w programie SolidWorks, utworzono uproszczony model ławki, który wzorowany był na innych popularnych rozwiązaniach konstrukcyjnych (rys. 1 - 3). Maksymalne wymiary analizowanego rozwiązania konstrukcyjnego ławki są następujące: wysokość 800mm, długość 1600mm, szerokość 475mm. Siedzisko umiejscowione jest na wysokości 425mm nad poziomem podłoża, na którym została ustawiona ławka, a jego szerokość wynosi 310mm. W celach badawczych wykorzystano analizę statyczną, liniową. Podczas wykonywania symulacji, założony model ławki unieruchomiono względem podłoża. Siła statyczna, wywierająca nacisk, została skierowana prostopadle względem siedziska.

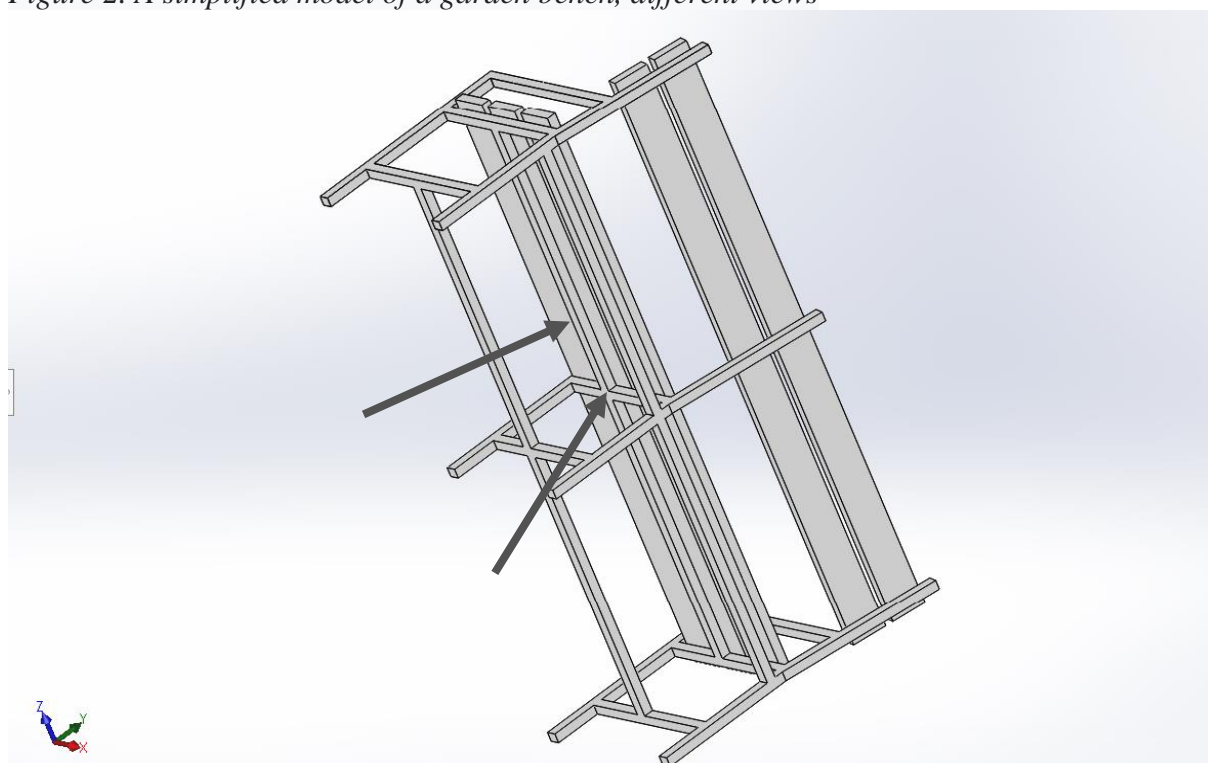
Na kolejnych schematach przedstawiono model z nałożonymi warunkami brzegowymi (rys. 4), model z nałożoną siatką elementów skończonych (rys. 5) oraz podano szczegółowe informacje na temat wygenerowanej siatki (Tab. 1).



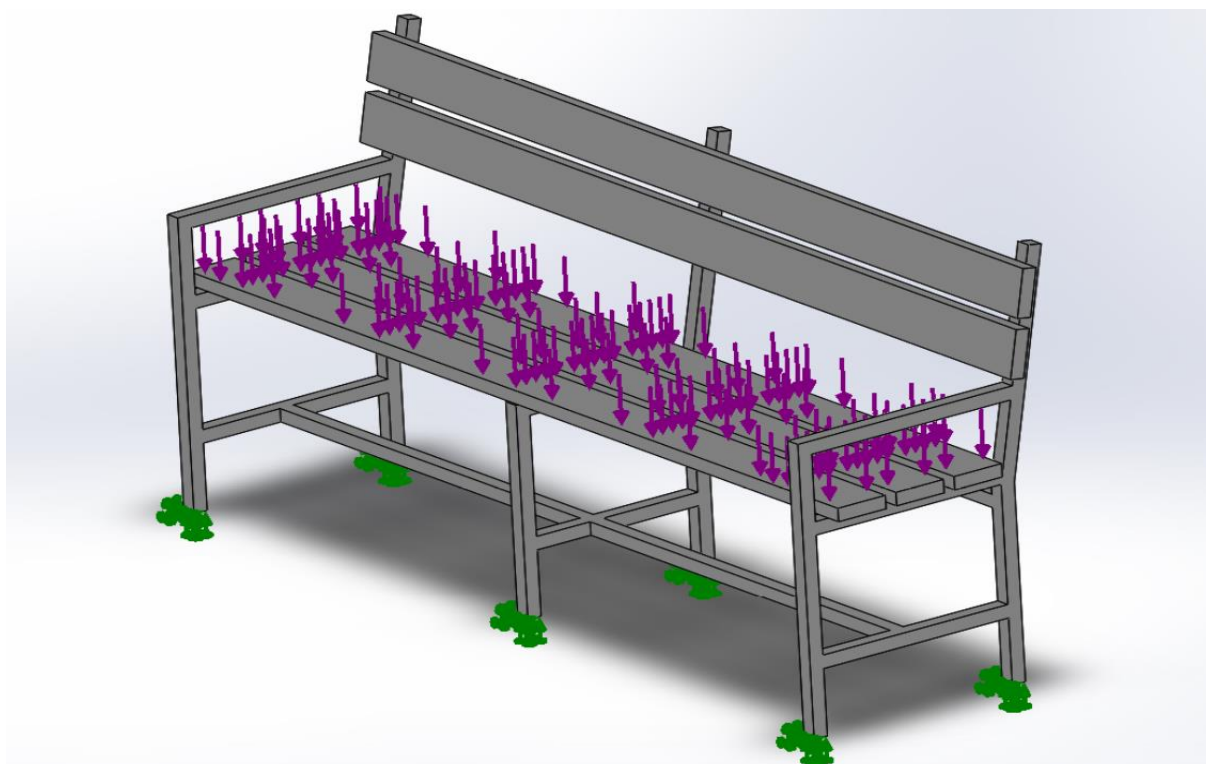
Rysunek 1. Uproszczony model ławki ogrodowej, zaprojektowanej w programie SolidWorks
Figure 1. A simplified model of a garden bench, designed in SolidWorks



Rysunek 2. Uproszczony model ławki ogrodowej, różne widoki
Figure 2. A simplified model of a garden bench, different views

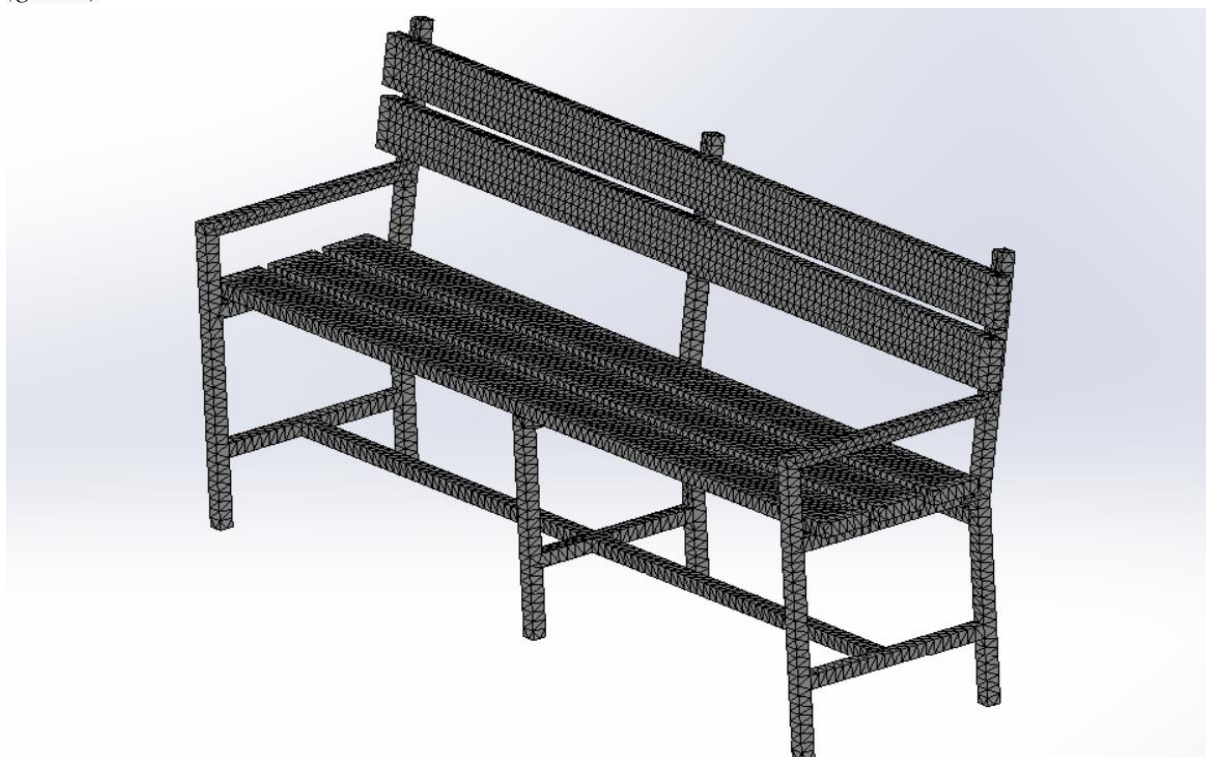


Rysunek 3. Uproszczony model ławki ogrodowej, widok na wzmocnienia ulokowane pod siedziskiem
Figure 3. A simplified model of a garden bench, view of the reinforcements located under the seat



Rysunek 4. Model ławki z nałożonymi warunkami brzegowymi oraz widocznymi zakotwiczeniami (kolor zielony)

Figure 4. Model of a garden bench with imposed boundary conditions and visible anchors (green)



Rysunek 5. Model ławki z nałożoną siatką elementów skończonych

Figure 5. Model of a garden bench with a generated mesh of finite elements

Tablica 1. Szczegółowe informacje na temat wygenerowanej siatki elementów skończonych
 Table 1. Detailed information about the generated finite element mesh

Typ siatki	Siatka bryłowa
Użyty generator siatki	Siatka standardowa
Automatyczne przejście	Wyłączone
Uwzględnij automatyczne pętle siatki	Wyłączone
Punkty jakobianu	4
Rozmiar elementu	17,2153 mm
Tolerancja	0,860763 mm
Jakość siatki	Wysoka
Całkowita liczba węzłów	66623
Całkowita liczba elementów	36214
Maksymalny współczynnik kształtu	5,9787
Procent elementów o współczynniku kształtu < 3	99,4
Procent elementów o współczynniku kształtu > 10	0
Procent zniekształconych elementów (Jacobian)	0

Tablica 2 przedstawia własności żeliwa szarego wykorzystanego na ramę ławki. Tablice 3, 4 oraz 5 przedstawiają własności materiałów dedykowanych na siedzisko i oparcie.

Tablica 2. Własności żeliwa szarego wykorzystanego na ramę modelu ławki
 Table 2. Properties of gray cast iron used as frame material for the bench model

Nazwa	Żeliwo szare
Współczynnik sprężystości	$6,61781 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$
Współczynnik Poissona	0,27
Współczynnik naprężenia ścinającego	$5 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$
Masa właściwa	7200 kg/m^3
Wytrzymałość na rozciąganie	$1,51658 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$
Wytrzymałość na ściskanie	$5,72165 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$
Współczynnik rozszerzalności cieplnej	$1,2 \cdot 10^{-5} \text{ K}$

Tablica 3. Własności stali nierdzewnej, odprężonej AISI 316, wykorzystanej na siedzisko i oparcie

Table 3. Properties of AISI 316 annealed stainless steel used as seat and backrest material

Nazwa	AISI 316 stal nierdzewna, odprężona
Współczynnik sprężystości	$1,929999974 \cdot 10^{11}$ N/m ²
Współczynnik Poissona	0,3
Wytrzymałość na rozciąganie	$5,500000017 \cdot 10^8$ N/m ²
Granica plastyczności	$1,378951459 \cdot 10^8$ N/m ²
Masa właściwa	8000 kg/m ³
Współczynnik rozszerzalności cieplnej	$1,6 \cdot 10^{-5}$ K
Współczynnik utwardzenia	0,85

Tablica 4. Własności drewna (balsy) wykorzystanego na siedzisko i oparcie

Table 4. Properties of wood (balsa) used as seat and backrest material

Nazwa	Drewno - balsa
Współczynnik sprężystości	$2,999999232 \cdot 10^9$ N/m ²
Współczynnik Poissona	0,29
Współczynnik naprężenia ścinającego	$2,999999105 \cdot 10^8$ N/m ²
Masa właściwa	160 kg/m ³
Granica plastyczności	$1,9999972 \cdot 10^7$ N/m ²

Tablica 5. Własności tworzywa sztucznego - ABS, wykorzystanego na siedzisko i oparcie

Table 5. Properties of ABS polymer used as seat and backrest material

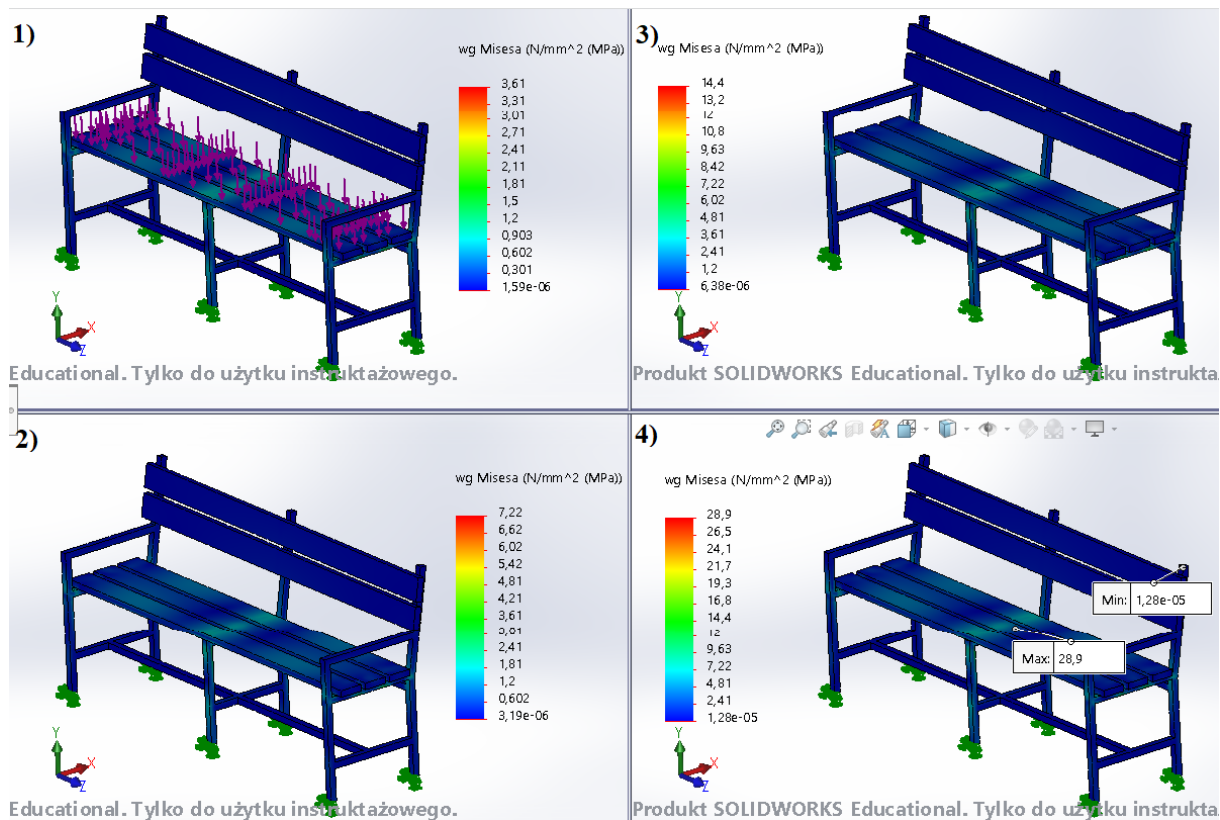
Nazwa	ABS
Współczynnik sprężystości	$2 \cdot 10^9$ N/m ²
Współczynnik Poissona	0,394
Współczynnik naprężenia ścinającego	$3,189 \cdot 10^8$ N/m ²
Masa właściwa	1020 kg/m ³
Wytrzymałość na rozciąganie	$3 \cdot 10$ N/m ²

3. ANALIZA MES

Wyniki uzyskane podczas wykonanych symulacji numerycznych i analiz rozkładu naprężeń rozwiązania A (rys. 6) wskazują, że w każdym z przypadków największe naprężenia występują w środkowej części siedziska, w miejscu dodatkowego wzmocnienia (rys. 3). W obszarze tym występuje także maksymalna wartość zarejestrowanego podczas symulacji naprężenia, która w przypadku największej wartości siły (2000N) wynosi 28,9MPa.

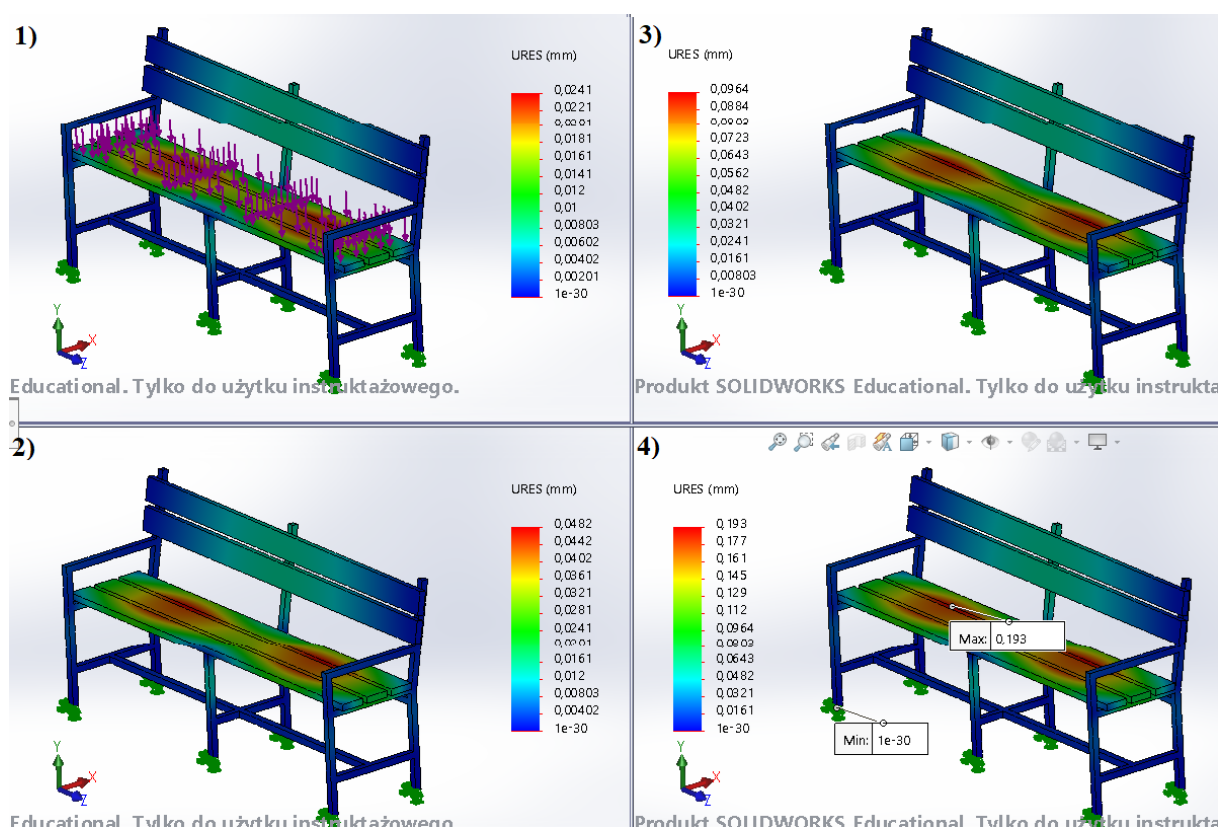
Podczas analizy przemieszczeń wypadkowych rozwiązania A (rys. 7), zauważyć można, że największe wartości występują na siedzisku, pomiędzy wzmocnieniami (podporami, rys. 3) z żeliwa szarego. Maksymalne przemieszczenie zarejestrowane podczas symulacji wynosi 0,193mm w przypadku największej wartości siły.

Tablica 6 prezentuje wartości minimalnych i maksymalnych naprężeń i przemieszczeń wypadkowych uzyskanych w trakcie analizy rozwiązania A, w zależności od wartości przyłożonej siły.



Rysunek 6. Rozkład naprężeń występujących podczas analizy rozwiązania A, w zależności od przyłożonej siły: 1) 250N, 2) 500N, 3) 1000N, 4) 2000N oraz oznaczenie miejsc występowania maksymalnych i minimalnych wartości naprężeń

Figure 6. Stress distribution occurring during analysis of solution A, depending on the applied force: 1) 250N, 2) 500N, 3) 1000N, 4) 2000N and marking locations of maximum and minimum stress values



Rysunek 7. Rozkład przemieszczeń występujących podczas analizy rozwiązania A, w zależności od przyłożonej siły: 1) 250N, 2) 500N, 3) 1000N, 4) 2000N oraz oznaczenie miejsc występowania maksymalnych i minimalnych wartości przemieszczeń

Figure 7. Distribution of displacements occurring during analysis of solution A, depending on the applied the force: 1) 250N, 2) 500N, 3) 1000N, 4) 2000N and marking locations for maximum and minimum displacement values

Tablica 6. Minimalne i maksymalne wartości występujących naprężeń oraz przemieszczeń dla rozwiązania A, w zależności od przyłożonej siły

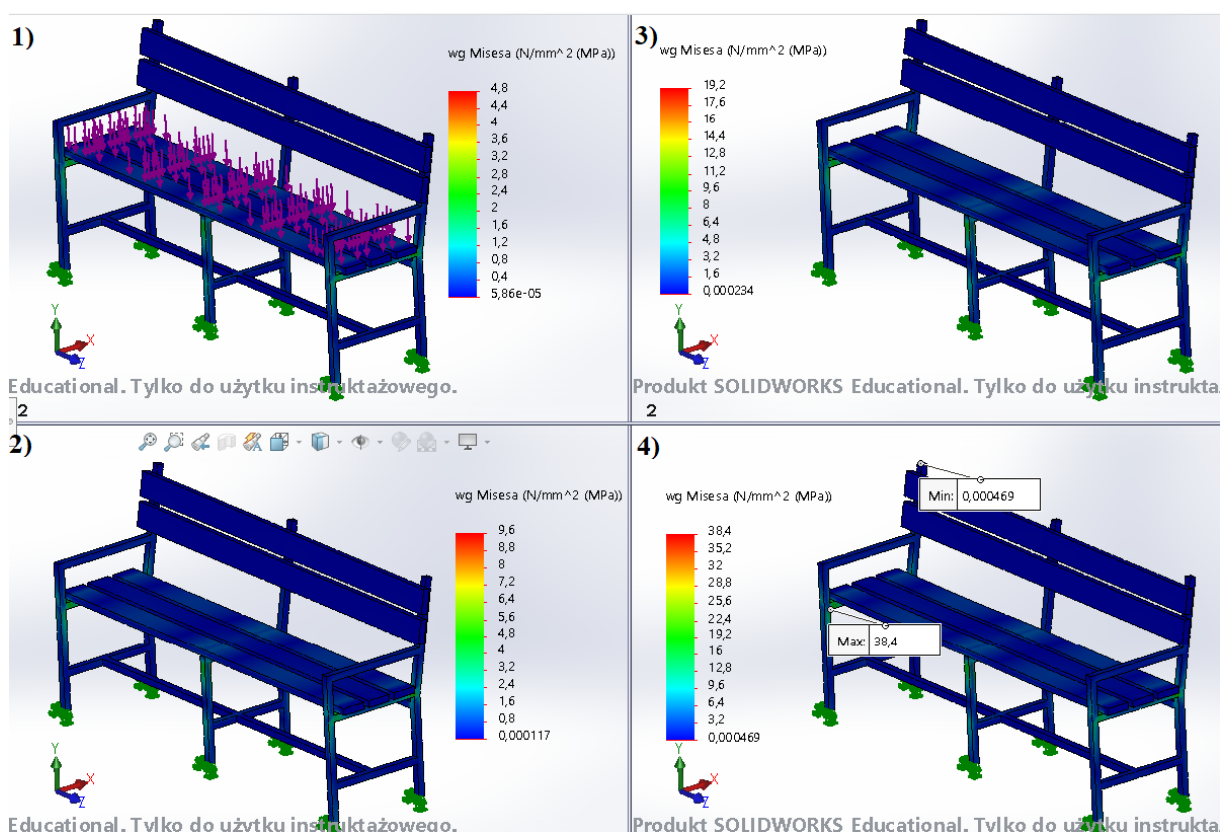
Table 6. Minimum and maximum values of stresses and displacements occurring during analysis of solution A, depending on the applied force

Siła (N)	Naprężenie zredukowane wg Misesa, min. (MPa)	Naprężenie zredukowane wg Misesa, max. (MPa)	URES: Przemieszczenie wypadkowe, min. (mm)	URES: Przemieszczenie wypadkowe, max. (mm)
250	$1,59 \cdot 10^{-6}$	3,61	0	$2,41 \cdot 10^{-2}$
500	$3,19 \cdot 10^{-6}$	7,22	0	$4,82 \cdot 10^{-2}$
1000	$6,38 \cdot 10^{-6}$	14,4	0	$9,64 \cdot 10^{-2}$
2000	$1,28 \cdot 10^{-5}$	28,9	0	0,193

Obliczenia uzyskane podczas analizy rozkładu naprężeń rozwiązania B (rys. 8) wskazują, że największe naprężenia występują w miejscach połączenia ramy i siedziska. Oznacza to, iż drewno równomiernie przenosi naprężenia z siedziska na żeliwną ramę modelu. Największa wartość naprężenia zarejestrowana w czasie symulacji, przy działaniu siły zewnętrznej o wartości rzędu 2000N wynosi 38,4MPa.

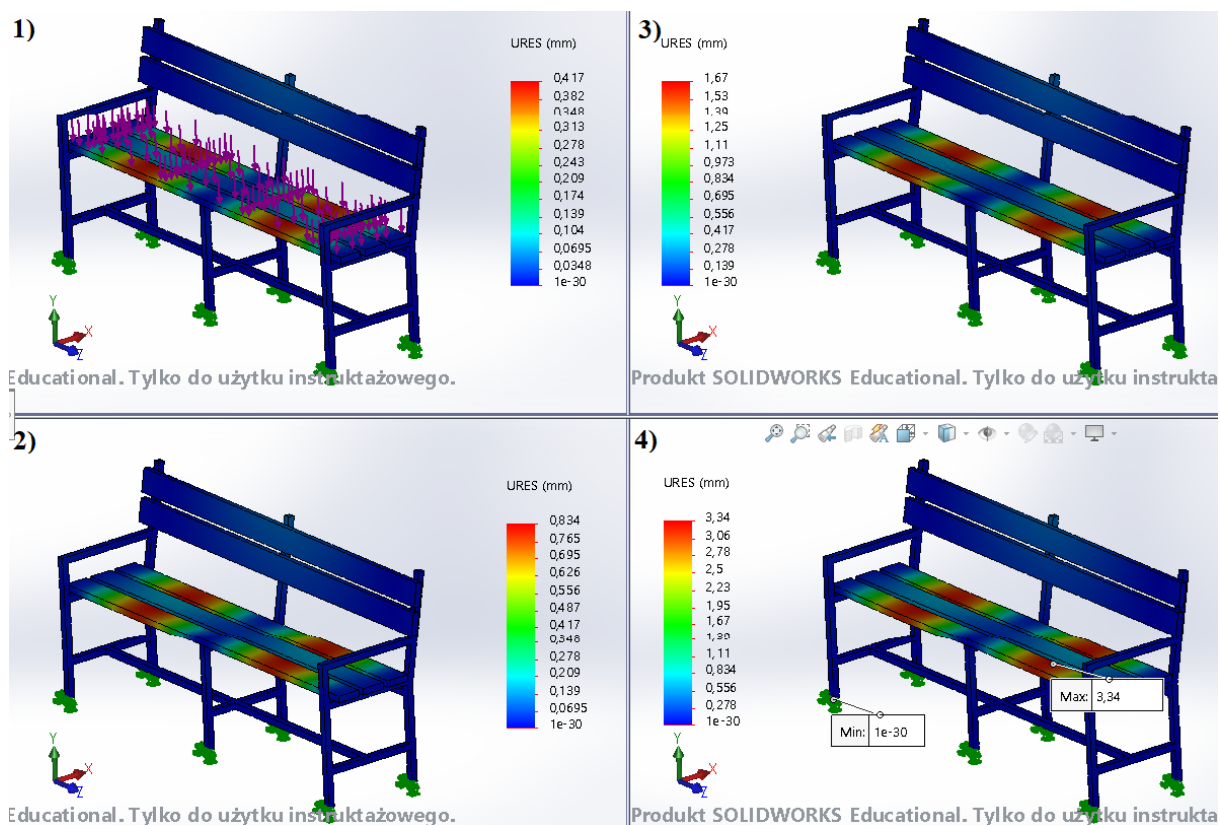
W trakcie analizy przemieszczeń wypadkowych rozwiązania B (rys. 9) zauważyć można, że największe wartości przemieszczeń występują w podobnych obszarach, jak to miało miejsce w przypadku rozwiązania A, jednak dodatkowa podpora wzmocniająca, przebiegająca wzdłuż środkowej deski siedziska (rys. 3) znacznie (o ok. 440%) niweluje występujące w tym miejscu przemieszczenia. Maksymalne zarejestrowane przemieszczenie występujące przy działaniu przyłożonej do siedziska siły o wartości 2000N, wynosi 3,34mm.

W tabelicy 7 zamieszczono wartości minimalnych i maksymalnych naprężeń i przemieszczeń wypadkowych uzyskanych podczas symulacji rozwiązania B, w zależności od wartości przyłożonej siły.



Rysunek 8. Rozkład naprężeń występujących podczas analizy rozwiązania B, w zależności od przyłożonej siły: 1) 250N, 2) 500N, 3) 1000N, 4) 2000N oraz oznaczenie miejsc występowania maksymalnych i minimalnych wartości naprężeń

Figure 8. Stress distribution occurring during analysis of solution B, depending on the applied force: 1) 250N, 2) 500N, 3) 1000N, 4) 2000N and marking locations of maximum and minimum stress values



Rysunek 9. Rozkład przemieszczeń występujących podczas analizy rozwiązania B, w zależności od przyłożonej siły: 1) 250N, 2) 500N, 3) 1000N, 4) 2000N oraz oznaczenie miejsc występowania maksymalnych i minimalnych wartości przemieszczeń

Figure 9. Distribution of displacements occurring during analysis of solution B, depending on the applied the force: 1) 250N, 2) 500N, 3) 1000N, 4) 2000N and marking locations for maximum and minimum displacement values

Tablica 7. Minimalne i maksymalne wartości występujących naprężeń oraz przemieszczeń dla rozwiązania B, w zależności od przyłożonej siły

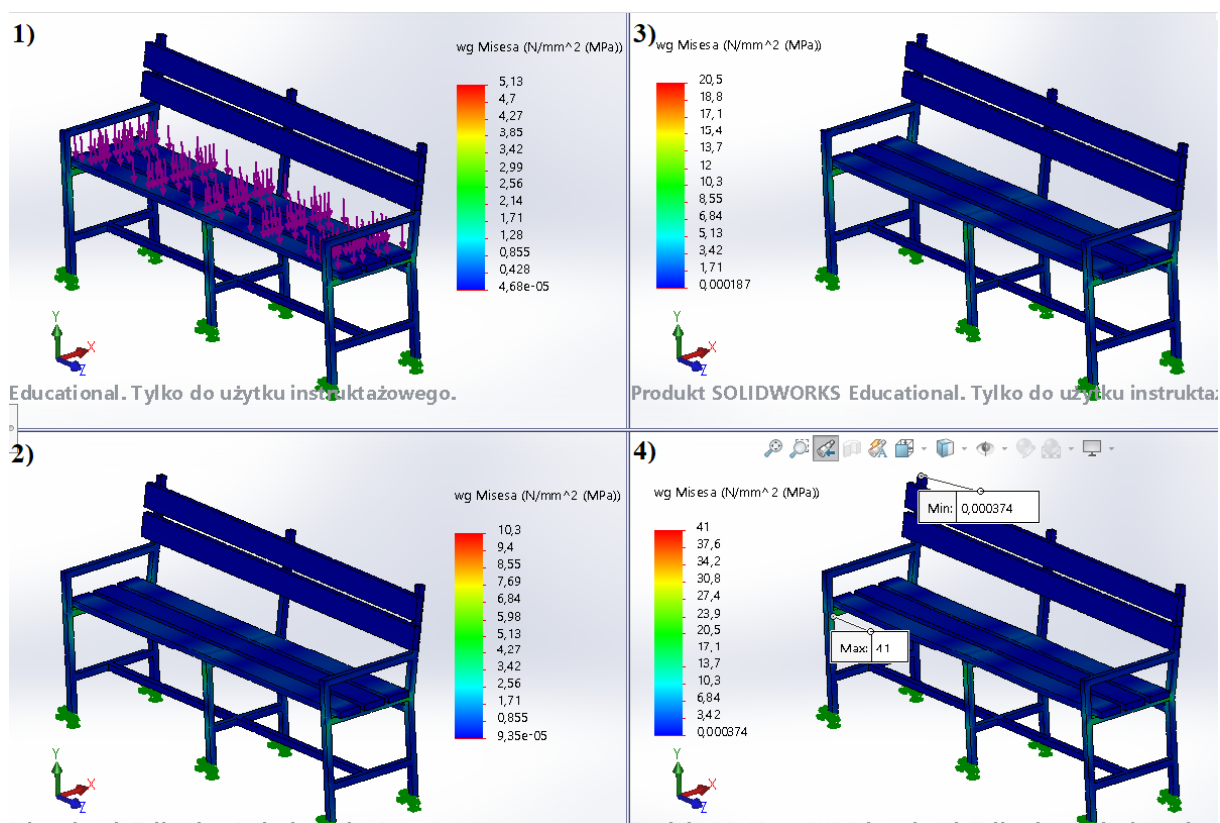
Table 7. Minimum and maximum values of stresses and displacements occurring during analysis of solution B, depending on the applied force

Siła (N)	Naprężenie zredukowane wg Misesa, min. (MPa)	Naprężenie zredukowane wg Misesa, max. (MPa)	URES: Przemieszczenie wypadkowe, min. (mm)	URES: Przemieszczenie wypadkowe, max. (mm)
250	$5,86 \cdot 10^{-5}$	4,8	0	0,417
500	$1,17 \cdot 10^{-4}$	9,6	0	0,834
1000	$2,34 \cdot 10^{-4}$	19,2	0	1,67
2000	$4,69 \cdot 10^{-4}$	38,4	0	3,34

Wyniki obliczeń uzyskanych podczas analizy rozkładu naprężeń rozwiązania C (rys. 10), wskazują, iż największe wartości naprężeń występują w miejscach połączeń ramy i siedziska, podobnie jak to miało miejsce w przypadku rozwiązania B. Jednakże maksymalna wartość naprężenia, która została osiągnięta podczas analizy, pojawiająca się podczas działania zewnętrznej siły przyłożonej prostopadle do siedziska o wartości rzędu 2000N jest nieco wyższa niż w przypadku rozwiązania B i wynosi 41MPa.

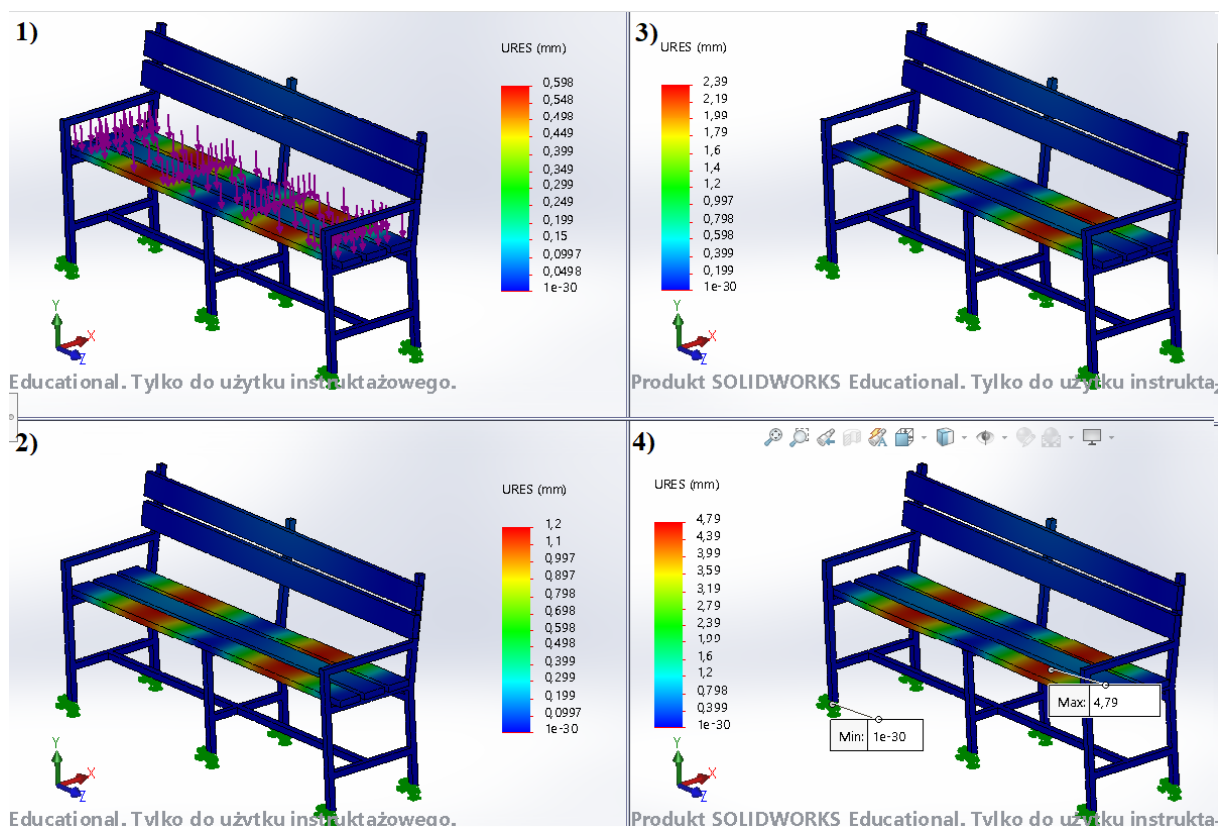
Wykonanie symulacji przemieszczeń wypadkowych, przeprowadzonych dla rozwiązania C (rys. 11), wskazują, iż rozkład przemieszczeń kształtuje się podobnie jak rozkład przemieszczeń uzyskanych podczas analizy rozwiązania B. Maksymalna wartość przemieszczenia zaobserwowana podczas działania przyłożonej siły o wartości 2000N wynosi 4,79mm.

W tabelicy 8 zamieszczono wartości minimalnych i maksymalnych naprężeń i przemieszczeń wypadkowych uzyskanych analizy rozwiązania C, w zależności od wartości przyłożonej siły.



Rysunek 10. Rozkład naprężeń występujących podczas analizy rozwiązania C, w zależności od przyłożonej siły: 1) 250N, 2) 500N, 3) 1000N, 4) 2000N oraz oznaczenie miejsc występowania maksymalnych i minimalnych wartości naprężeń

Figure 10. Stress distribution occurring during analysis of solution C, depending on the applied force: 1) 250N, 2) 500N, 3) 1000N, 4) 2000N and marking locations of maximum and minimum stress values



Rysunek 11. Rozkład przemieszczeń występujących podczas analizy rozwiązania C, w zależności od przyłożonej siły: 1) 250N, 2) 500N, 3) 1000N, 4) 2000N oraz oznaczenie miejsc występowania maksymalnych i minimalnych wartości przemieszczeń

Figure 11. Distribution of displacements occurring during analysis of solution C, depending on the applied the force: 1) 250N, 2) 500N, 3) 1000N, 4) 2000N and marking locations for maximum and minimum displacement values

Tablica 8. Minimalne i maksymalne wartości występujących naprężeń oraz przemieszczeń dla rozwiązania C, w zależności od przyłożonej siły

Table 8. Minimum and maximum values of stresses and displacements occurring during analysis of solution C, depending on the applied force

Siła (N)	Naprężenie zredukowane wg Misesa, min. (MPa)	Naprężenie zredukowane wg Misesa, max. (MPa)	URES: Przemieszczenie wypadkowe, min. (mm)	URES: Przemieszczenie wypadkowe, max. (mm)
250	$4,68 \cdot 10^{-5}$	5,13	0	0,598
500	$9,35 \cdot 10^{-5}$	10,3	0	1,2
1000	$1,87 \cdot 10^{-4}$	20,5	0	2,39
2000	$3,74 \cdot 10^{-4}$	41	0	4,79

4. PODSUMOWANIE

W niniejszej pracy przedstawiono możliwości analizy numerycznej poszczególnych parametrów wytrzymałościowych rozwiązania konstrukcyjnego jakim była ławka, wykonanej za pomocą metody elementów skończonych w programie SolidWorks. Przedstawione analizy rozkładu naprężeń i przemieszczeń występujących w zakotwiczonej do podłoża ławki ogrodowej, zrealizowane zostały dla trzech różnych materiałów dedykowanych na siedzisko, tj.: stal nierdzewna, odprężona AISI 316 (rozwiązanie A), drewno - balsa (rozwiązanie B) oraz tworzywo sztuczne ABS (akrylonitrylo-butadieno-styren, rozwiązanie C). Uzyskane wyniki prezentują wartości naprężeń i przemieszczeń w zależności od wartości siły (250, 500, 1000 lub 2000N), przyłożonej prostopadle do siedziska.

Otrzymane wyniki przedstawiają, iż najlepszymi własnościami wytrzymałościowymi charakteryzuje się rozwiązanie A – uzyskane wyniki naprężeń zredukowanych wg Misesa oraz przemieszczeń wypadkowych przyjmują wartości najmniejsze spośród wszystkich analizowanych rozwiązań.

Największe naprężenie występujące podczas symulacji rozwiązania B przy działaniu przyłożonej siły o wartości rzędu 2000N jest równe 38,4MPa. Wartość ta jest o 33% większa od wartości uzyskanej podczas obliczeń rozwiązania A (28,9MPa) dla tej samej wartości przyłożonej siły. Maksymalne przemieszczenie występujące w rozwiązaniu B przy działaniu siły o wartości rzędu 2000N sięga 3,34mm – jest to wartość ponad 17 razy większa niż wartość maksymalnego przemieszczenia uzyskanego dla rozwiązania A (0,193mm).

Maksymalne naprężenia uzyskane w trakcie analizy rozwiązania C, podczas przyłożenia siły o wartości 2000N zarejestrowano na poziomie 41MPa. Wartość ta jest nieco wyższa niż w przypadku wartości maksymalnych naprężeń uzyskanych podczas analizy rozwiązania B (38,4MPa). Maksymalna zarejestrowana wartość przemieszczeń dla rozwiązania C to 4,79mm, jest to wartość około 25 razy większa niż wartość zarejestrowana podczas symulacji rozwiązania A.

Dzięki uzyskanym wynikom analiz, można stwierdzić, iż spośród wybranych materiałów inżynierskich, rozwiązanie A charakteryzuje się najlepszymi własnościami wytrzymałościowymi. Mówiąc o zaletach materiału użytego w rozwiązaniu typu A, należy także nadmienić jego wysoką podatność na recykling oraz nierdzewność. Jednak w tym przypadku koszty materiału (wynikające przede wszystkim z potrzeby wykorzystania jego bardzo dużej ilości) oraz koszty, które musiałyby zostać przeznaczone na konserwację, byłyby zbyt duże, a przez to nieopłacalne.

Nieco gorszymi własnościami wytrzymałościowymi charakteryzuje się rozwiązanie B, jednak w tym przypadku ze względu na niską gęstość materiału (160 kg/m^3), wykorzystane zostaną jego mniejsze ilości, a zatem koszty poświęcone na wykonanie elementu będą znacznie niższe (cena metra sześciennego materiału wykorzystanego w rozwiązaniu B jest ok. 58 razy mniejsza niż w przypadku materiału z rozwiązania A), utylizacja materiału jest łatwa, co oznacza, iż prawdopodobnie jest to dobre rozwiązanie zarówno z finansowego jak również z ekologicznego punktu widzenia. Wadą zastosowania rozwiązania B jest mała odporność na działanie czynników pogodowych, w szczególności na opady atmosferyczne, przez co ławka straciłaby nie tylko na estetyce, ale również na funkcjonalności, a czas jej eksploatacji uległby znacznemu skróceniu.

Wykonane obliczenia sugerują także, iż rozwiązanie C charakteryzuje się nieco gorszymi własnościami wytrzymałościowymi niż rozwiązanie B. Zmiany te nie są jednak znaczące, więc pod względem wytrzymałościowym, rozwiązanie C sprawdzi się prawie tak samo dobrze jak

rozwiązanie B. Materiał dedykowany dla rozwiązania C, cechuje jednak wysoka szkodliwość z punktu widzenia środowiska (duża trwałość, skomplikowany proces recyklingu), co oznacza, że rozwiązanie to byłoby mało efektywne.

LITERATURA

1. L.A. Dobrzański, Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo. Materiały inżynierskie z podstawami projektowania materiałowego, WNT, Warszawa, 2002.
2. ANSYS ver.12 for Academic Research, Swanson Analysis System Inc., 2010.
3. Strona internetowa dystrybutora oprogramowania SolidWorks: <https://solidexpert.com/analiza-mes-boj-sie-metod-numerycznych-przy-obliczaniu-wytrzymalosci/> (dostęp: 01.05.2020r.)
4. Strona internetowa dystrybutora oprogramowania SolidWorks: <https://www.dps-software.pl/edukacja-cad-cam/> (dostęp: 02.04.2020r.)