

ZESZYTY STUDENCKICH KÓŁ NAUKOWYCH

Analiza wytrzymałościowa modeli bryłowych z zastosowaniem metody elementów skończonych

D. Gros^a, M. Zemlik^a, T. Tański^b

^a Studenci Politechniki Śląskiej, Wydział Mechaniczny Technologiczny
email: dariusz.gros@gmail.com, marcin.zemlik@o2.pl

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

Streszczenie: W pracy przedstawiono analizę rozkładu naprężeń i przemieszczeń dla sześciu modeli numerycznych. Modele bryłowe mają kształt sześcianu. W celu obniżenia masy usunięto z nich część materiału. Modele cyfrowe i analizę numeryczną wykonano w programie SolidWorks. Przyłożone obciążenie działa na górną ścianę każdego analizowanego modelu. W pracy przedstawiono wyniki analizy oraz wybór najlepszych rozwiązań konstrukcyjnych.

Abstract: This paper presents the analysis of stress distribution and displacements in six numeric models. Models have the shape of a cube. In order to reduce the mass, a part of the material was removed. Digital models and numerical analysis were performed in SolidWorks. The load is applied on the top side of each of the analyzed model. The paper presents the results of the analysis and selection of the best construction solutions.

Słowa kluczowe: metoda elementów skończonych, model 3D, sześcian, tytan, Ti-6Al-4V, struktura, optymalizacja, symulacja.

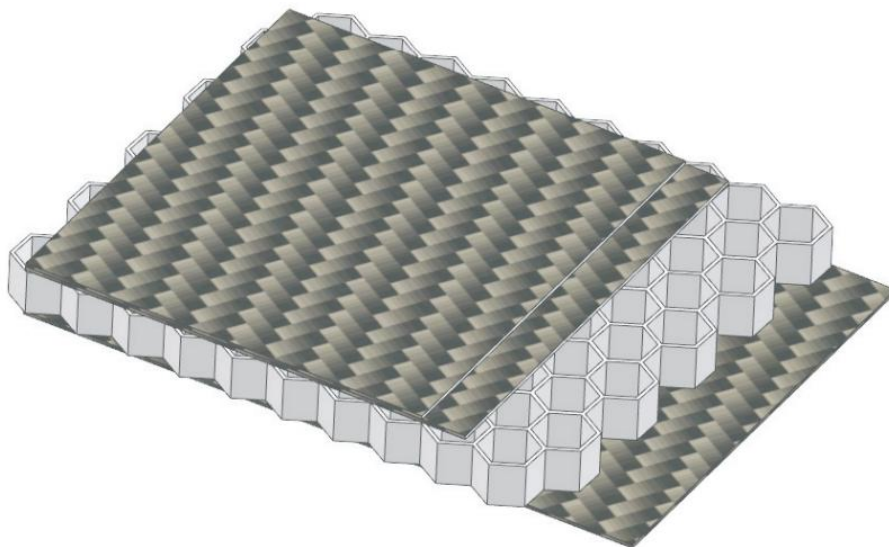
1. WPROWADZENIE

Ukształtowanie struktury jest jednym z podstawowych czynników bezpośrednio wpływających na wytrzymałość materiału. Wiele grup badawczych w swoich pracach udowodniło, że własności mechaniczne elementów są zależne od struktury materiału.

Obecnie na świecie dąży się do osiągnięcia jak najniższej masy przy zachowaniu pierwotnej wytrzymałości konstrukcji. Obniżona masa elementu pozwala na przyspieszenie pracy zautomatyzowanych urządzeń, jak na przykład robotów w halach montażowych, gdzie lżejsze elementy maszyn będą wymagały mniejszych nakładów energii do przemieszczania. Kolejnym przykładem jest wózek inwalidzki, który po obniżeniu masy pozwoli osobom niepełnosprawnym na łatwiejsze przemieszczanie się. Implanty kostne, które posiadają wewnątrz puste przestrzenie, a co za tym idzie pozwala to na obniżenie mas elementu

i jednocześnie poprawia komfort pacjenta. Pojazdy przystosowane do jazdy wyczynowej muszą posiadać jak najmniejszą masę oraz dostateczną wytrzymałość. Zmniejszona masa pozwala na mniejsze straty energii potrzebne do przemieszczenia pojazdu.

Jednym ze sposobów wytworzenia coraz to lżejszych konstrukcji jest zaprojektowanie elementów o specjalnej geometrii. Doskonałym przykładem zastosowania tego rozwiązania jest poszycie skrzydła samolotu, gdzie zamiast jednolitego materiału zastosowano strukturę plastra miodu (rys. 1).



Rysunek 1. Struktura poszycia skrzydła samolotu EM11 ORKA [16, 17]

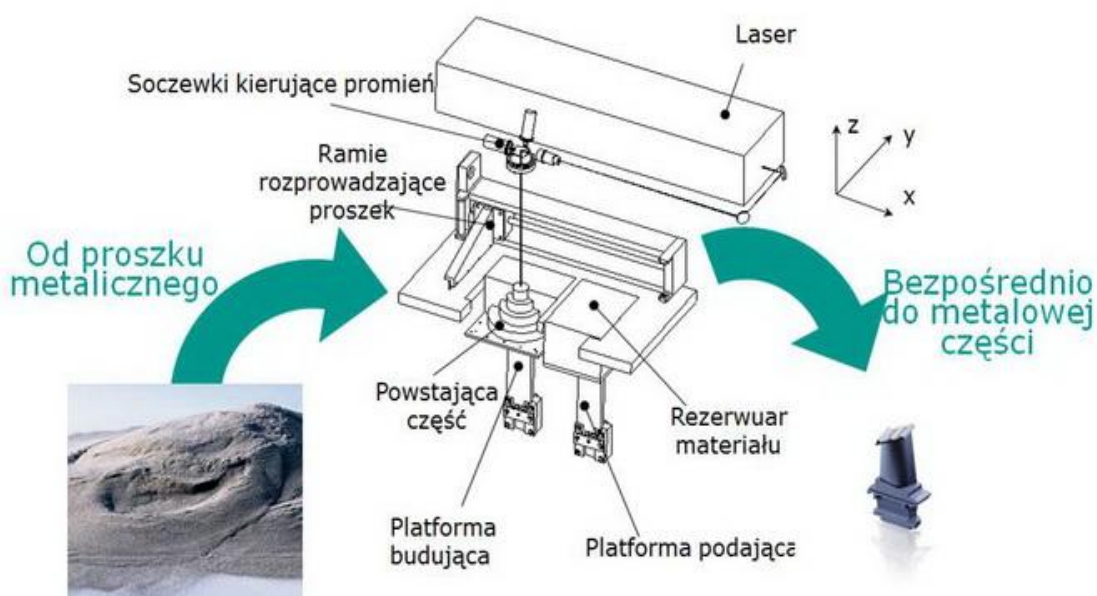
Metoda elementów skończonych cieszy się rosnącą popularnością w wielu dziedzinach przemysłu. Metoda ta pozwala na przygotowanie wstępnych obliczeń analitycznych, które pozwalają oszacować wytrzymałość elementu. Wstępna analiza pokazuje, czy wykonany model numeryczny wytrzyma warunki pracy oraz czy dobrany został odpowiedni materiał. Ogranicza to ilość prób dokonywanych na modelu rzeczywistym, które z reguły są droższe w porównaniu do analiz numerycznych.

Współczesna technologia umożliwia wytwarzanie elementów konstrukcyjnych z wykorzystaniem zarówno analiz numerycznych jak również nowoczesnych technologii przyrostowych. Jedną z metod odzwierciedlających tego typu podejście jest druk 3D, a dokładnie technika SLS (Selective Laser Sintering). Na warstwę proszku o grubości 0,03 – 0,1 mm rozproszanego na płycie roboczej, w określone punkty, kierowany jest promień lasera. Energia wygenerowana przez laser sprawia, że ziarna proszku łączą się i tworzą warstwę litego materiału. W kolejnym kroku płyta robocza obniża się i rozproszana jest kolejna warstwa proszku i promień lasera powoduje połączenie się ziaren wierzchniej warstwy z warstwą podłoża. Proces jest powtarzany jest, aż do momentu wytworzenia całego przedmiotu (rys 2) [5, 6].

Do głównych czynników wpływających na proces SLS zalicza się [6]:

- właściwości mechaniczne,
- moc lasera,
- szybkość skanowania,

- kąt rozrostu,
- kierunek nakładania warstwy,
- grubość warstwy,
- prędkość nakładania warstwy.



Rysunek 2. Schemat działania procesu SLS [6]

Materiałem często wykorzystywanym do wytwarzania techniką SLS są stopy tytanu. Posiadają one bardzo dobrą odporność na korozję, niski współczynnik sprężystości i rozszerzalności cieplnej. Jest to materiał niemagnetyczny, który cechuje się dobrymi właściwościami mechanicznymi w wysokich temperaturach. Jednym ze stopów tytanu wykorzystywanym przy druku 3D jest stop Ti-6Al-4V. Skład chemiczny i własności stopu przedstawiono odpowiednio w tabelach 1 i 2 [4].

Tabela 1. Skład chemiczny stopu tytanu Ti-6Al-4V [4]

Ti [%]	Al [%]	V [%]	Fe [%]	O [%]	C [%]	N [%]	H [%]	Y [%]	Pozostałe razem [%]
87,4 - 91,0	5,50-6,75	3,50-4,50	max. 0,30	max. 0,20	max. 0,080	max. 0,050	max. 0,0125	max. 0,005	max. 0,4

Tabela 2. Właściwości stopu tytanu Ti-6Al-4V [4]

Parametr	Wartość
Wytrzymałość na rozciąganie $R_{m \min}$, MPa:	896
Granica plastyczności $R_{p0.2 \min}$, MPa:	827
Twardość nominalna, HRC:	33
Gęstość, g/cm^3 :	4,43
Temperatura topnienia, °C:	1650
Oporność elektryczna, $10^{-6} \text{ ohm}\cdot\text{cm}$:	171
Przewodność cieplna, $W/m\cdot^{\circ}C$:	6,6
Ciepło właściwe, $J/Kg\cdot^{\circ}C$:	565

2. METODYKA BADAŃ

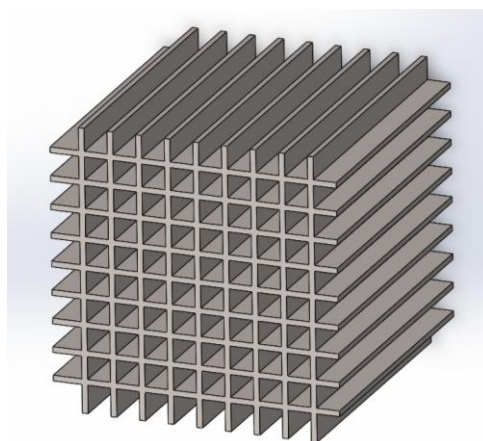
W niniejszej pracy poddano analizie wytrzymałościowej sześć modeli zbudowanych na bazie sześcianu. Elementy posiadają strukturę porowatą, która ma na celu obniżenie masy własnej elementu przy zachowaniu jak najlepszych własności wytrzymałościowych. Wymiary wszystkich boków sześcianów wynoszą 10mm. Siła działająca ma górną część każdego z modeli wynosi 2000N.

W celu zamodelowania sześcianów oraz przeprowadzenia analizy numerycznej wykorzystano program SolidWorks 2015. Oprogramowanie to umożliwia projektowanie 3D, wykonanie rysunku technicznego elementów, złożenia wielu elementów w większe konstrukcje oraz przeprowadzenie symulacji [16, 17].

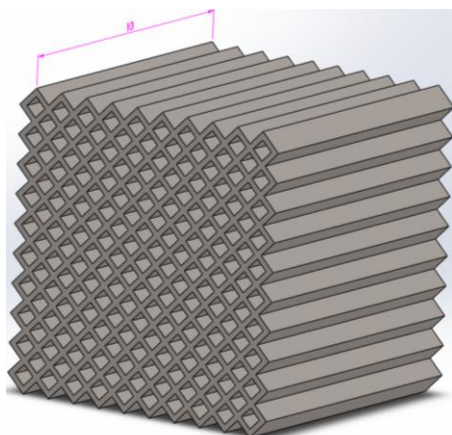
Etapy projektowania obejmowały:

- wybór materiału,
- określenie wielkości analizowanego sześcianu,
- zdefiniowanie kształtów pustych przestrzeni wewnątrz materiału,
- wykonanie modelu,
- przeprowadzenie symulacji,
- analiza wyników.

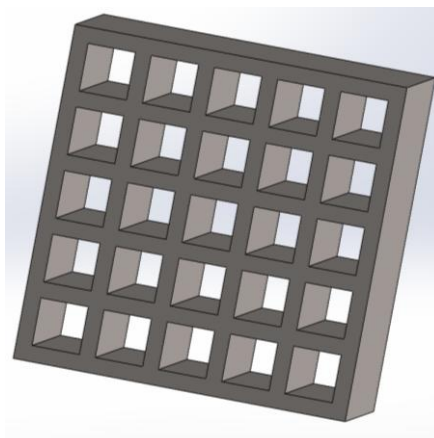
Modele poddawane analizie przedstawiono na rysunkach 3 – 8.



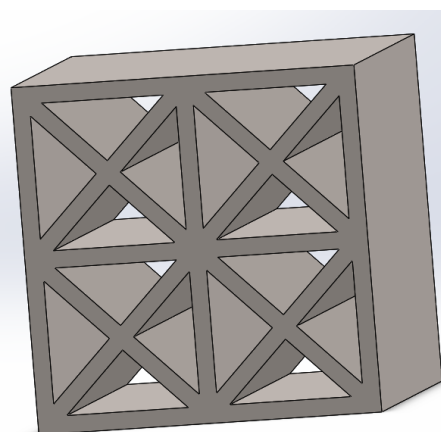
Rysunek 3. Model 1, zbudowany na podstawie siatki kwadratowej



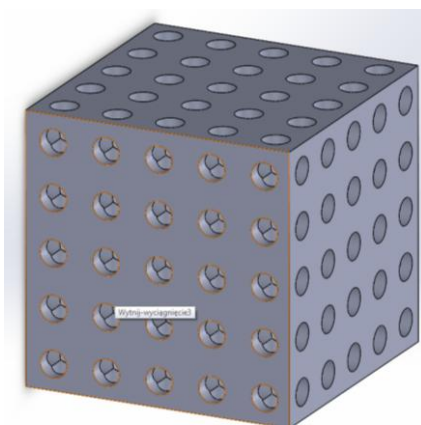
Rysunek 4. Model 2, zbudowany na podstawie siatki romboidalnej



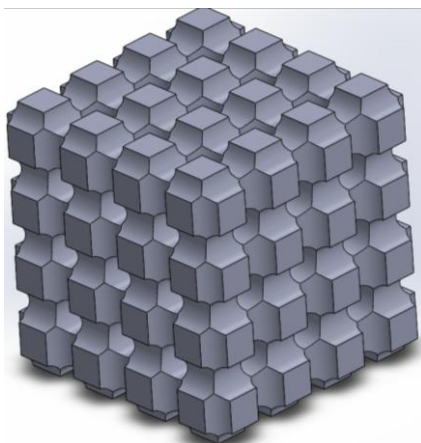
Rysunek 5. Model 3, zbudowany na podstawie siatki kwadratowej



Rysunek 6. Model 4, zbudowany na podstawie siatki krzyżowej trójkątnej



Rysunek 7. Model 5, z wydrążonymi otworami przelotowymi

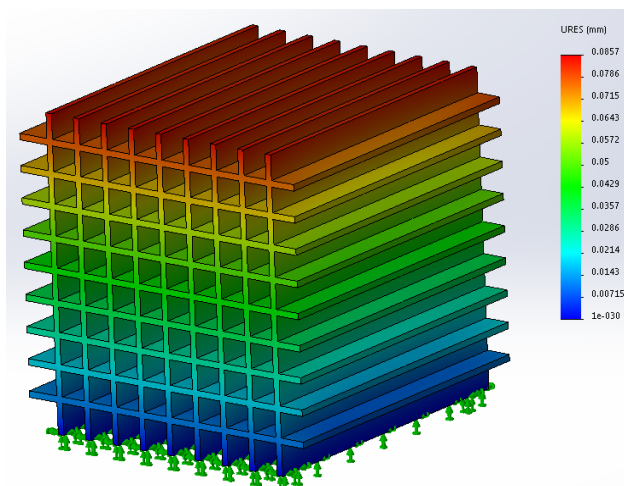


Rysunek 8. Model 6, z okrągłymi przestrzeniami między sześcianami

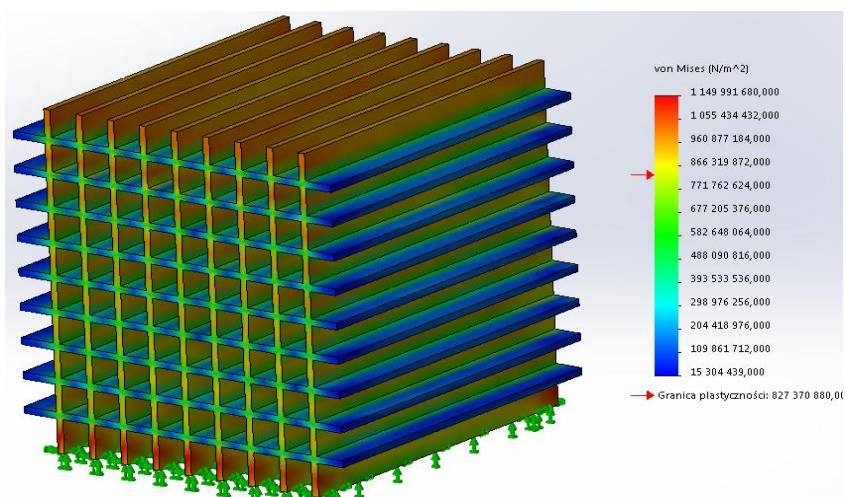
3. ANALIZA PRZEMIESZCZEŃ ORAZ ROZKŁADU NAPRĘŻEŃ

Poniżej na rysunkach 11 – 22 zaprezentowano wartości symulacji ściskania względem dwóch parametrów (Siła nacisku dla każdego elementu wynosi 2000N):

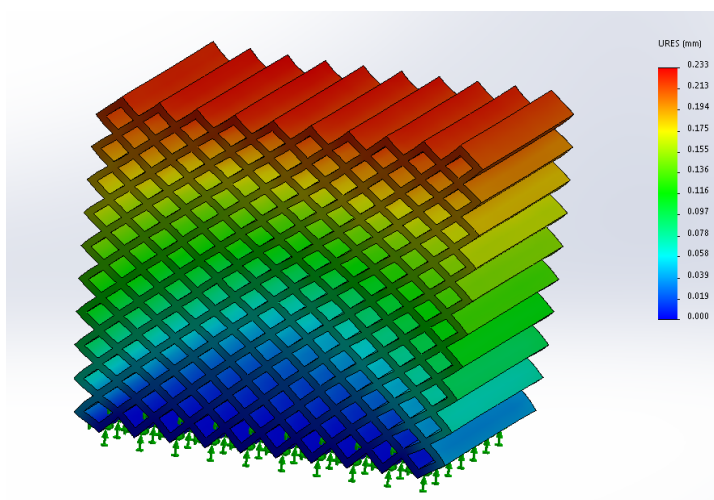
- Przemieszczenia
- Naprężenia



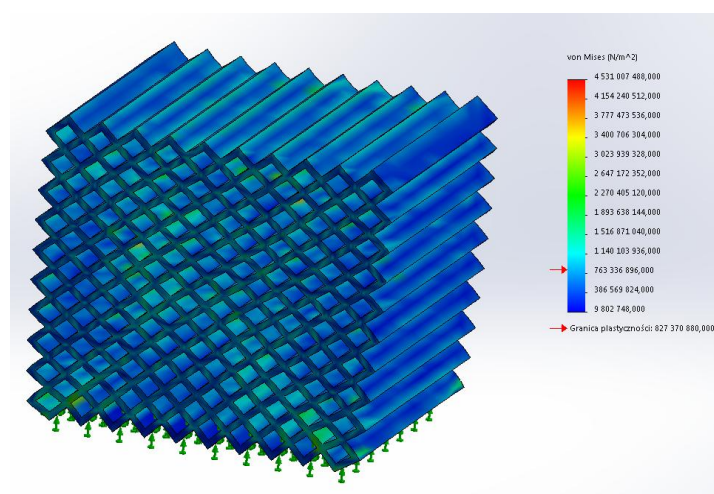
Rysunek 9. Model 1. Wynik przemieszczenia URES dla elementu zbudowanego na podstawie siatki kwadratowej



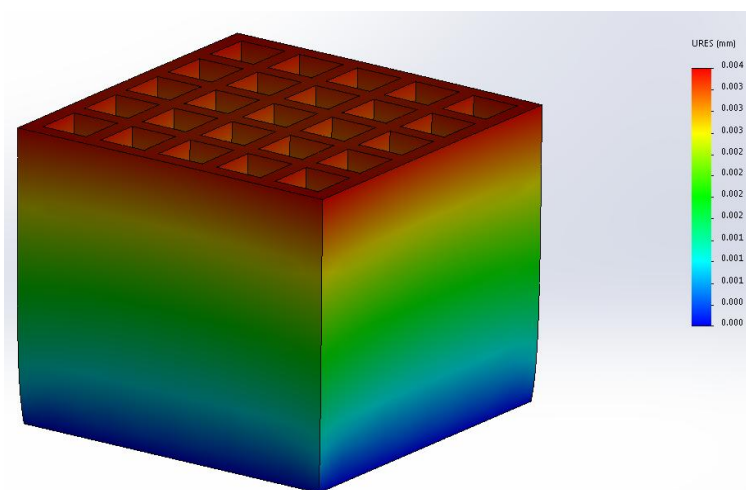
Rysunek 10. Model 1. Wynik naprężenia w skali Von Misesa dla elementu zbudowanego na podstawie siatki kwadratowej



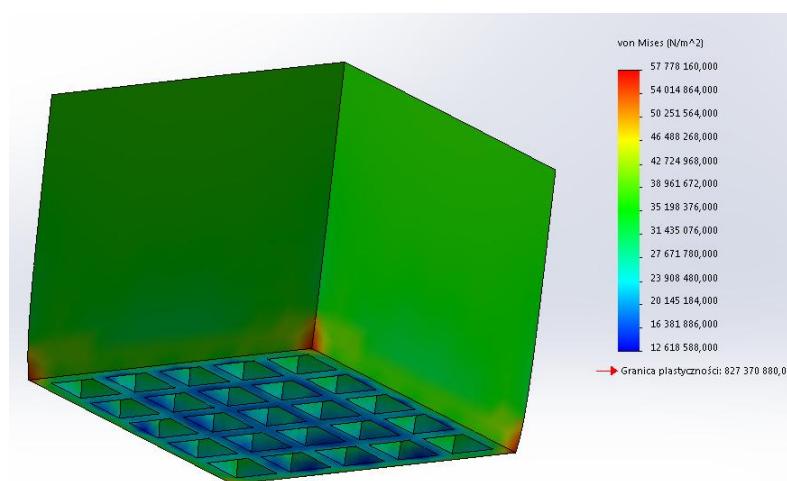
Rysunek 11. Model 2. Wynik przemieszczenia URES dla elementu zbudowanego na podstawie siatki romboidalnej



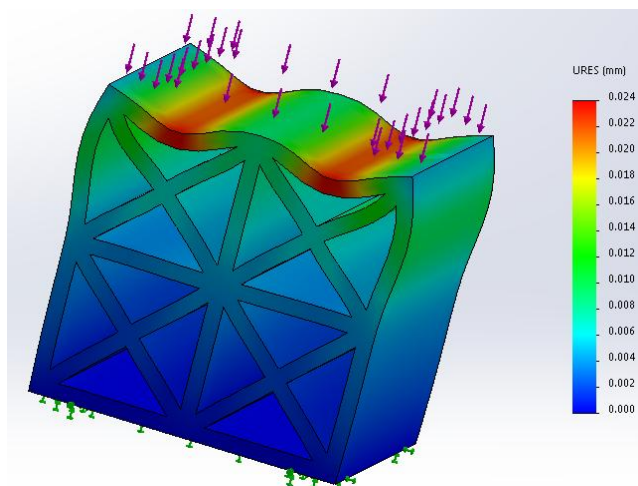
Rysunek 12. Model 2. Wynik naprężenia w skali Von Misesa dla elementu zbudowanego na podstawie siatki romboidalnej



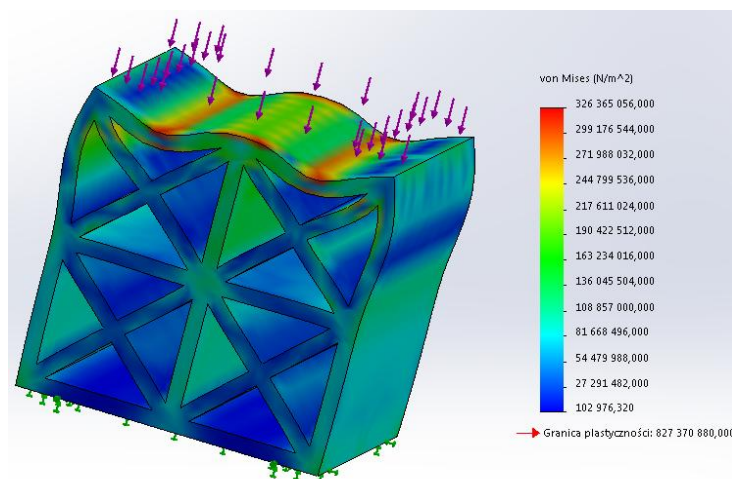
Rysunek 13. Model 3. Wynik przemieszczenia URES dla elementu zbudowanego na podstawie siatki kwadratowej



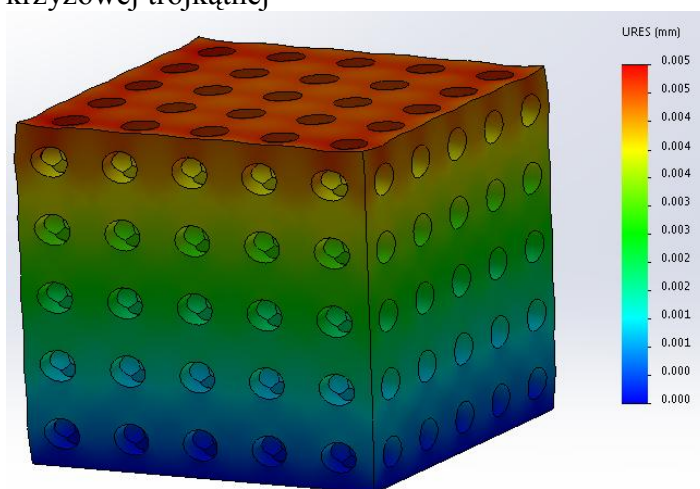
Rysunek 14. Model 3. Wynik naprężenia w skali Von Misesa dla elementu zbudowanego na podstawie siatki kwadratowej



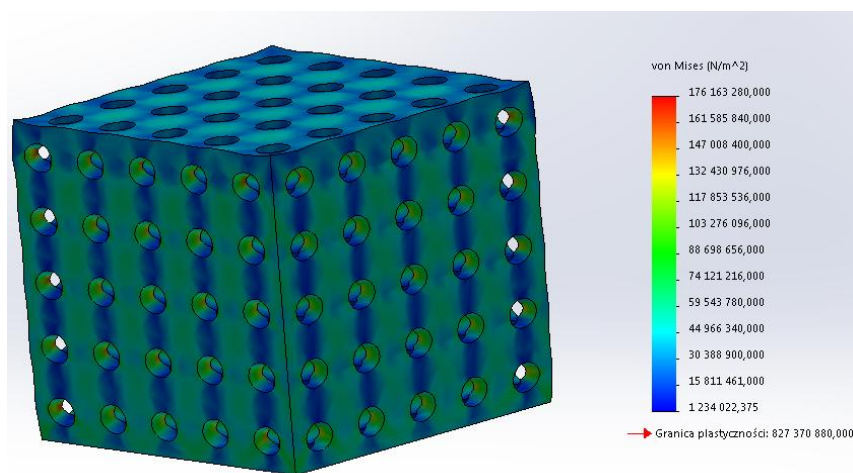
Rysunek 15. Model 4. Wynik przemieszczenia URES dla elementu zbudowanego na podstawie siatki krzyżowej trójkątnej



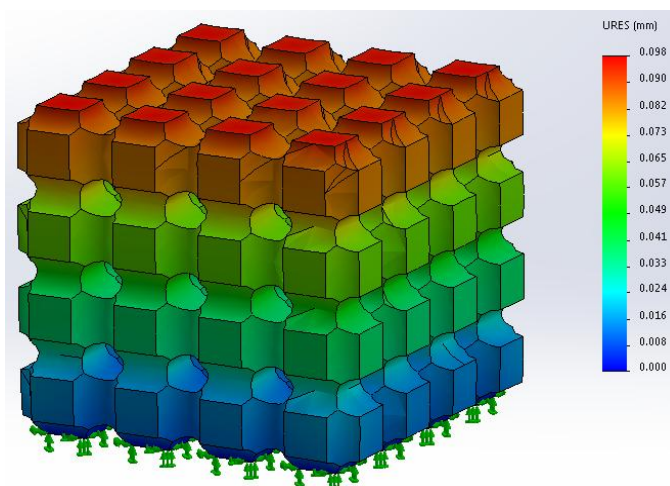
Rysunek 16. Model 4. Wynik naprężenia w skali Von Misesa dla elementu zbudowanego na podstawie siatki krzyżowej trójkątnej



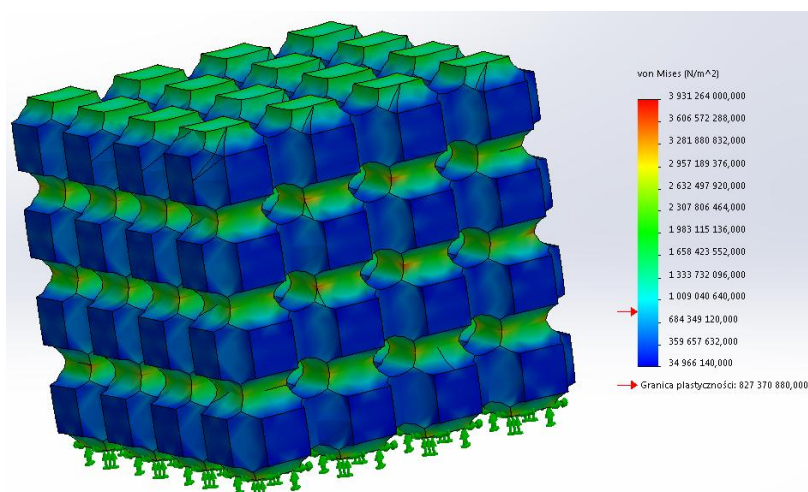
Rysunek 17. Model 5. Wynik przemieszczenia URES dla elementu z wydrążonymi otworami przelotowymi



Rysunek 18. Model 5. Wynik naprężenia w skali Von Misesa dla elementu z wydrążonymi otworami przelotowymi



Rysunek 19. Model 6. Wynik naprężenia w skali Von Misesa dla elementu z wycinkami na podstawie koła



Rysunek 20. Model 6. Wynik naprężenia w skali Von Misesa dla elementu z wycinkami na podstawie koła

Wyniki przemieszczenia i naprężeń przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Wyniki symulacji dla poszczególnych parametrów

Numer modelu	Masa [g]	Objętość [mm ³]	Obszar powierzchni [mm ²]	Maksymalne naprężenie [MPa]	Maksymalne odkształcenie [mm]
Model 1	1,45	327,6	3089	1149	0,3
Model 2	2,39	540	3075	4511	0,83
Model 3	2,19	493,7	3090	57	0,04
Model 4	2,21	493,2	3062	326	0,24
Model 5	2,11	501,7	3121	176	0,05
Model 6	1,23	303,69	2942	3931	0,89

Analiza numeryczna wykazała, że największe naprężenia występują w modelu 2, gdzie prawie pięciokrotnie przekraczają granicę plastyczności materiału. Stopień tych naprężeń doprowadziłby do szybkiego zniszczenia wytworzonej konstrukcji.

Najmniejsze naprężenia wykazuje model 3, gdzie występuje równomierny rozkład naprężeń. Przyłożenie obciążenia na górną część próbki powoduje rozłożenie sił na całości elementu, co zapobiega występowaniu znaczących odkształceń materiału.

Wartości odkształceń dla modeli 3 oraz 5 nie przekraczają 0,05mm, co przy 10mm długości krawędzi nie jest znaczącą wielkością.

Wielkość odkształcenia modeli 2 oraz 6 mieści się w granicach 0,8 – 0,9mm co stanowi 9% długości ściany analizowanego modelu. Zastosowanie danej struktury w większych konstrukcjach może doprowadzić do dużych odkształceń i w konsekwencji do uszkodzeń. Zachowanie jak największej wytrzymałości jest kluczowym elementem zapewniającym bezpieczeństwo użytkowników i osób przebywających w pobliżu obiektu.

4. PODSUMOWANIE

Niniejsza praca przedstawia analizę rozkładu naprężeń sześciu modeli bryłowych z różną strukturą porowatą. Materiał wybrany do przeprowadzenia analizy to stop tytanu Ti-6Al-4V. Modele zostały zaprojektowane i przeanalizowane za pomocą oprogramowania SolidWorks 2015. Wykorzystanie tego oprogramowania pozwoliło na przeprowadzenie analizy numerycznej modeli, a także wykluczenie najsłabszych rozwiązań konstrukcyjnych przed etapem tworzenia elementu rzeczywistego.

Najlepsze rozwiązanie konstrukcyjne, dla sił przykładanych od góry, stanowi model 3 oraz 5. Siły te rozkładają się równomiernie na całej powierzchni elementu. Model 3 oraz 5 stanowią dobrą alternatywę dla konstrukcji wykonanych z jednolitego materiału.

LITERATURA

1. <http://kopalniawiedzy.pl/>, z dnia 04/08/2017
2. A. Budzyński, Krótki wstęp do zastosowania Metody Elementów Skończonych do numerycznych obliczeń inżynierskich, <http://www.knse.pl/publikacje/65.pdf>, z dnia 04/08/2017
3. <http://www.dexcraft.pl/>, z dnia 04/08/2017
4. M. Shellabear, O. Nyrrhilä, Advances in materials and properties of direct metal laser-sintered parts, Ohio 2002
5. D. Gu, Y. Shen, Processing conditions and microstructural features of porous 316L stainless steel components by DMLS, Nagoya 2008
6. D. Gu, Y. Shen, Balling phenomena in direct laser sintering of stainless steel powder: Metallurgical mechanisms and control methods, Nagoya 2009
7. C.P. Paul, P. Ganesh, S.K. Mishra, P. Bhargava, J. Negi, A.K. Nath
8. Investigating laser rapid manufacturing for Inconel-625 components
9. Optics & Laser Technology, Texas 2007, strony 800-805
10. K. Guan, Z. Wang, M. Gao, X. Li, X. Zeng, Effects of processing parameters on tensile properties of selective laser melted 304 stainless steel, Nagoya 2006
11. M. Frey, M. Shellabear, L. Thorsson, Mechanical Testing of DMLS Parts, Texas 2002
12. M.T. Ensz, M.L. Griffith, L.D. Harwell, Software development for Laser Engineered Net Shaping In: Solid Freeform Fabrication Proceedings, Texas 2001
13. W. Shifeng, L. Shuai, W. Qingsong, Z. Ch. Yan, S. Sheng, Net Shaping Pekin 2004
14. K. Januskiewicz, Powierzchnie minimalne i membrany architektoniczne, Archivolta 3(59)2013 3/2013 s. 44-51
15. H. William, The classical theory of minimal surfaces, Paryż 2011
16. R. Osserman, A Survey of Minimal Surfaces, Dover Publications, Nowy York 1986
17. B. Franken, Real as data Architecture, w: Branko Kolarevic (red.), Architecture in Digital Age. Design and Manufacturing, New York and London 2005
18. Stadnicki J., Tokarz Z., Analiza odkształceń kompozytowego skrzydła samolotu, Biuletyn WAT vol. LVII, nr 2, 2008.
19. Strona internetowa producenta oprogramowania SolidWorks: <https://www.solidworks.com/sw/education/education-edition-2013-2014-overview.htm>

