



Analiza wytrzymałościowa ramy rowerowej wykonanej z różnych materiałów inżynierskich

M. Baran^a, P. Cichocki^a, W. Niechoj^a, A. Śliwa^b, M. Sroka^b

^a Studenci Politechniki Śląskiej, Wydział Mechaniczny Technologiczny
email: wojciech.niechoj@gmail.com

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

Streszczenie: W pracy dokonano porównania ram stalowej i aluminiowej roweru typu MTB na podstawie analizy naprężeń oraz przemieszczeń przy obciążeniu odpowiadającemu masie ciała dorosłego mężczyzny. Analizę wytrzymałościową wykonano przy pomocy Metody Elementów Skończonych używając oprogramowanie SolidWorks.

Abstract: In this paper two types of MTB bike frames – stainless steel and aluminum were compared based on the stress and displacement analysis, corresponding the load of an average adult person. The analysis was made using Finite Elements Method in SolidWorks software.

Słowa kluczowe: rower, rama, rozkład naprężeń, rozkład przemieszczeń, SolidWorks, MES, 25CrMo4, 7005

1. WPROWADZENIE

Rama rowerowa jest podstawą roweru, do której przymocowywane są jego pozostałe części. Jest to najważniejszy i zarazem najdroższy element składowy roweru, decydujący o jego zastosowaniu. W zależności od zastosowania ramy mają różną geometrię oraz są wykonane z różnych materiałów inżynierskich [1,3].

Rowery tego typu obecnie są spotykane nie tylko w górach i na szlakach rowerowych, ale coraz częściej również w miastach. Bardzo dobrze sprawdzają się na podjazdach oraz zjazdach. Wśród nich występują rowery z podwójną amortyzacją jak i wersje tylko z przednim amortyzatorem. Amortyzator w przednim widelcu ma zazwyczaj skok 80÷100 mm. Kierownice są o wiele węższe niż w rowerach miejskich, przeważnie są proste lub lekko ugięte z rogami. W zależności od zaawansowania sprzętowego dostępne są modele z hamulcami tarczowymi oraz tradycyjnymi V-brake'ami. Jeżeli chodzi o ilość biegów – najczęściej spotykane są rowery z 27 przełoženiami (3×9) lub 18 (2×9). Jest to uniwersalny typ roweru, który powinien radzić sobie w każdych warunkach, począwszy od miasta poprzez drogi, lasy i bezdroża aż po wymagające górskie tereny [2].

Na rysunku 1 przedstawiono przykładowy rower typu MTB (ang. *MountainBike*), którego rama będzie analizowana [2].



Rysunek 1. Zdjęcie przykładowego roweru typu MTB [2]

Figure 1. Photo of an exemplary MTB bike [2]

2. ZAŁOŻENIA MODELOWE

W pracy poddano analizie ramę o przybliżonym rozmiarze 53 cm na podstawie rozmiarów firmy CUBE [4]. Tablica 1 przedstawia wykaz rozmiarów ramy w zależności od wzrostu użytkownika, zaś rysunek 2 prezentuje odpowiadające rozmiarowi 53 cm faktyczne wymiary ramy roweru.

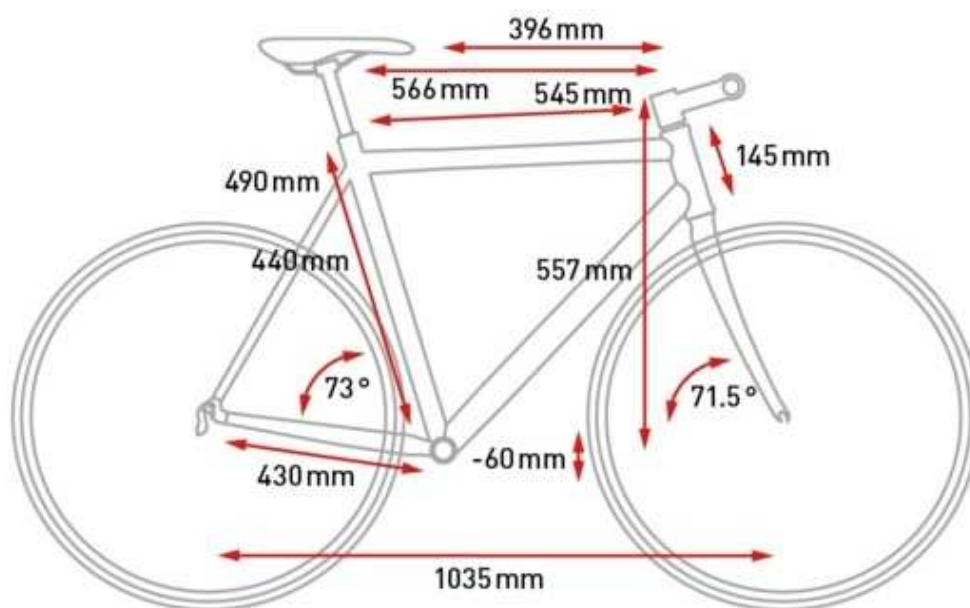
Tablica 1. Wykaz rozmiarów ramy i wzrostu użytkownika [4]

Table 1. Frame sizes based on the user's height [4]

Wzrost, cm	Wielkość ramy, cale	Wielkość ramy, cm
155÷165	14÷15	35÷38
165÷170	15÷16	38÷41
170÷175	16÷17	41÷43
175÷180	17÷18	43÷46
180÷185	18÷19	46÷48
185÷190	19÷21	48÷53
190÷195	21÷22	53÷56
195÷200	22÷23	56÷58

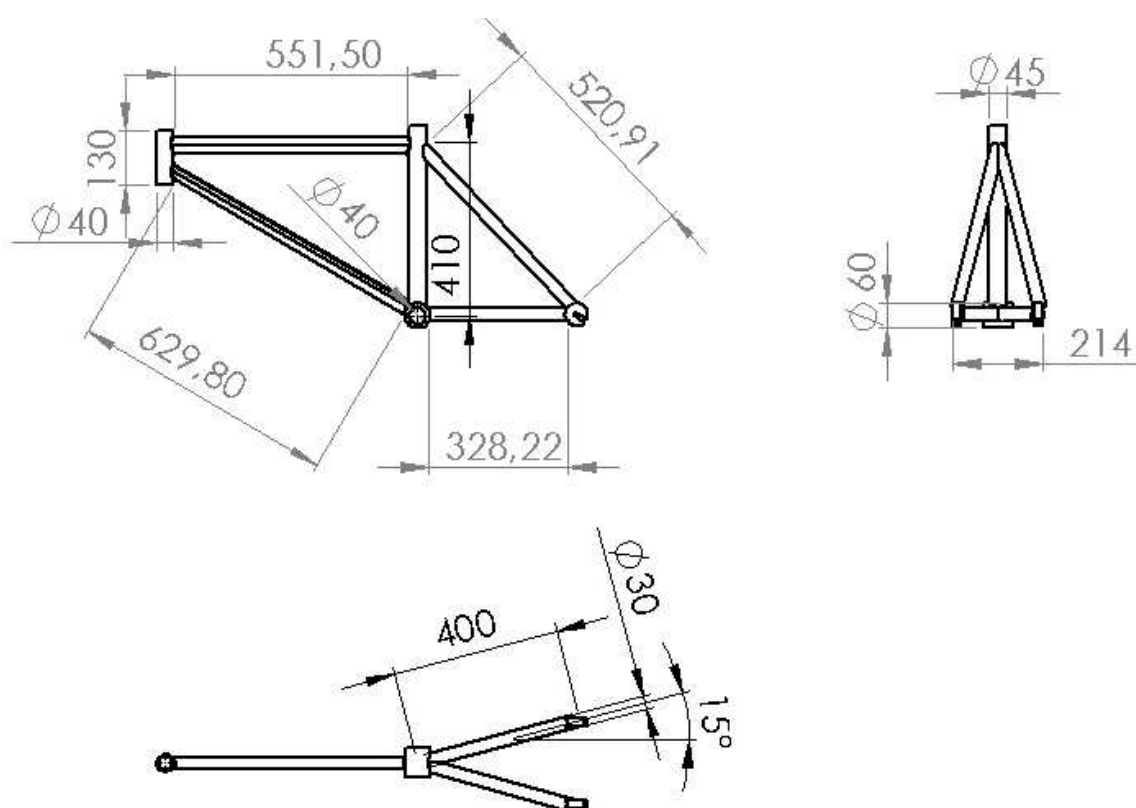
Na podstawie rysunku 2 stworzony został w oprogramowaniu SolidWorks model ramy roweru, pokazany na rysunkach 3 i 4, który następnie został poddany analizie. Model zakłada kilka uproszczeń. Założono, że rama nie jest spawana. Ponadto nie uwzględniono żadnych elementów zawieszenia roweru.

Przyjęty rozmiar ramy przewidziany jest dla mężczyzny o wzroście około 190 cm. Przeciętny mężczyzna o prawidłowym BMI powinien ważyć między 70 a 90 kg, przyjęta została wartość średnia – 80 kg [5]. Obciążenie takiego użytkownika przyjęto w analizie, rozkładając wagę jego ciała w proporcjach około 80% na siodełko oraz około 20% na kierownicę. Model utwierdzono z przodu w miejscu widelca oraz z tyłu w miejscu montażu tylnych kół.



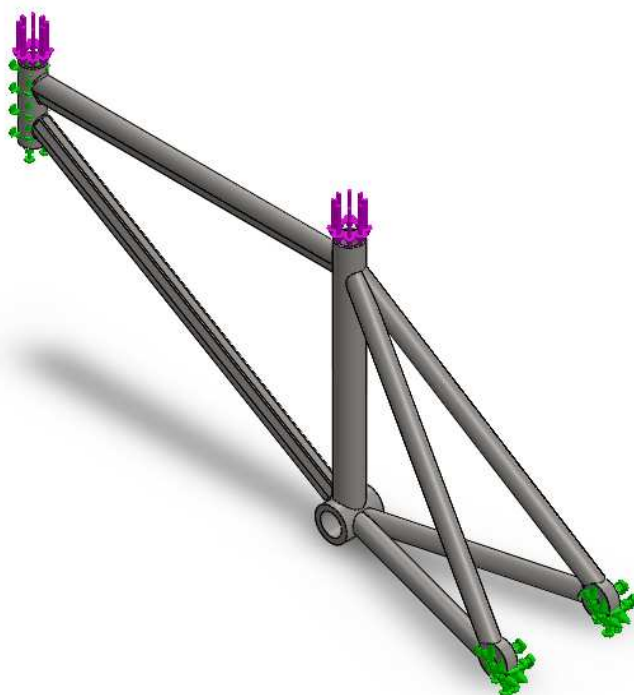
Rysunek 2. Wymiary ramy o rozmiarze 53 cm [4]

Figure 2. Dimensions of a 53 cm bike frame [4]



Rysunek 3. Wymiary modelu ramy

Figure 3. Frame model's dimensions

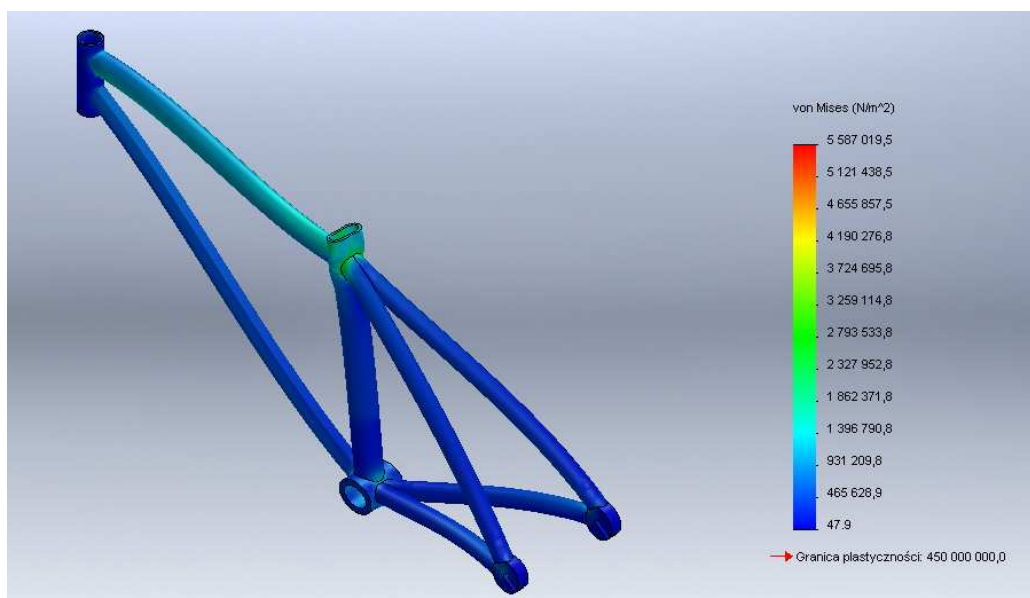


Rysunek 4. Model ramy z nałożonymi warunkami brzegowymi
Figure 4. Frame model with restraints and loads

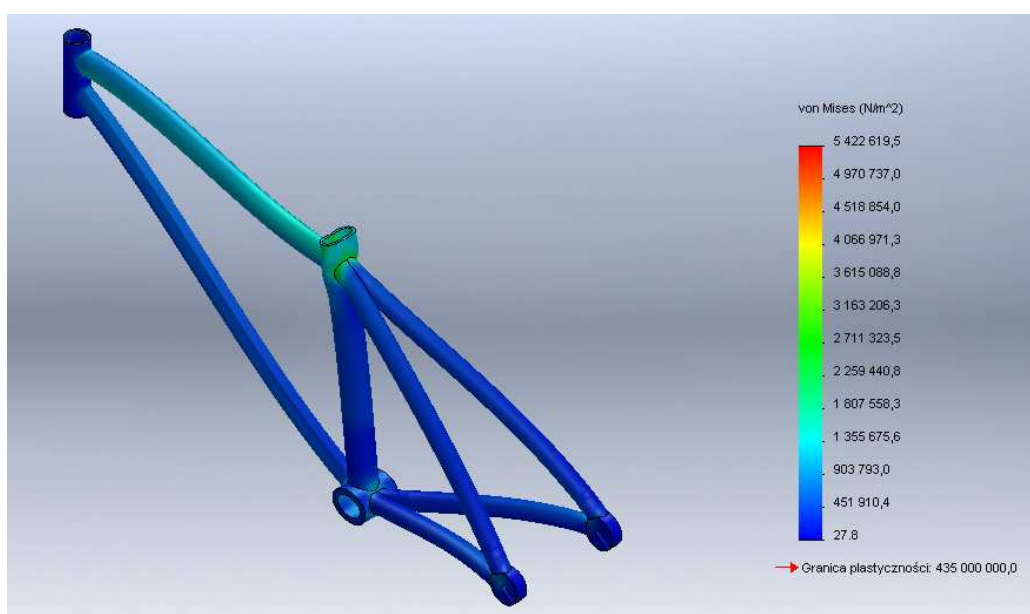
Analizie poddano ten sam model przy tym samym obciążeniu dla dwóch różnych materiałów – stopu stali nierdzewnej 25CrMo4 [6] oraz stopu aluminium 7005 [7]. Są to stopy dość powszechnie wykorzystywane do wytwarzania ram rowerów. Poza wykonaniem analiz naprężeń i przemieszczeń porównana została masa analizowanych ram. Na podstawie masy oraz średnich cen rynkowych materiałów wyznaczona została przybliżona cena wytworzenia elementów. Należy nadmienić, że nie odzwierciedla ona rynkowej ceny ram, która poza samym materiałem zawiera inne czynniki.

3. ANALIZA ROZKŁADU NAPRĘŻEŃ

Rysunki 5 i 6 prezentują wyniki analizy rozkładu naprężeń uzyskanej w oprogramowaniu SolidWorks. Niezależnie od materiału wyniki są dość podobne. Model obciążono ciężarem 640 N w miejscu siodełka oraz ciężarem 160 N w miejscu kierownicy. Największe naprężenia występują w miejscu łączenia rury górnej oraz rury siodełkowej, tuż pod miejscem gdzie przyłożony jest największy ciężar i w obu przypadkach mają wartość około 5,6 MPa dla stali oraz około 5,4 MPa dla aluminium. Granice plastyczności materiałów wynoszą odpowiednio około 450 MPa i 435 MPa, zatem można stwierdzić, iż oba materiały są dostatecznie wytrzymałe i równie dobrze spełniają swoją funkcję. Ponadto można wysnuć wniosek, że nawet pomimo uproszczeń modelowych, znacznie cięższa osoba mogłaby bezpiecznie używać ramy bez ryzyka jej uszkodzenia. Oczywiście trudno ocenić czy tyczyłoby się to również całego roweru, gdyż zależy to jednocześnie od wytrzymałości innych komponentów. Jeśli jednak chodzi o naprężenia w ramie, oba materiały spisują się równie dobrze i trudno je rozgraniczyć pod względem tego kryterium.



Rysunek 5. Rozkład naprężeń zredukowanych wg Misesa dla stali 25CrMo4
Figure 5. Distribution of Mises stress for 25CrMo4 steel

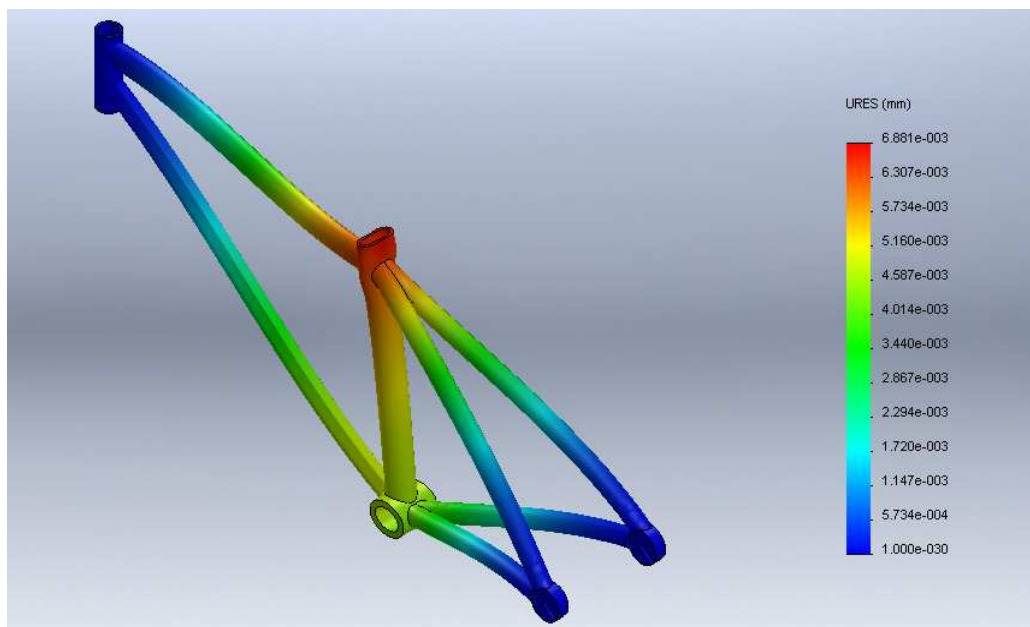


Rysunek 6. Rozkład naprężeń zredukowanych wg Misesa dla aluminium 7005
Figure 6. Distribution of Mises stress for 7005 aluminum

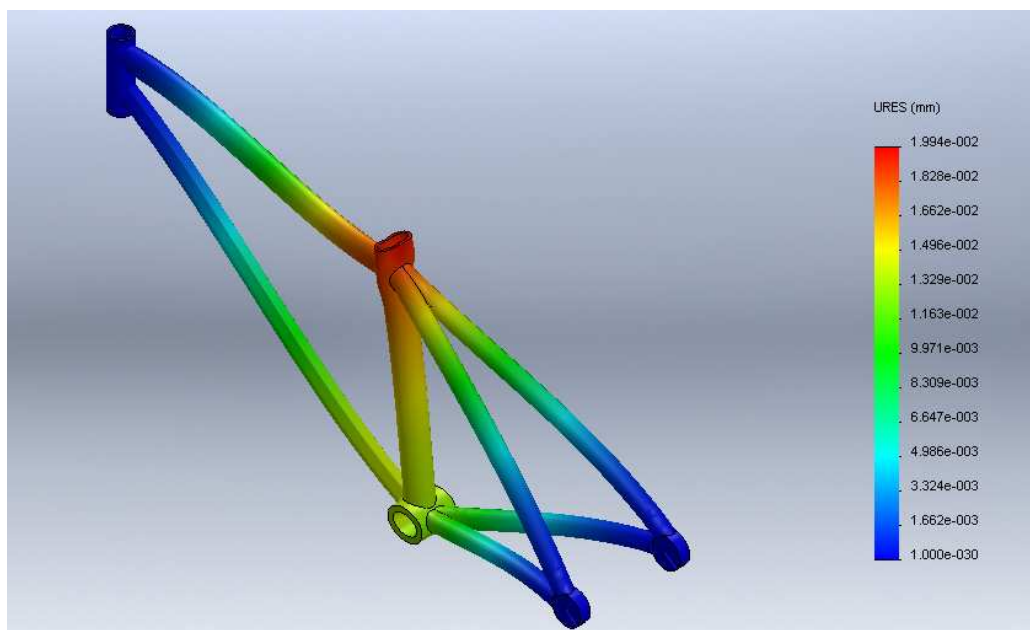
4. ANALIZA PRZEMIESZCZEŃ

Na rysunkach 7 i 8 przedstawiono rozkład przemieszczeń w ramie pod tym samym obciążeniem. Największe przemieszczenia występują, jak można się było spodziewać, bezpośrednio pod obszarem największego obciążenia. Okazuje się, że maksymalne przemieszczenia w ramie aluminiowej są niemal trzykrotnie większe niż w ramie stalowej. Może wydawać się to dużo,

jednak w rzeczywistości różnice te są pomijalne w porównaniu do wymiarów całej ramy. Dla ramy stalowej maksymalne przemieszczenie wyniosło około $7\ \mu\text{m}$, zaś dla ramy aluminiowej około $20\ \mu\text{m}$. Dlatego można stwierdzić, że również i pod względem przemieszczeń oba materiały spełniają swoją funkcję i podobnie jak pod względem naprężeń, trudno porównać je pod tym kątem.



Rysunek 7. Rozkład przemieszczeń w ramie ze stali 25CrMo4
Figure 7. Displacement distribution in 25CrMo4 steel frame



Rysunek 8. Rozkład przemieszczeń w ramie z aluminium 7005
Figure 8. Displacement distribution in 7005 aluminum frame

5. ANALIZA MAS

Po analizach rozkładów naprężeń i przemieszczeń nie ustalono jednoznacznej odpowiedzi, który materiał lepiej sprawdza się w produkcji ram rowerów. Oba materiały wykazały się odpowiednimi własnościami, które pozwalają na ich zastosowanie. W celu rozgraniczenia porównano masy obu elementów.

Różnica okazuje się być bardzo istotna. Na podstawie wykonanego modelu i danych materiałowych oprogramowania SolidWorks obliczono, że rama stalowa waży 18,8 kg, zaś rama aluminiowa waży jedynie 6,8 kg. Zatem rama stalowa waży ponad dwukrotnie więcej niż aluminiowa. Jest to pierwsza znaczna różnica która zdecydowanie przemawia na korzyść aluminiowej ramy. Niższa masa ramy przy niemal identycznych własnościach wytrzymałościowych przekłada się bezpośrednio na lepszy komfort jazdy. Użytkownik musi włożyć mniejszą pracę żeby wprowadzić w ruch ramę z aluminium, dzięki czemu będzie się zdecydowanie mniej męczył podczas jazdy.

6. ANALIZA CEN

Na podstawie cenników internetowych różnych firm produkujących rury z porównywanych materiałów, oraz na podstawie obliczonych mas ram oszacowano koszt materiałowy wytworzenia pojedynczej ramy.

Koszt kilograma rur ze stali 25CrMo4 wynosi około 8 zł za kilogram [8], zaś koszt kilograma rur z aluminium 7005 przy obecnym kursie dolara [10] wynosi około 18,5 zł za kilogram [9].

Na tej podstawie można oszacować, że koszt materiałowy wykonania ramy stalowej będzie wynosił około 150 zł, zaś aluminiowej około 130 zł. Ceny te są orientacyjne i nie odzwierciedlają rzeczywistych kosztów wykonania ram, jednak można zauważyć, że koszt wykonania ramy aluminiowej może być niższy od kosztu wykonania takiej samej ramy stalowej.

7. PODSUMOWANIE

W niniejszej pracy porównano dwa popularne materiały na ramy rowerowe – stal nierdzewną 25CrMo4 oraz aluminium 7005 i przeanalizowano je pod kątem analizy naprężeń oraz przemieszczeń występujących pod wpływem siły.

Biorąc pod uwagę własności mechaniczne oba materiały prezentują się bardzo dobrze i zdecydowanie nie ma przeciwwskazań żeby któregośkolwiek z nich użyć jako materiał bazowy na ramę roweru. Należy jednak zauważyć, iż rama aluminiowa o tych samych wymiarach będzie istotnie lżejsza od ramy stalowej. Również koszt jej wytworzenia, nie uwzględniając kosztów technologicznych, może okazać się niższy niż koszt wytworzenia ramy stalowej.

Ostatecznie można zatem wysnuć wniosek, że pomiędzy ramami stalowymi a aluminiowymi lepsze w zastosowaniu będą ramy aluminiowe. Należy jednak pamiętać, iż nie są to jedyne materiały wykorzystywane do wytworzenia ram rowerów. Innymi potencjalnymi materiałami są magnez, tytan czy włókno węglowe. Materiały te stają się coraz bardziej popularne wśród producentów rowerów, głównie ze względu na jeszcze niższe masy uzyskanych ram przy podobnych własnościach wytrzymałościowych. Koszty wytworzenia ram z tych materiałów są jednak o wiele wyższe.

LITERATURA

1. strona internetowa: http://pl.wikipedia.org/wiki/Rama_rollerowa.
2. strona internetowa: <http://rollerowemiasto.info/2011/06/kupujemy-nowy-roller-rodzaje-rollerow/>.
3. strona internetowa: <http://wroller.pl/sprzet/rama-rollerowa,5451.html>.
4. strona internetowa: <http://www.cube.eu/>.
5. strona internetowa: <http://bmi.westld.com/>.
6. Norma PN-EN 10083-3, Stale do ulepszania cieplnego.
7. Norma PN-EN 755-2, Aluminium i stopy aluminium – Pręty, rury i kształtowniki wyciskane.
8. strona internetowa: <http://www.multipino.pl/>.
9. strona internetowa: <http://www.alibaba.com/>.
10. strona internetowa: <http://www.nbp.pl/kursy/kursya.html>.