

# Inżynieria odwrotna w kontroli dokładności geometrycznej ramy bolidu klasy Formula Student

## Reverse engineering for control of geometric accuracy of the Formula Student class race car

PIOTR STROJNY\*

DOI: 10.17814/mechanik.2015.8-9.497

Zaprezentowano innowacyjne podejście do konstruowania bolidu startującego w zawodach Formuły Student. Opisano możliwości wykorzystania inżynierii odwrotnej w procesie projektowania ramy pojazdu. Pokazano zalety stosowania nowoczesnych narzędzi w interdyscyplinarnych projektach.

**SŁOWA KLUCZOWE:** inżynieria odwrotna, kontrola jakości, Formula Student

*Presented is an innovative approach to the design of the car competing at the Formula Student competition. Described are possibilities of using reverse engineering for the design work on car frame. Showed are advantages offered by the use of modern tools in multidisciplinary projects.*

**KEYWORDS:** reverse engineering, quality control, Formula Student

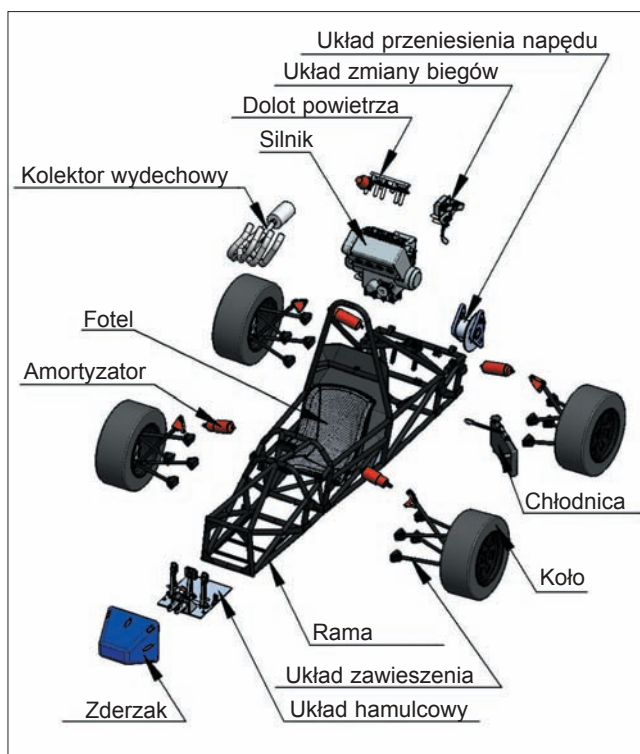
Inżynieria odwrotna coraz częściej znajduje zastosowanie w kontroli jakości elementów urządzeń mechanicznych. Sprzyjają temu przede wszystkim spadające ceny profesjonalnych skanerów 3D. Niemniej jednak konieczność odpowiedniego przygotowania modelu do skanowania oraz stosunkowo długi czas obróbki danych nie sprzyjają wdrażaniu tej metody w produkcji masowej bądź wielkoseryjnej. Skanowanie elementów w celu sprawdzenia ich poprawności geometrycznej jest za to przydatne w przypadku produkcji jednostkowej lub małoseryjnej [4, 5].

Artykuł przedstawia sposób wykorzystania skanera przestrzennego 3D do korygowania zaprojektowanej i wykonanej ramy bolidu spełniającego wymagania konieczne do startu w zawodach Formuły Student.

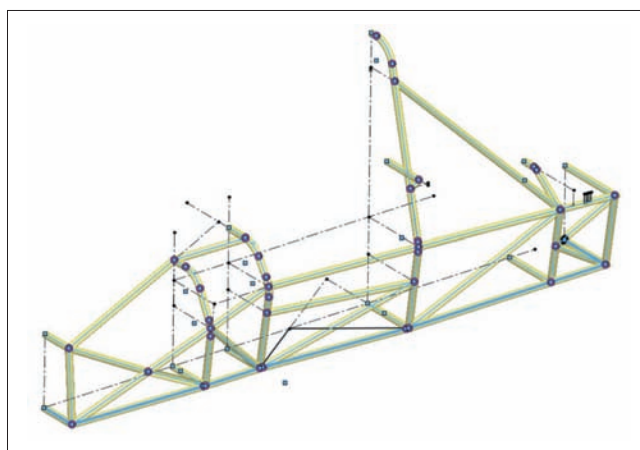
Zawody polegają na rywalizacji studenckich drużyn z całego świata w interdyscyplinarnym projekcie. Jego celem jest skonstruowanie sportowego samochodu (bolidu) [8, 9]. Rama stanowi szkielet pojazdu, do którego mocowane są najważniejsze części. Dlatego dokładność wykonania ramy i jej zgodność z modelem wirtualnym należą do najważniejszych wyzwań. Przestrzenna, spawana konstrukcja stalowa jest szczególnie narażona na niedokładności geometryczne wynikające głównie ze skurczów spawalniczych, z precyzji w gięciu poszczególnych rur czy trudności z przestrzennym rozstawieniem konstrukcji.

### Wirtualny model ramy

Projekt wirtualny ramy został wykonany w programie SolidWorks, z wykorzystaniem modułu do konstrukcji spawanych. Przed jej zamodelowaniem, narzucono szereg założeń konstrukcyjnych wynikających z regulaminu zawodów oraz zamodelowano części i zespoły, które miały być do niej przytwierdzone. Przestrzenny model ramy wraz z częściami i zespołami bolidu przedstawiono na rys. 1. Sama rama została zamodelowana za pomocą znormalizowanych elementów konstrukcyjnych (rys. 2) programu SolidWorks. Wykorzystanie parametrycznego programu do modelowania 3D umożliwia szybką i łatwą przebudowę ramy, gdyby zaistniała taka konieczność [1+3].



Rys. 1. Wirtualny model ramy bolidu wykonany w systemie CAD

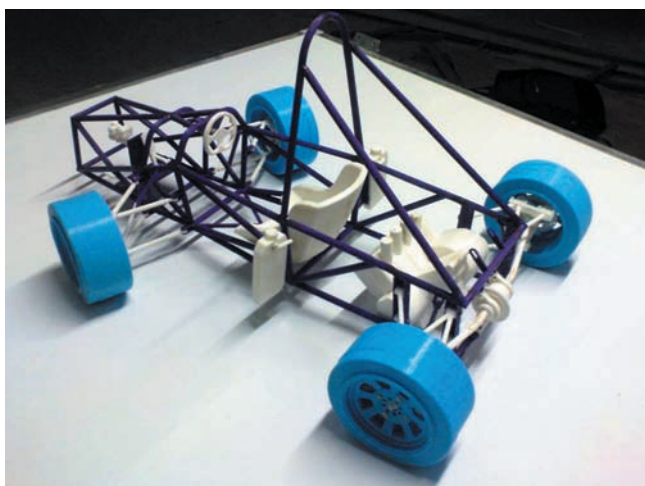


Rys. 2. Projekt CAD ramy bolidu

### Model ramy wykonany technikami RP

Techniki szybkiego prototypowania (RP) pozwalają na wyeliminowanie wielu błędów, których nie jesteśmy w stanie wychwycić na etapie tworzenia modelu CAD [6, 7]. Należą do nich choćby problemy montażowe – zdarza się np., że skojarzenie ze sobą dwóch lub więcej części jest trudne, a czasem wręcz niemożliwe. Dodatkowo wytworzenie modelu

\* Mgr inż. Piotr Strojny (pstrojny@prz.edu.pl) – Katedra Konstrukcji Maszyn, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej



Rys. 3. Model bolidu wykonany technikami RP

technikami RP ułatwia oszacowanie przestrzeni do ergonomicznego zagospodarowania. Na rys. 3 przedstawiono model ramy z naniesionymi ważniejszymi elementami bolidu.

### Fizyczna rama bolidu

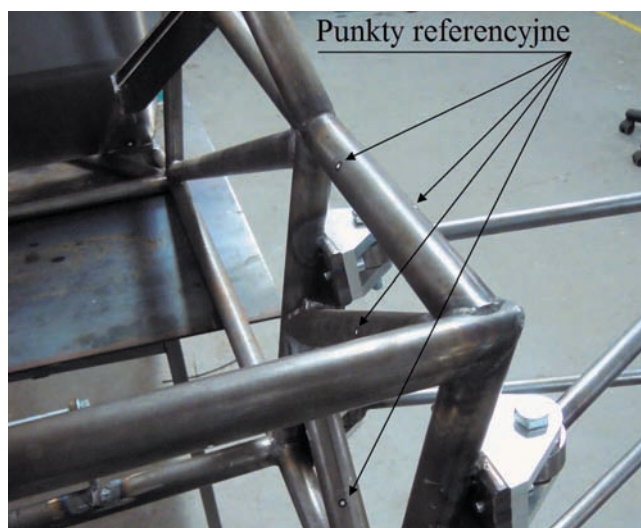
Fizyczną ramę bolidu, zbudowaną z rury  $\varnothing 30 \times 2,5$  mm, przedstawiono na rys. 4. Przy wykonywaniu ramy największą kłopotów sprawiało utrzymanie odległości pomiędzy węzłami konstrukcyjnymi. Jest to związane z rozmieszczeniem węzłów w przestrzeni. Innym problemem są skurcze spawalnicze, które prowadzą do zniekształcenia (zwichrowania) całej konstrukcji. Istnieją różne sposoby korygowania gotowej, pospawanej konstrukcji, jednak polegają one głównie na siłowym skręcaniu ramy i nie zawsze dają pożądany efekt.



Rys. 4. Rama bolidu

### Przygotowanie ramy do skanowania

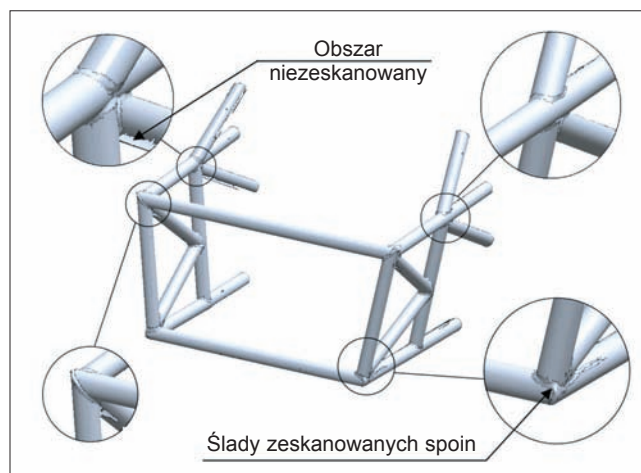
Ze względu na restrykcyjne wymagania regulaminowe odnośnie do projektu ramy bolidu startującego w zawodach klasy Formula Student, podjęto decyzję o innowacyjnym sposobie skorygowania konstrukcji ramowej. Po naniesieniu punktów referencyjnych (w celu uzyskania dokładniejszych wyników – rys. 5) ramę zeskanowano skanerem przestrzennym 3D. Otrzymano chmurę punktów, którą obrobiono w programie SolidWorks. Ponieważ rama ma duże gabaryty, proces jej skanowania podzielono na dwie części: osobno zeskanowano przód i tył. Nie skanowano tych fragmentów ramy, w których duże błędy odchyłek geometrycznych nie wpływałyby negatywnie na konstrukcję, np. pałąka kapotażowego.



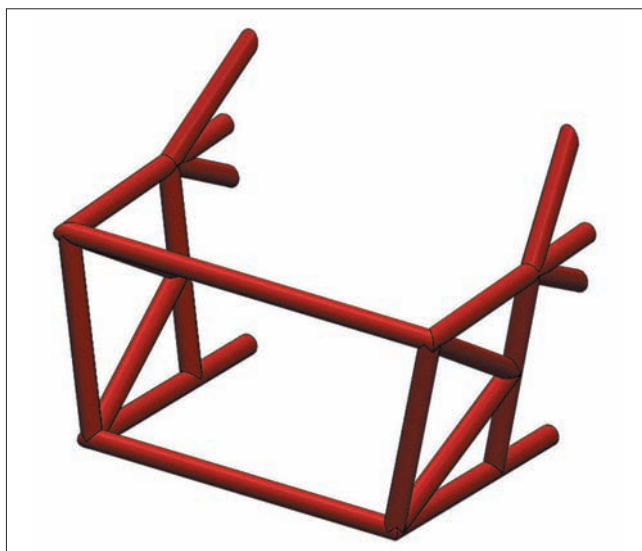
Rys. 5. Fragment ramy bolidu z naniesionymi punktami referencyjnymi

### Zeskanowana rama

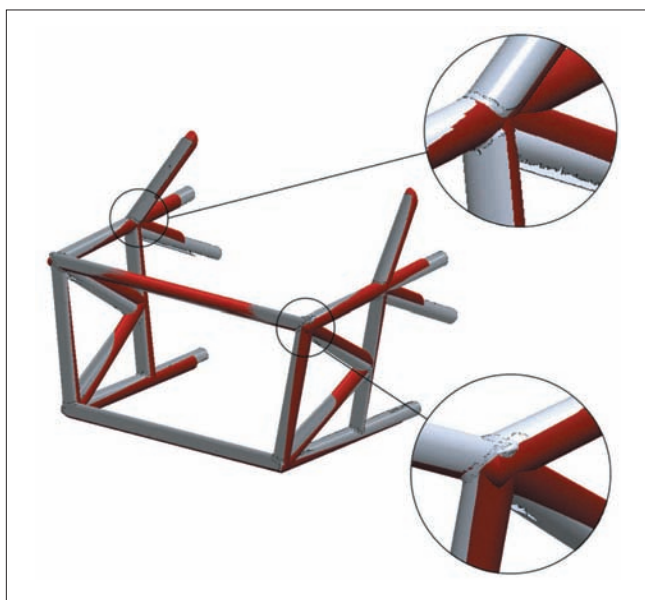
Wyniki skanowania fragmentu ramy przedstawiono na rys. 6. Dwa modele wirtualne tylnej części ramy – pierwotny, zamodelowany w systemie CAD (rys. 7), oraz model utworzony na bazie skanowania (rys. 6) – nałożono na siebie, aby sprawdzić różnice (rys. 8). Analogiczny proces powtórzono dla przedniej części konstrukcji.



Rys. 6. Zeskanowany i obrobiony model ramy



Rys. 7. Pierwotny model ramy wykonany w systemie CAD

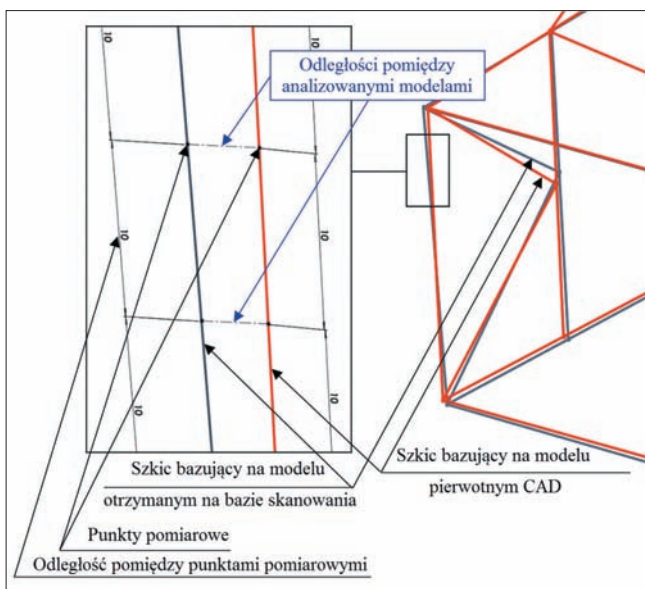


Rys. 8. Zestawienie modeli ramy: kolor czerwony – pierwotny model CAD, kolor szary – model otrzymany na podstawie skanowania

### Kontrola jakości wykonania

Po nałożeniu na siebie dwóch modeli w systemie SolidWorks można oszacować różnice pomiędzy ramą zaprojektowaną a wykonaną.

Aby ocenić różnice w geometrii, w każdym modelu wprowadzono osie symetrii (szkice 3D) znajdujące się wewnątrz rur. W wyniku tego otrzymano dwa szkice przestrzenne. Naniesiono na nie punkty pomiarowe oddalone od siebie o 10 mm. Następnie zmierzono odległości pomiędzy adekwatnymi punktami na obu szkicach (rys. 9), co pozwoliło oszacować różnice.



Rys. 9. Metoda pomiaru różnic w geometrii pomiędzy pierwotnym modelem CAD a modelem otrzymanym ze skanowania

W wyniku analizy stwierdzono, że maksymalne różnice w geometrii wynoszą 8 mm i znajdują się głównie w podstawie ramy. Średnia różnica pomiędzy obydwooma modelami zmierzona w najbardziej niewralgicznych miejscach konstrukcji (węzłach) wyniosła ok. 3,5 mm. Niedokładności wykonania sprawiły, że dolna podstawa ramy okazała się o 15 mm węższa, co spowodowało istotne zmiany, głównie w geometrii przedniego i tylnego zawieszenia.

Na podstawie tych informacji poprawiono koncepcję wykonania układu zawieszenia. Podczas projektowania kolejnych elementów bolidu posługiwano się już ramą otrzymaną na bazie skanowania. Zmodyfikowano m.in. projekt poszycia oraz sposób mocowania zderzaka.

### Wnioski

Dzięki wykorzystaniu inżynierii odwrotnej na etapie tworzenia bolidu uniknięto wielu błędów związanych z niedokładnością wykonania ramy. Przyniosło to oszczędność czasu oraz funduszy. Pozwoliło na skorygowanie projektu zawieszenia przed jego wykonaniem. Przyczyniło się do uzyskania lepiej przylegającego poszycia elementów ramy.

### LITERATURA

1. Kęska P. „SolidWorks 2013. Modelowanie części”. CADvantage. 2013.
2. Kęska P. „SolidWorks 2013. Konstrukcje spawane, arkusze blach, projektowanie w kontekście złożenia”. CADvantage. 2013.
3. Lombard M. „SolidWorks Bible”. Crosspoint Boulevard: Wiley Publishing Inc., 2010.
4. Hylewski D., Dyrbuś G., Kaźmierczak M., Kolka A., Kosmol J. „Laboratorium z inżynierii odwrotnej (Reverse Engineering)”. Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, 2010.
5. Wyleżoł M. „Inżynieria odwrotna w doskonaleniu konstrukcji”. *Modelowanie Inżynierskie*. 32 (2006): s. 485+490.
6. Cader M., Zboiński M., Budzik G. „Technologie wytwarzania przyrostowego w praktyce”. *Mechanik*. 86 (2013).
7. Kai Chua Chee, Kochan D., Zhaokui Du. „Rapid prototyping issues in the 21st Century”. *Computers in Industry*. 39 (1999).
8. [www.imeche.org](http://www.imeche.org) (dostęp: 22.07.2014).
9. [www.formulastudent.pl](http://www.formulastudent.pl) (dostęp: 22.07.2014).