Politechnika Lubelska

PODRĘCZNIKI

Paweł Wysmulski

Zaawansowane projektowanie powierzchniowe w systemie CATIA V5



Lublin 2023

Zaawansowane projektowanie powierzchniowe w systemie CATIA V5

Podręczniki – Politechnika Lubelska



Paweł Wysmulski

Zaawansowane projektowanie powierzchniowe w systemie CATIA V5

POLITECHNIKA
LUBELSKA
WYDAWNICTWO

Lublin 2023

Recenzenci:
dr hab. inż. Tomasz Kopecki, prof. uczelni, Politechnika Rzeszowska
dr hab. inż. Wojciech Skarka, prof. uczelni, Politechnika Śląska

Publikacja wydana za zgodą Rektora Politechniki Lubelskiej

ISBN: 978-83-7947-561-2

Wydawca: Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej
www.wpl.pollub.pl
ul. Nadbystrzycka 36C, 20-618 Lublin
tel. (81) 538-46-59

Druk: Agencja Reklamowa TOP Agnieszka Łuczak
www.agencjatop.pl

Elektroniczna wersja książki dostępna w Bibliotece Cyfrowej PL www.bc.pollub.pl
Książka udostępniona jest na licencji Creative Commons Uznanie autorstwa – na tych samych warunkach 4.0 Międzynarodowe (CC BY-SA 4.0)
Nakład: 50 egz.

Spis treści

Streszczenie **7**

Abstract **7**

1. Wprowadzenie **9**

2. Projekt cienkościennego modelu otwieracza **11**

2.1. Powierzchnie otwieracza 12

2.1.1. Podstawowa geometria otwieracza 12

2.1.2. Analiza krzywych elementarnych geometrii otwieracza 19

2.1.3. Powierzchnie elementarne otwieracza 32

2.2. Model hybrydowy otwieracza 46

2.2.1. Obiekt bryłowy otwieracza 46

2.2.2. Opcjonalny model otwieracza 50

3. Projekt obudowy suszarki **51**

3.1. Model powierzchniowy obudowy suszarki 52

3.1.1. Płaszczyzny pomocnicze 52

3.1.2. Powierzchnia uchwytu suszarki 54

3.1.3. Górna powierzchnia obudowy suszarki 64

3.1.4. Powierzchnia monolityczna 70

3.2. Model hybrydowy obudowy suszarki 70

3.2.1. Model bryłowy obudowy suszarki 71

3.2.2. Szczegóły modelu bryłowego obudowy suszarki 72

3.2.3. Opcjonalny model obudowy suszarki 81

4. Projekt szczoteczki **85**

4.1. Model powierzchniowy szczoteczki 86

4.1.1. Zdjęcia rzeczywistego obiektu 86

4.1.2. Struktura drzewa modelu 88

4.1.3. Zarys modelu 89

4.1.4. Model powierzchni bazowej obiektu 95

4.2. Model hybrydowy szczoteczki 100

4.2.1. Cechy szczegółowe obiektu 102

5. Podsumowanie **107**

Literatura **109**

Zaawansowane projektowanie powierzchniowe w systemie CATIA V5

Streszczenie

Podręcznik opisuje wybrane techniki projektowania hybrydowego łączącego metody modelowania powierzchniowego oraz bryłowego. Struktura podręcznika składa się z trzech głównych rozdziałów prezentujących projekty zaawansowanych geometrycznie wirtualnych obiektów 3D. W ramach projektu otwieracza do butelek przedstawiono metodę weryfikacji geometrii elementarnej, polegającą na analizowaniu rozkładu krzywizny poszczególnych krzywych. Projekt obudowy suszarki opisuje zaawansowaną technikę modelowania hybrydowego. Ostatni przedstawiony w podręczniku projekt omawia technikę modelowania w oparciu o zdjęcia rzeczywistego obiektu. Proces modelowania przy użyciu komputerowego wspomagania projektowania przedstawiono w formie przykładów ćwiczeniowych. Każdy z nich stanowi algorytm opisujący kompletny proces modelowania i może być odwzorowany przez czytelnika. Treści zawarte w podręczniku pozwalają na rozszerzenie techniki modelowania hybrydowego w systemie CATIA V5.

Słowa kluczowe: *CAD,* modelowanie powierzchniowe, projektowanie hybrydowe

Advanced surface design in CATIA V5 system

Abstract

The textbook describes selected hybrid design techniques combining surface and solid modeling methods. The structure of the textbook consists of three main chapters presenting designs for geometrically advanced virtual 3D objects. The bottle opener design shows an elementary geometry verification method that analyzes the curvature distribution of individual curves. The design of a dryer case describes an advanced hybrid modeling technique. The last project presented in the manual discusses a modeling technique based on images of the actual object. The modeling process using computer-aided design is presented in the form of exercise examples. Each of them represents an algorithm describing the complete modeling process and can be reproduced by the reader. The content of the textbook allows to extend the hybrid modeling technique in CATIA V5 system.

Keywords: *CAD*, surface modeling, hybrid design

1. Wprowadzenie

Niniejszy podręcznik akademicki stanowi kontynuację cyklu następujących podręczników: *Podstawy projektowania powierzchniowego w systemie CATIA V5* [9] oraz *Metodyka modelowania powierzchniowego w systemie CATIA V5* [10]. Treści opisane we wszystkich tych podręcznikach poświęcone zostały tematyce modelowania powierzchniowego opracowanego w oparciu o metodę komputerowego wspomagania projektowania *CAD*.

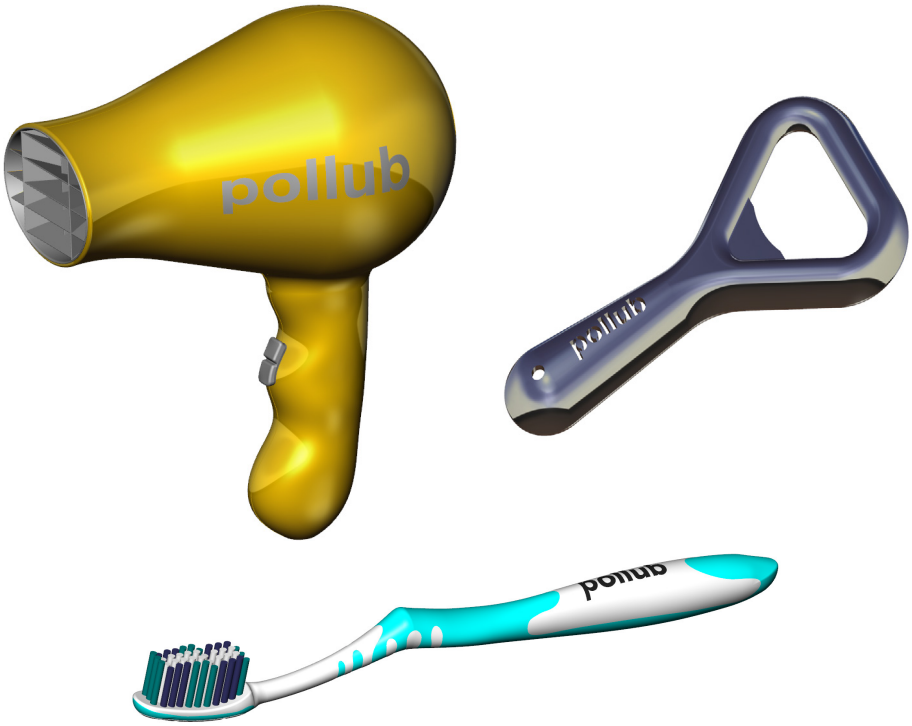
Pozycja literaturowa pt.: *Podstawy projektowania powierzchniowego w systemie CATIA V5* prezentuje metodykę projektowania modeli powierzchniowych przy wykorzystaniu systemu *CAD – CATIA V5*. Zawarte tam treści opisują podstawy projektowania powierzchniowego. Kolejno wprowadzają czytelnika do środowiska odpowiedzialnego za modelowanie powierzchniowe systemu *CATIA V5* oraz prezentują rzeczywiste przykłady definiowania prostych powierzchni parametrycznych.

W podręczniku pt.: *Metodyka modelowania powierzchniowego w systemie CATIA V5* omówiono wybrane techniki wykonywania obiektów powierzchniowych na podstawie opisu tworzenia pięciu modeli przestrzennych. Druga część pracy wiązała się z wprowadzeniem czytelnika w proces modelowania hybrydowego, w oparciu o prezentację przebiegu opracowania dwóch projektów. Dzięki temu stopniowo zaznajomiono czytelnika z możliwościami wykorzystania modułów: powierzchniowego oraz bryłowego systemu *CATIA V5* w procesie modelowania *CAD* [1–8].

Stawiane przed konstruktorem czy studentem uczelni technicznych wymaganie ciągłego rozwijania i udoskonalania umiejętności modelowania w oparciu o metodę *CAD* skłoniły autora do pogłębienia i usystematyzowania tematyki modelowania hybrydowego przy wykorzystaniu modułu powierzchniowego. Prezentowany podręcznik poświęcony został procesowi modelowania hybrydowego, czyli wykorzystania modułów: powierzchniowego oraz bryłowego w procesie modelowania *CAD*. Taka technika modelowania możliwa jest poprzez równoległe wykorzystanie środowisk *Generative Shape Design, Part Design* oraz *Free Style*, w ramach systemu *CATIA V5*.

Treści podręcznika opisują algorytmy zaawansowanego modelowania powierzchniowego w procesie modelowania hybrydowego. Podręcznik zawiera kilka projektów zaawansowanych geometrycznie modeli 3D wykonanych techniką hybrydową – rysunek 1.1. Przedstawiono nowe techniki, wprowadzając nieopisane dotąd procedury w ramach modelowania powierzchniowego, przy czym treści sformułowane są w ten sposób, by stopniowo wprowadzać czytelnika w coraz bardziej zaawansowane metody modelowania *CAD*.

Podręcznik przeznaczony jest przede wszystkim dla studentów uczelni technicznych w procesie ich edukacji, jak również może być wykorzystany przez pracowników biur konstrukcyjnych, zajmujących się projektowaniem różnorodnych produktów charakteryzujących się zaawansowaną geometrią przestrzenną.



Rys. 1.1. Modele hybrydowe

2. Projekt cienkościennego modelu otwieracza

W tym rozdziale przedstawiono algorytm projektowania otwieracza do butelek przy wykorzystaniu metody modelowania hybrydowego, dostępnej w systemie *CATIA V5* . Model stanowił element cienkościenny charakteryzujący się otwartą powierzchnią o zmiennym przekroju poprzecznym. W ramach niniejszego projektu wprowadzono nowe techniki modelowania powierzchniowego i przedstawiono metodę weryfikacji geometrii elementarnej, która polegała na przeanalizowaniu rozkładu krzywizny poszczególnych krzywych.

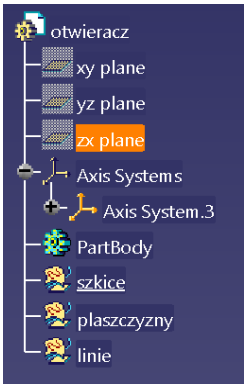
Proces modelowania polegał na wykonaniu połowy powierzchni podstawowej otwieracza, która została powielona symetrycznie, w rezultacie czego otrzymano finalny kształt obiektu. W tym celu stworzono zewnętrzny zarys 2D symetrycznej części otwieracza. Pozwoliło to na wykonanie płaszczyzn normalnych do linii stanowiącej zewnętrzną krawędź obiektu. Płaszczyzny te posłużyły do wykreowania zarysów zmiennych przekrojów poprzecznych otwieracza. Stworzone linie poddano analizie pod kątem poprawności rozkładu ich krzywizny. Tak wykonany szkic posłużył do stworzenia powierzchni elementarnych obiektu, które zostały ze sobą połączone. Zespoloną powierzchnię powielono względem płaszczyzny symetrii obiektu. W rezultacie otrzymano zewnętrzną powierzchnie otwieracza. Na podstawie geometrii modelu stworzono pozostałe dwie powierzchnie zamykające, które charakteryzowała ciągłość styczności do obiektu bazowego. Ostatni element powierzchniowy stanowiła płaska powierzchnia leżąca wewnątrz obiektu otwieracza. Składowe elementy modelu powierzchniowego połączono, uwzględniając przy tym założone kryterium ciągłości powierzchni.

Model powierzchniowy stanowił kształt bazowy do wykonania modelu bryłowego. Cienkościenny model bryłowy stworzono poprzez nadanie grubości powierzchni w kierunku na zewnątrz. Kierunek generowania struktury cienkościenny wynikał z technologii wykonania otwieracza. Bazowa wewnętrzna strona obiektu odpowiadała kształtowi stempla w procesie wytłaczania, a matryca została powiększona o grubość blachy. Pozostałe cechy szczegółowe obiektu stworzono przy wykorzystaniu techniki modelowania hybrydowego. Podstawową geometrię wykonano w oparciu o moduł powierzchniowy Generative Shape Design, natomiast model bryłowy oraz pozostałe detale powstały przy wykorzystaniu modułu bryłowego Part Design. Wirtualny model hybrydowy otwieracza do butelek zaprezentowano na rysunku 2.1.

W celu ułatwienia pracy ukryto różę płaszczyzn i zdefiniowano kartezjański układ współrzędnych (*Axis System*) . Opracowano strukturę drzewa modelu, dodając trzy nowe sekcje geometryczne Geometrical Set... : *szkice*, *płaszczyzny*, *linie* – rysunek 2.2.



Rys. 2.1. Model 3D otwieracza



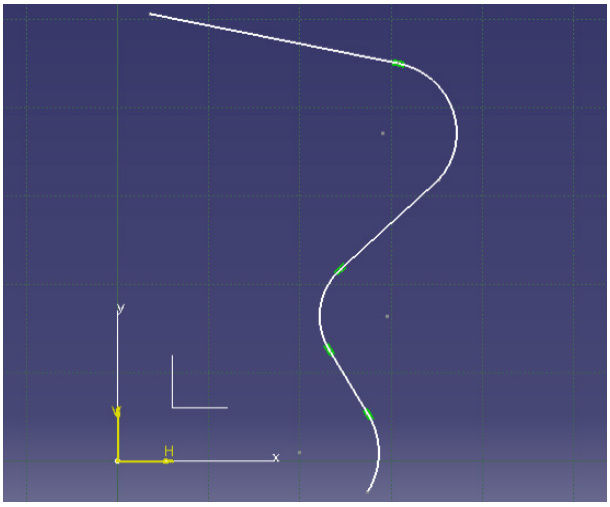
Rys. 2.2. Drzewo modelu

2.1. Powierzchnie otwieracza

Proces projektowania otwieracza został zainicjowany przy wykorzystaniu modułu umożliwiającego modelowanie powierzchniowe Generative Shape Design. Stworzono szkice stanowiące geometrię konstrukcyjną obiektu, które użyto do stworzenia powierzchni otwieracza.

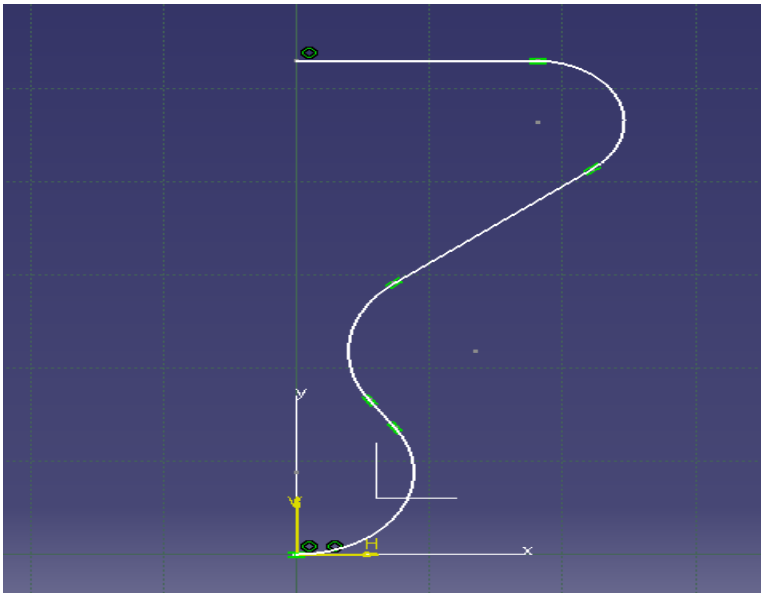
2.1.1. Podstawowa geometria otwieracza

Wskazano sekcję geometryczną szkice jako obiekt pracy. Wybrano płaszczyznę *xy* i stworzono zarys zgodnie z rysunkiem 2.1.1.



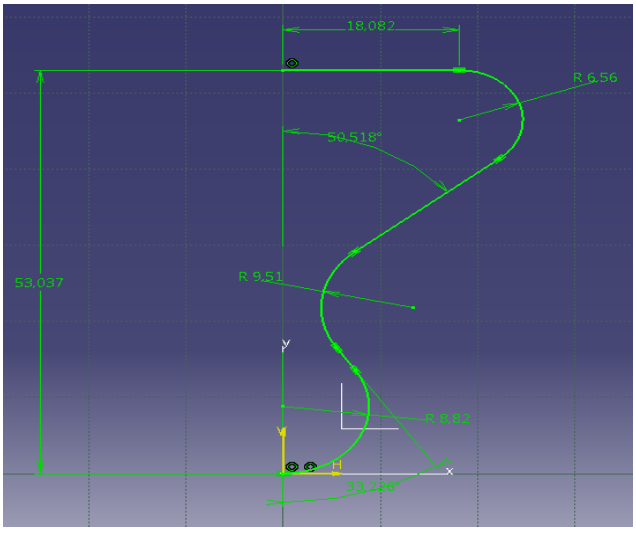
Rys. 2.1.1. Zarys otwieracza

Przy wykorzystaniu narzędzia *Constraint Definition* zdefiniowano relacje geometryczne szkicu, doprowadzając zarys do postaci przedstawionej na rysunku 2.1.2.



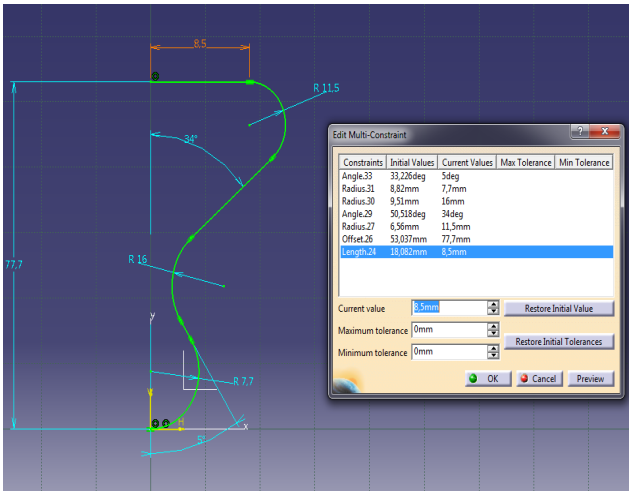
Rys. 2.1.2. Szkic z więzami geometrycznymi

Zarys został zwymiarowany przy użyciu narzędzia , przez wprowadzenie wymiarów przedstawionych na rysunku 2.1.3.



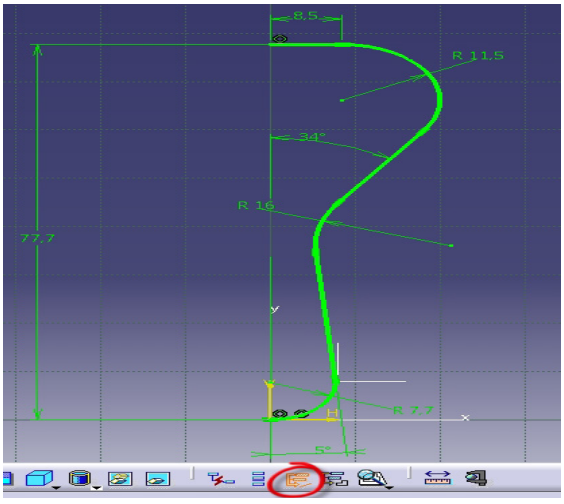
Rys. 2.1.3. Szkic z relacjami wymiarowymi

Następnie zmodyfikowano relacje wymiarowe, wpisując prawidłowe wartości. W celu uniknięcia niepożądanego zdeformowania szkicu poprzez jednostkową zmianę wymiaru zastosowano narzędzie *Edit Multi-Constraint* . Narzędzie to spowodowało zmianę wszystkich wskazanych wymiarów za pomocą jednego kroku projektowego – rysunek 2.1.4.



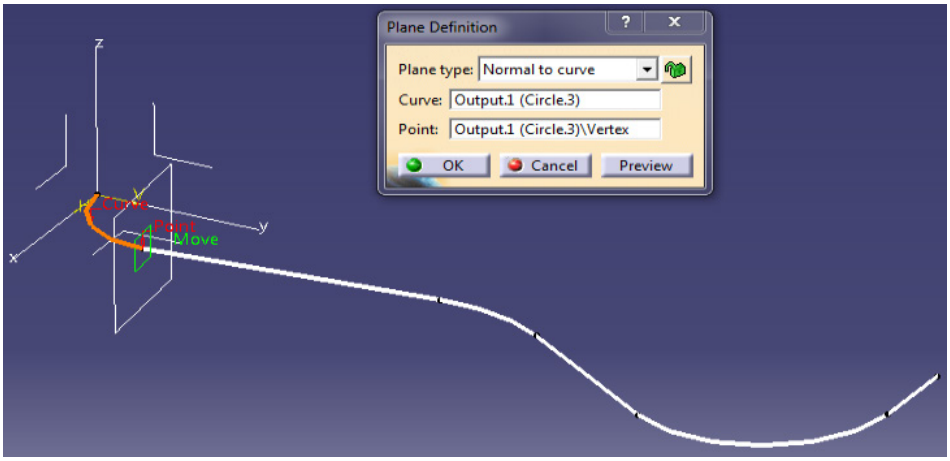
Rys. 2.1.4. Szkic zarysu zewnętrznego

W trakcie projektowania szkic stanowił główną linię prowadzącą powierzchni otwieracza, którą wykonano w kilku etapach. W związku z tym konieczne było wyeksportowanie cech szkicu do środowiska 3D. Do tego wykorzystano narzędzie *Output feature* wybrano ze szkicu wszystkie narysowane linie – rysunek 2.1.5.



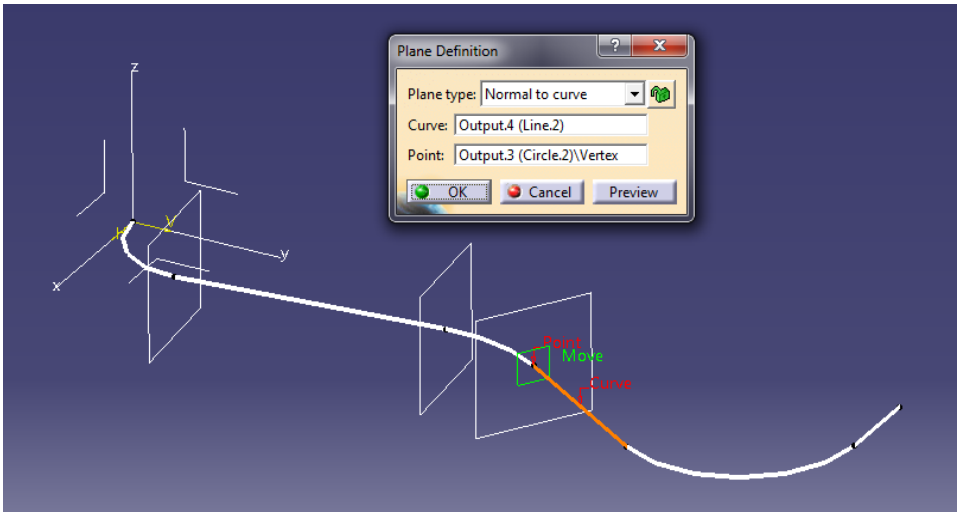
Rys. 2.1.5. Zewnętrzna linia szkicu

Płaszczyznę pomocniczą typu *Normal to curve* wykonano analogicznie, jak w kroku projektowania przedstawionym na rysunku 2.1.6.



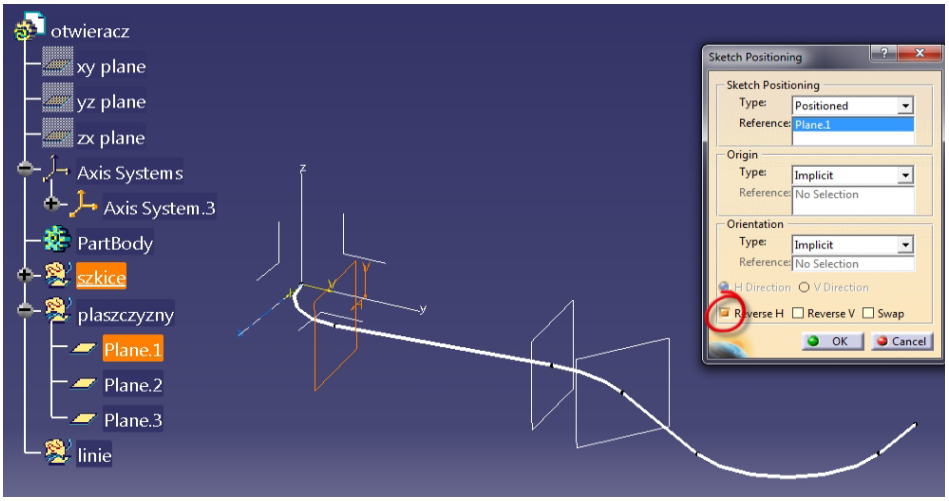
Rys. 2.1.6. Pierwsza płaszczyzna pomocnicza

Zgodnie z rysunkiem 2.1.7 stworzono pozostałe dwie płaszczyzny pomocnicze.



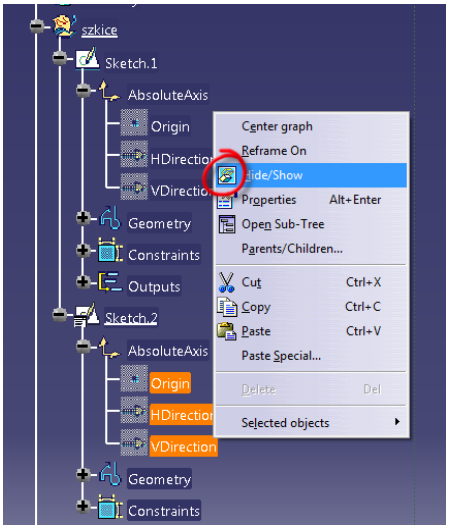
Rys. 2.1.7. Płaszczyzny pomocnicze

Na pierwszej płaszczyźnie pomocniczej wykonano zarys 2D. W celu jego stworzenia wykorzystano narzędzie *Sketch Positioning*, w którym wskazano płaszczyznę *Plane.1*, przy zaznaczonej opcji *Reverse H,* znajdującej się w zakładce *Orientation* okna dialogowego – rysunek 2.1.8.



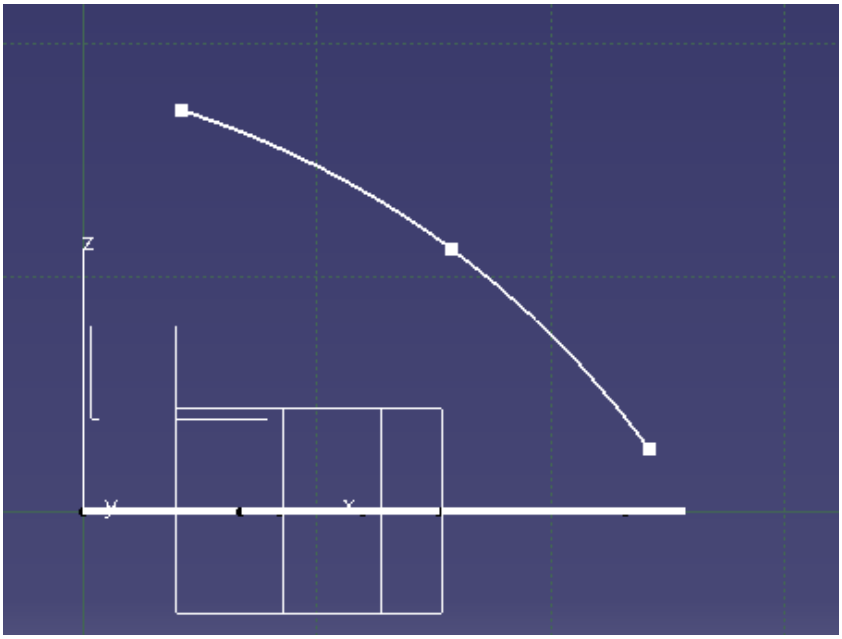
Rys. 2.1.8. Pierwszy szkic

Przed rozpoczęciem rysowania ukryto osie układu współrzędnych szkicu zgodnie z rysunkiem 2.1.9.



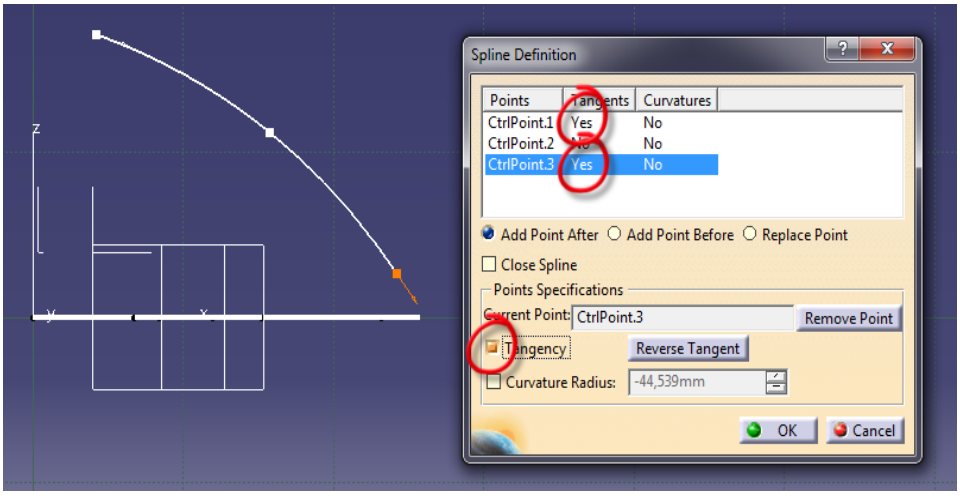
Rys. 2.1.9. Model powierzchniowy wspornika

Wykonano linię typu *Spline* zgodnie z rysunkiem 2.1.10.



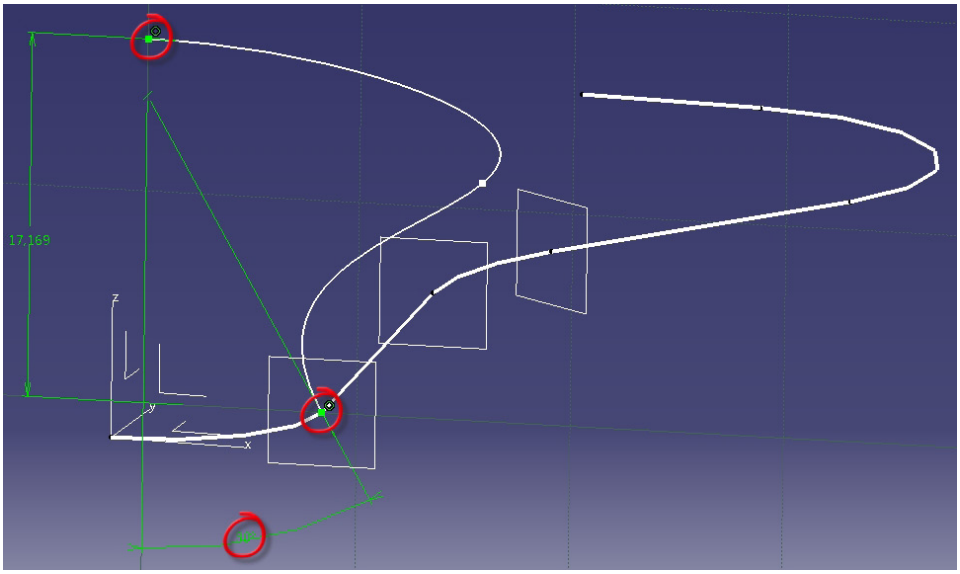
Rys. 2.1.10. Linie typu *Spline*

Narysowaną linię zmodyfikowano, w celu wyznaczenia wektorów stycznych leżących w skrajnych punktach krzywej – rysunek 2.1.11.

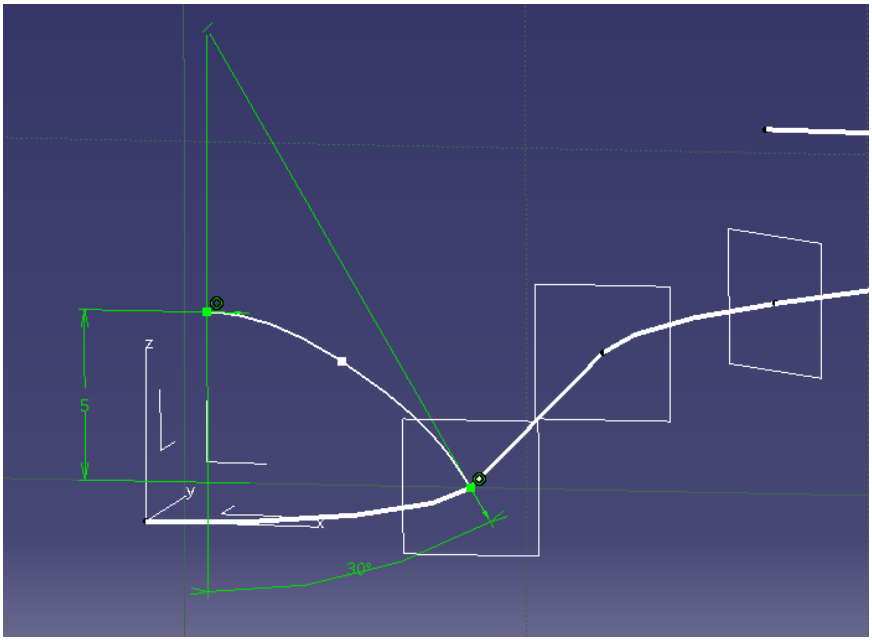


Rys. 2.1.11. Wektory styczne w punktach krzywej

Otrzymanemu zarysowi nadano odpowiednie relacje zgodnie z rysunkami: 2.1.12 oraz 2.1.13. Należy podkreślić, że górny punkt linii zdefiniowano na płaszczyźnie *zy*, która jest płaszczyzną symetrii modelu.

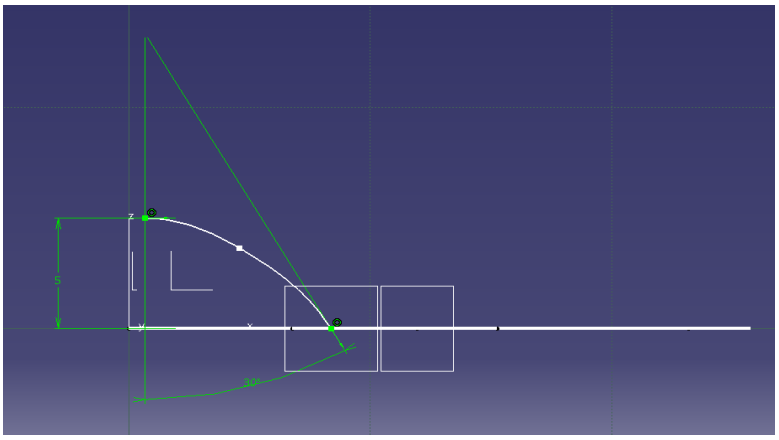


Rys. 2.1.12. Więzy konstrukcyjne linii



Rys. 2.1.13. Więzy wymiarowe linii

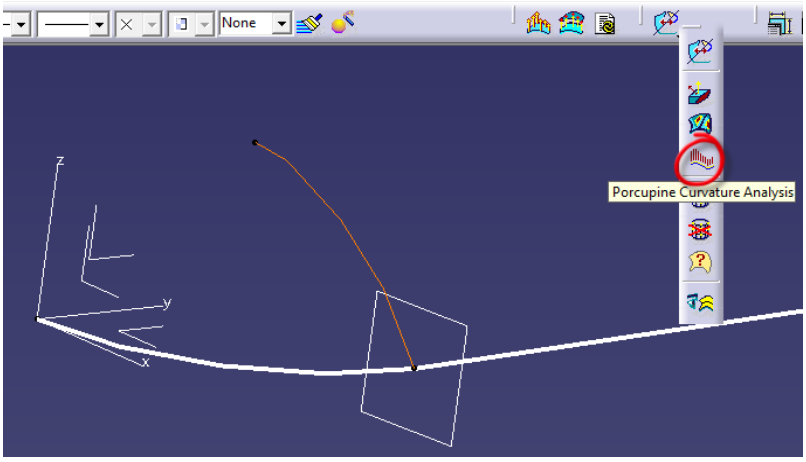
Szkic zorientowany względem płaszczyzny *zy*, należącej do kartezjańskiego układu współrzędnych, przedstawiono na rysunku 2.1.14.



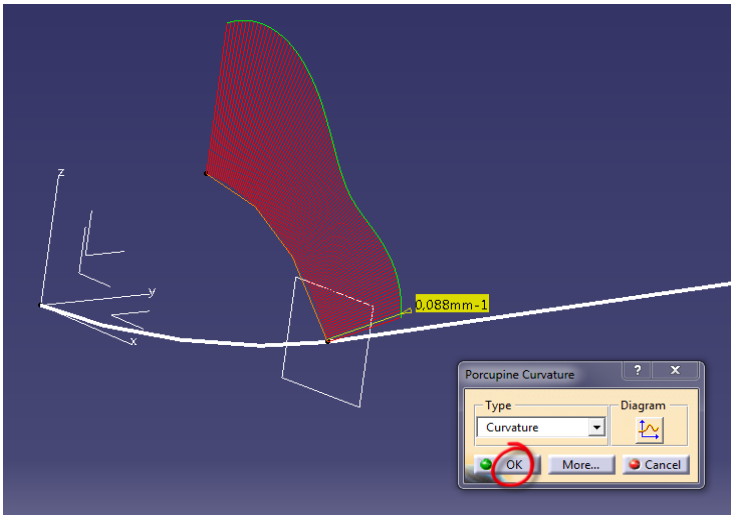
Rys. 2.1.14. Spozycjonowany szkic

2.1.2. Analiza krzywych elementarnych geometrii otwieracza

Szkic poddano analizie przy użyciu narzędzia *Porcupine Curvature Analysis* . Polecenie *Porcupine Curvature* zastosowano w celu zidentyfikowania miejsc niedopuszczalnych zmian charakteru krzywizn, które są niemożliwe do uchwycenia oraz zlokalizowania okiem ludzkim. Zastosowane narzędzie pozwoliło stwierdzić, czy analizowana krzywa posiadała błędy geometryczne oraz określiła ich wartość oraz położenie na krzywej. Lokalizację narzędzia *Porcupine Curvature Analysis* zaprezentowano na rysunku 2.1.15, natomiast wynik analizy na rysunku 2.1.16.

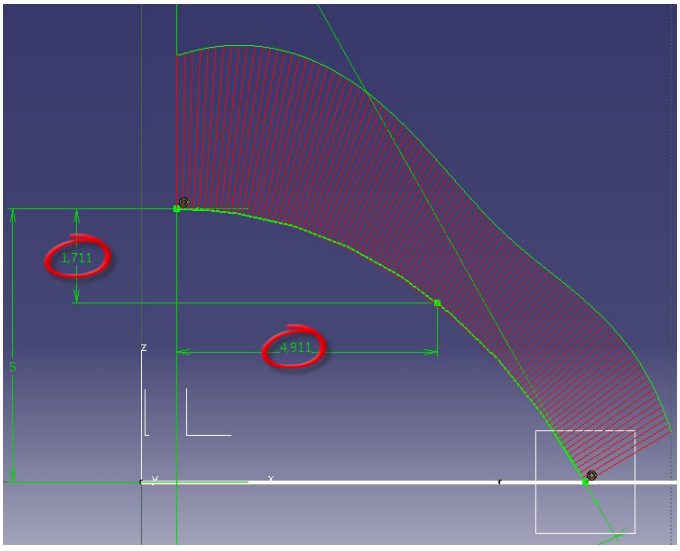


Rys. 2.1.15. Lokalizacja narzędzia *Porcupine Curvature Analysis*



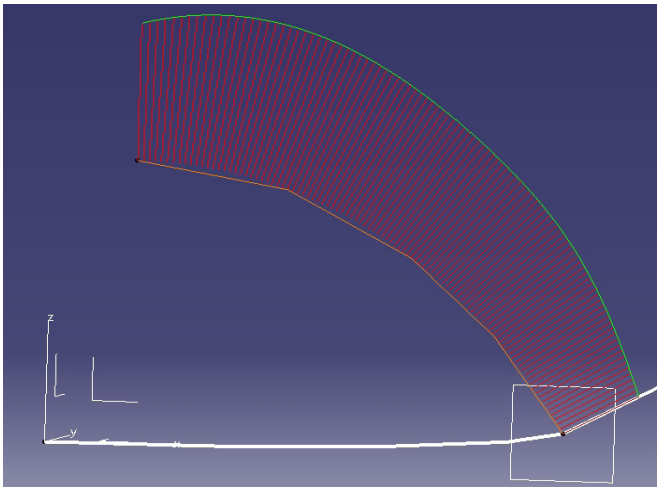
Rys. 2.1.16. Analiza przebiegu krzywizny linii

Założono, że wszystkie sekcje poprzeczne otwieracza spełniają ciągłość krzywizny typu G2 i ich przebieg na całej długości nie zmienia znaku [9]. Przeprowadzona analiza wykazała zmianę znaku krzywizny linii, co oznacza wgłębienie w pobliżu punktu środkowego. Dla opisywanego przypadku taka sytuacja jest niedopuszczalna, należy zatem zmodyfikować wykonaną linię. W celu poprawy przebiegu krzywizny linię utwierdzono poprzez wprowadzenie dwóch relacji wymiarowych – rysunek 2.1.17.



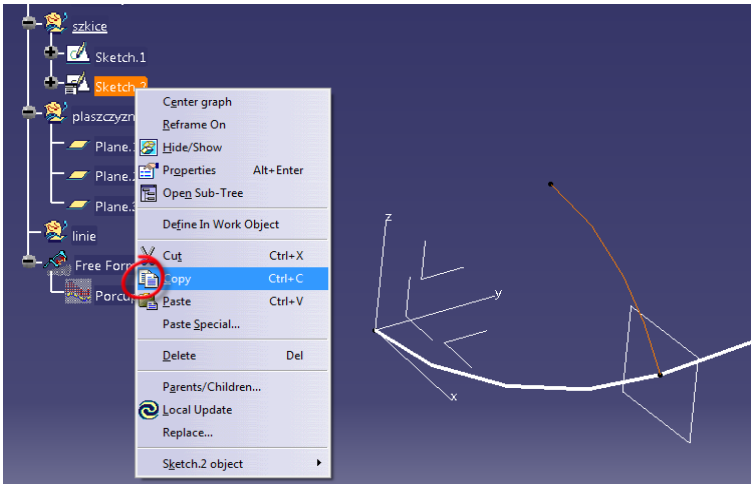
Rys. 2.1.17. Wymiary liniowe

Należy podkreślić, że szkic został w pełni zwymiarowany (odebrane mu zostały wszystkie stopnie swobody), o czym świadczy jego podświetlenie przez program na kolor zielony. Po opuszczeniu środowiska szkicownika wykres przebiegu charakteru krzywej zaktualizowano przy użyciu kombinacji klawiszy Ctrl + U (*Update All*). Prawidłowy przebieg krzywizny linii typu *Spline* zaprezentowano na rysunku 2.1.18.

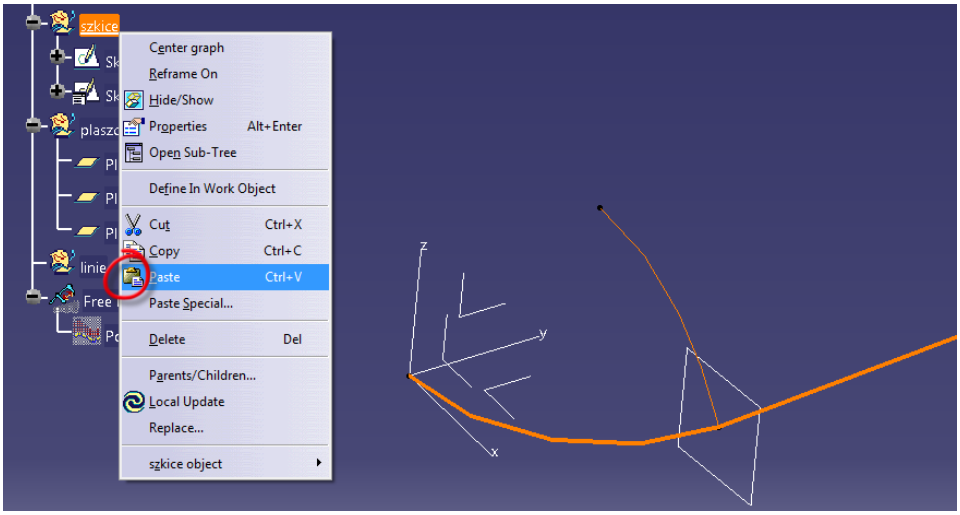


Rys. 2.1.18. Przebieg krzywizny linii

W celu zoptymalizowania czasu modelowania kolejny zarys stworzono na podstawie istniejącego szkicu. *Sketch.2* został skopiowany i wklejony do sekcji geometrycznej *szkice* zgodnie z rysunkami: 2.1.19 oraz 2.1.20.

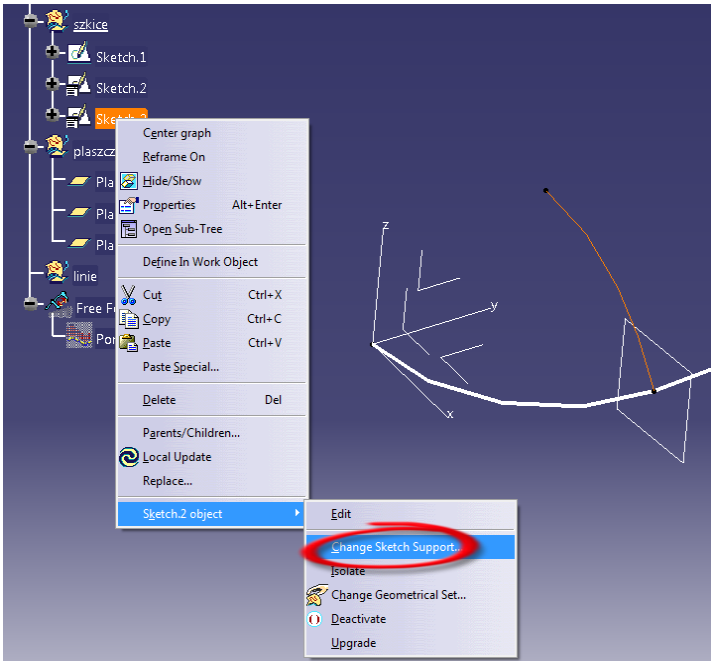


Rys. 2.1.19. Kopia szkicu – krok 1

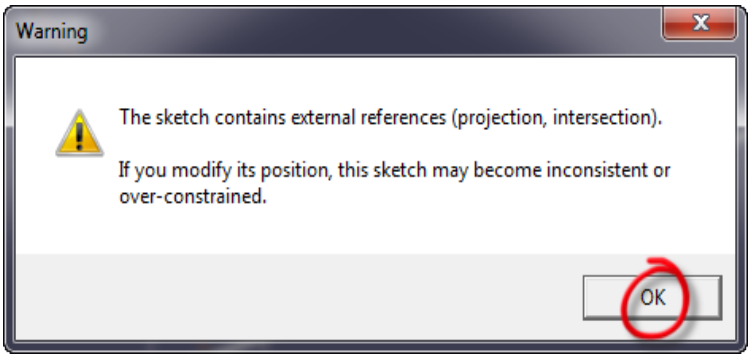


Rys. 2.1.20. Kopia szkicu – krok 2

Nowy zarys został umieszczony na płaszczyźnie szkicu *Sketch.2* i po skopiowaniu należało go przypisać do odpowiedniej płaszczyzny (kolejna płaszczyzna na linii prowadzącej). W tym celu wybrano opcję *Change Sketch Support* zgodnie z rysunkiem 2.1.21.

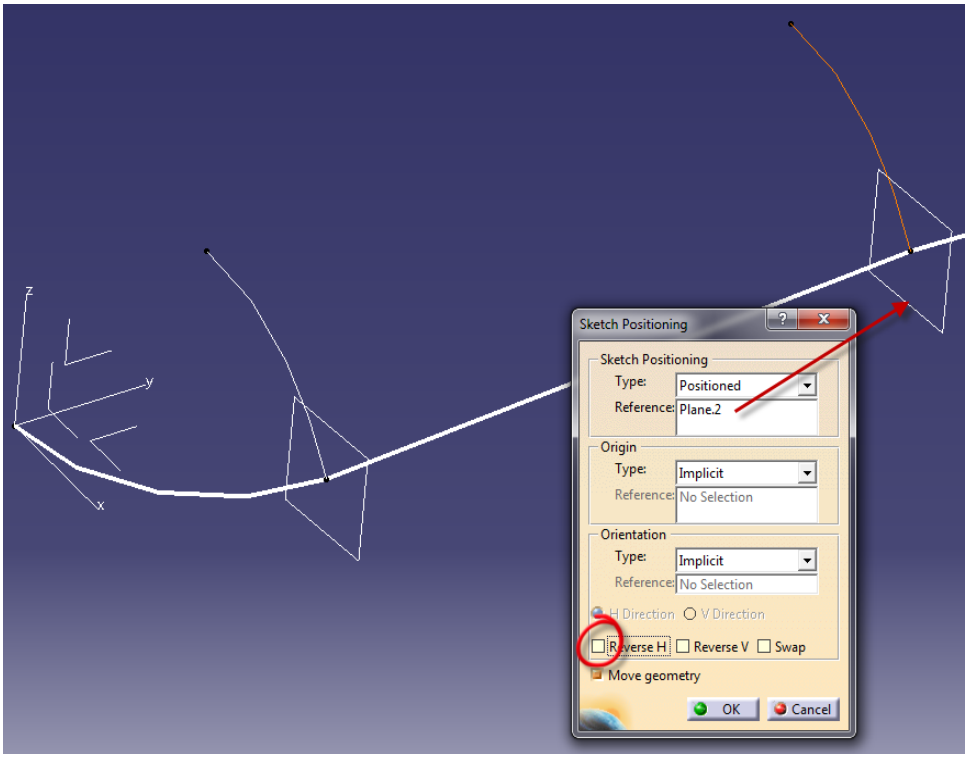


Rys. 2.1.21. Model powierzchniowy wspornika



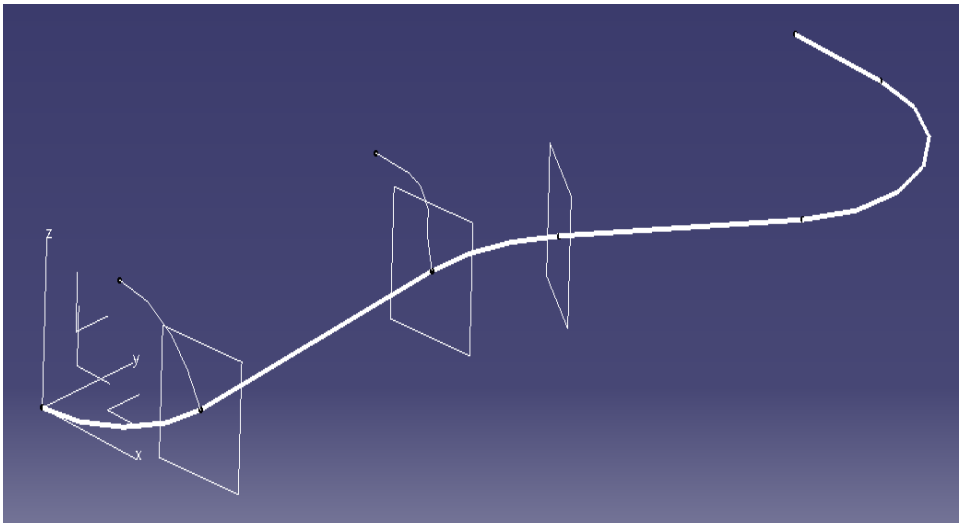
Rys. 2.1.22. Okno z komunikatem ostrzegawczym

Po zatwierdzeniu okna dialogowego z ostrzeżeniem (rys. 2.1.22), zdefiniowano opcję *Reference* na *Plane.2* oraz odznaczono pozycję *Reverse H* w oknie *Sketch Positioning*, zgodnie z rysunkiem 2.1.23.



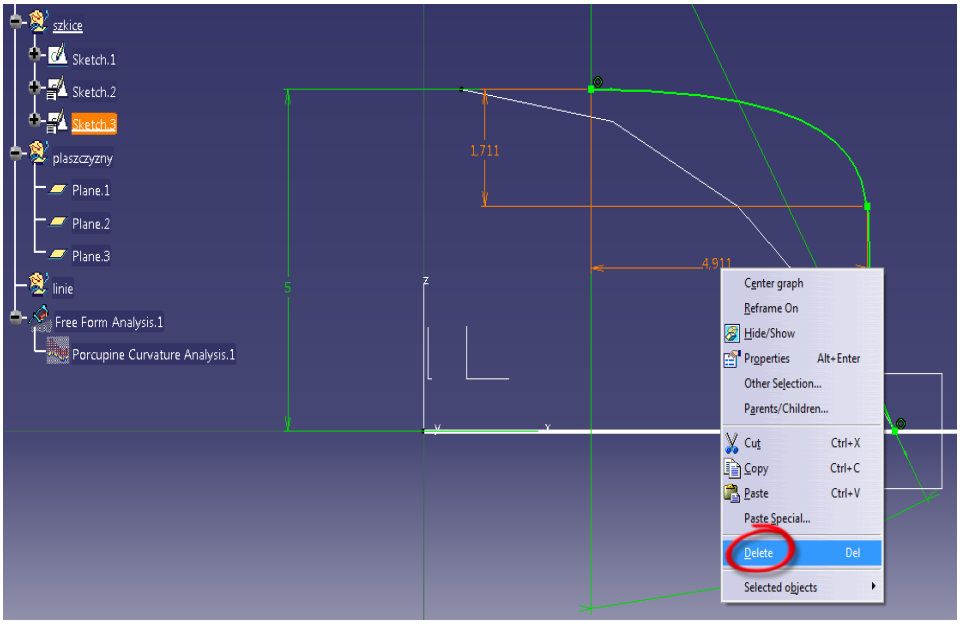
Rys. 2.1.23. Płaszczyzna odniesienia szkicu

Po zaakceptowaniu okna dialogowego narzędzia skopiowany szkic znalazł się na drugiej płaszczyźnie pomocniczej zgodnie z rysunkiem 2.1.24.



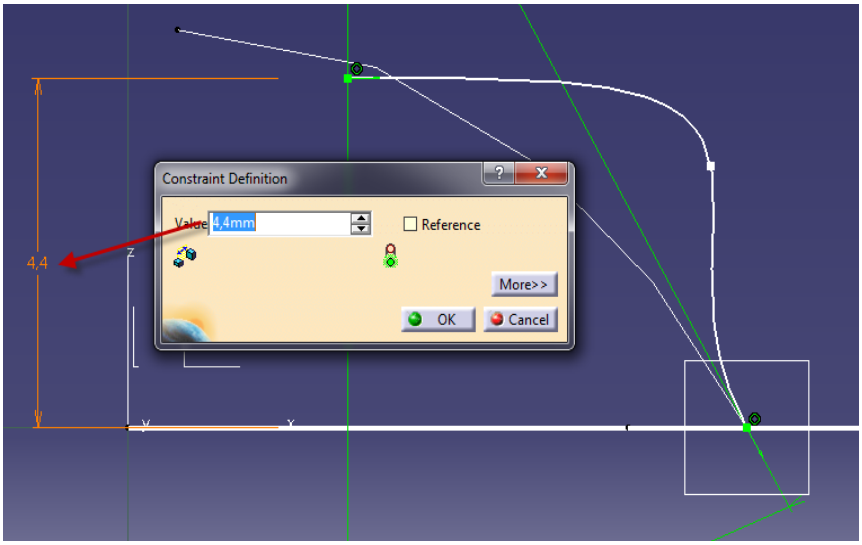
Rys. 2.1.24. Geometria modelu

Zmodyfikowano skopiowany szkic, poprzez usunięcie dwóch wymiarów wyszczególnionych na rysunku 2.1.25.



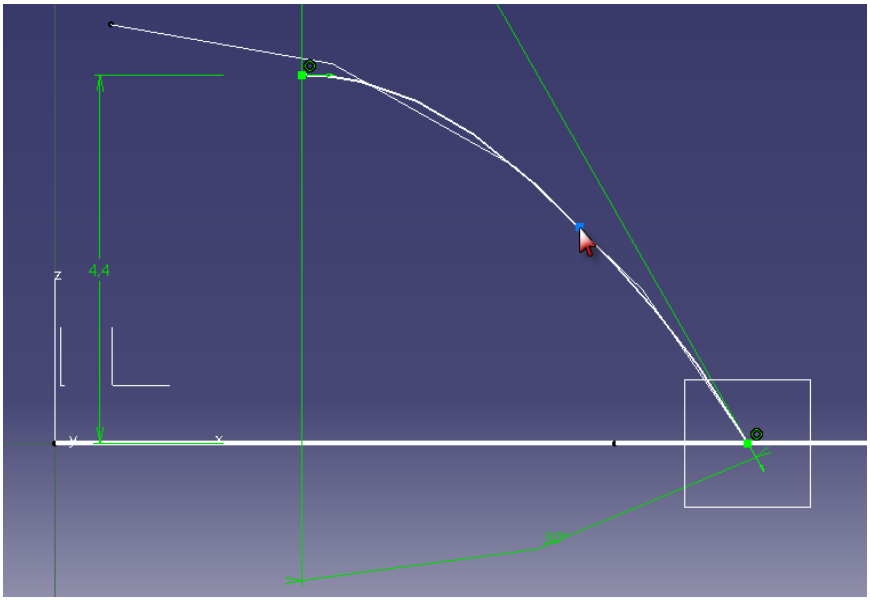
Rys. 2.1.25. Szkic przekroju – krok 1

Zmieniono wartość wymiaru pionowego na 4,4 mm (rys. 2.1.26).



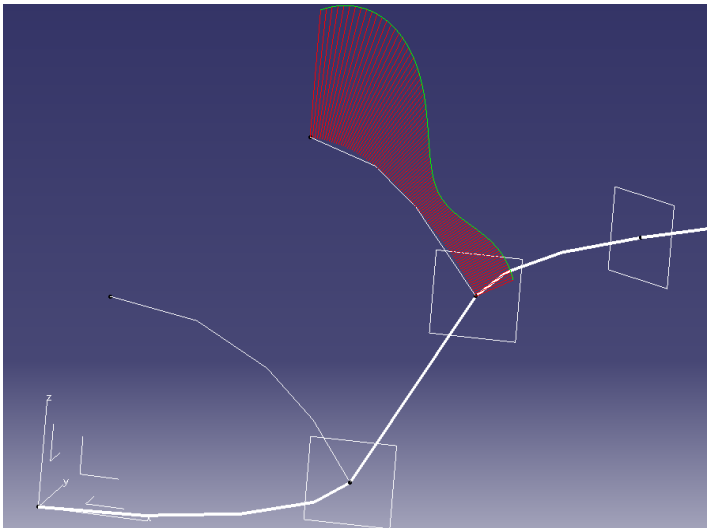
Rys. 2.1.26. Szkic przekroju – krok 2

Zmodyfikowano położenie punktu środkowego, przesuwając go zgodnie z rysunkiem 2.1.27.



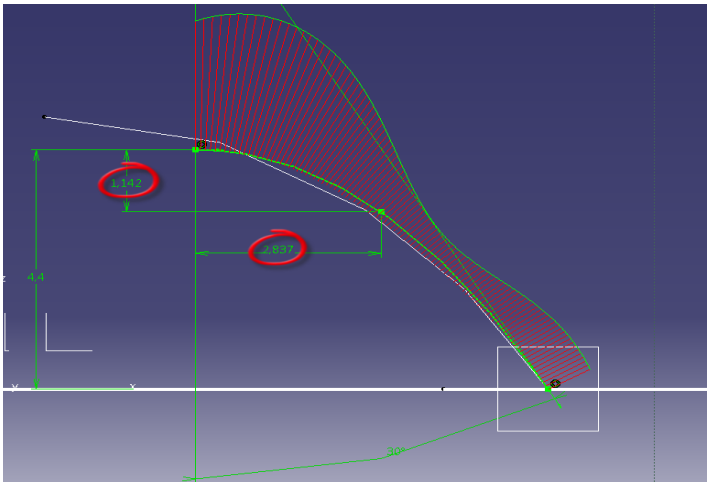
Rys. 2.1.27. Szkic przekroju – krok 3

Przeprowadzono analizę linii za pomocą narzędzia *Porcupine Curvature Analysis*, celem sprawdzenia poprawności jej wykonania i zapewnienia założonej ciągłości krzywizny. Przebieg charakteru krzywej zaprezentowano na rysunku 2.1.28. Szkic charakteryzował się ciągłością krzywizny G2, ale posiadał niepożądane lokalne miejsce, w którym krzywizna zmienia znak [9].



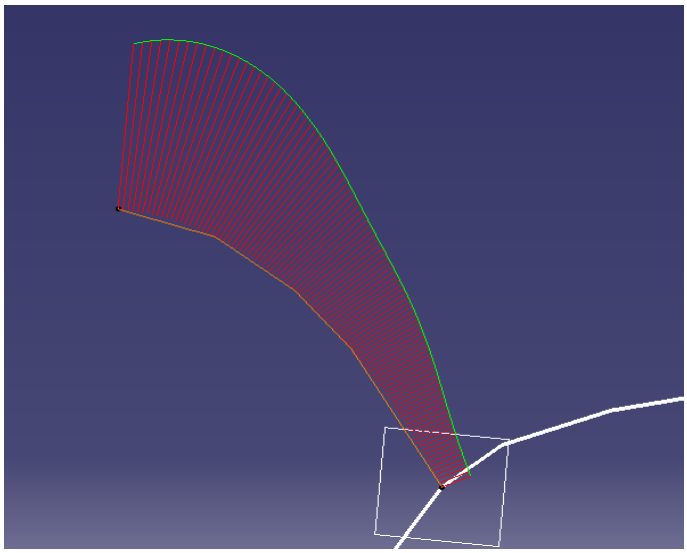
Rys. 2.1.28. Analiza przebiegu krzywizny

Z uwagi na defekt krzywej zmodyfikowano jej wymiary liniowe zgodnie z rysunkiem 2.1.29.



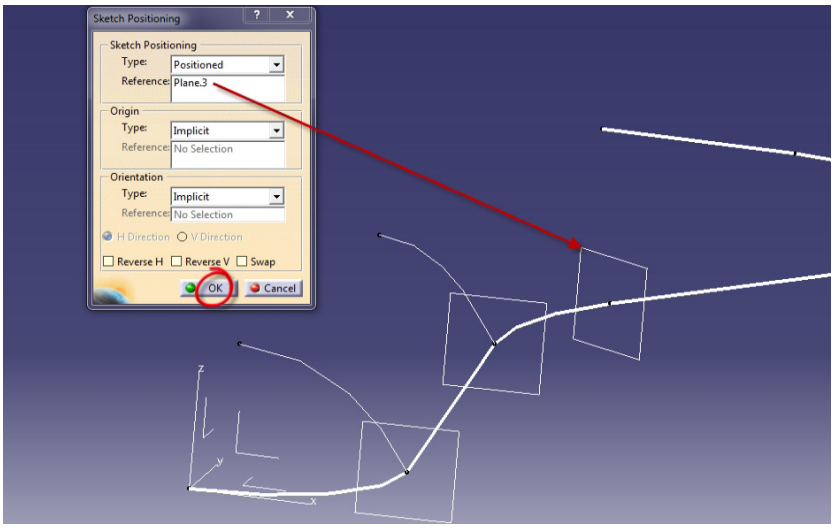
Rys. 2.1.29. Nowe wymiary liniowe krzywej

Efekt modyfikacji, która zapewniła stały znak krzywizny na całej długości linii, zaprezentowano na rysunku 2.1.30.



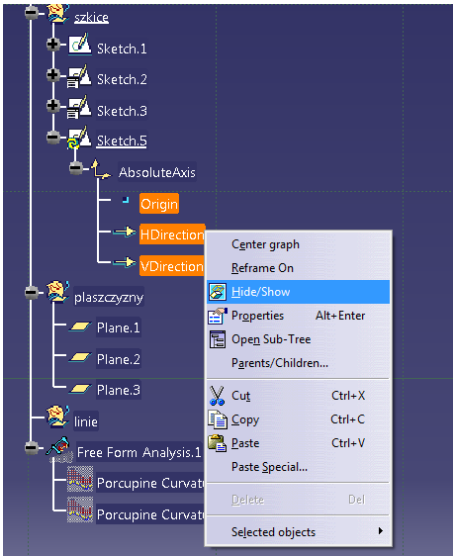
Rys. 2.1.30. Wynik analizy krzywizny drugiej sekcji poprzecznej

Wykonano zarys 2D na trzeciej płaszczyźnie pomocniczej. Do tego zadania wykorzystano narzędzie *Sketch Positioning* i zdefiniowano jego położenie zgodnie z rysunkiem 2.1.31.



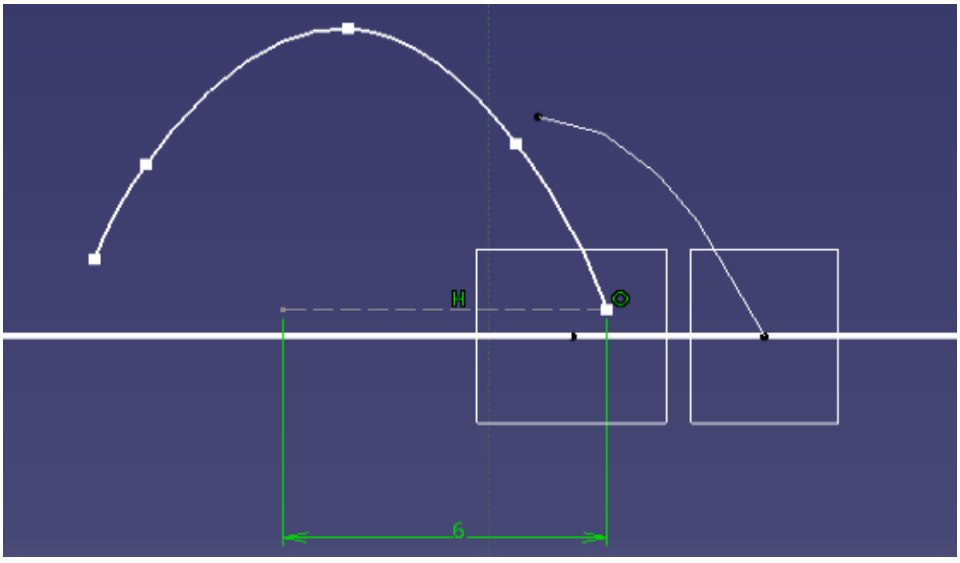
Rys. 2.1.31. Model powierzchniowy wspornika

Analogicznie, jak w przypadku wcześniej wykonywanego szkicu, ukryto układ współrzędnych szkicu – rysunek 2.1.32.



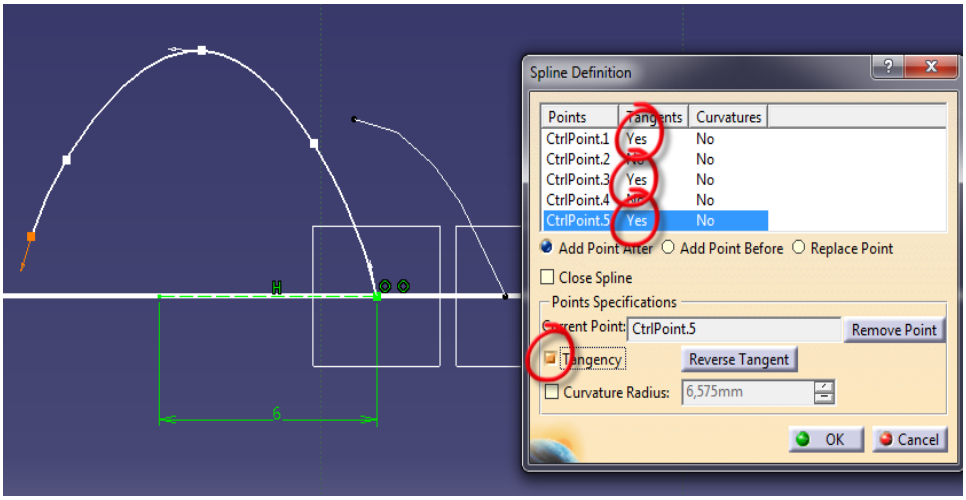
Rys. 2.1.32. Układ odniesienia szkicu

Stworzono krzywą typu *Spline* zgodnie z rysunkiem 2.1.33.



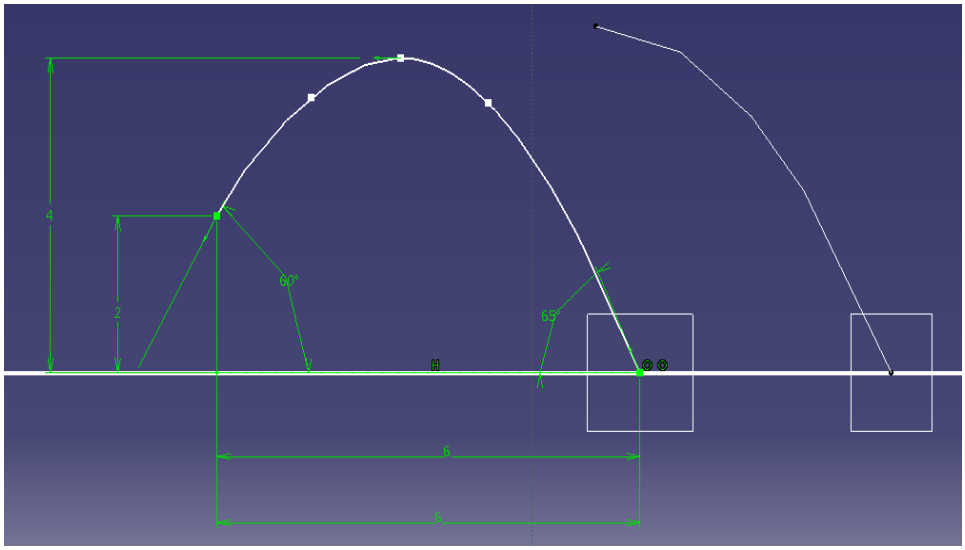
Rys. 2.1.33. Zarys sekcji

W celu odpowiedniego ukształtowania krzywej typu *Spline* zdefiniowano wektory styczności w trzech punktach linii – rysunek 2.1.34.



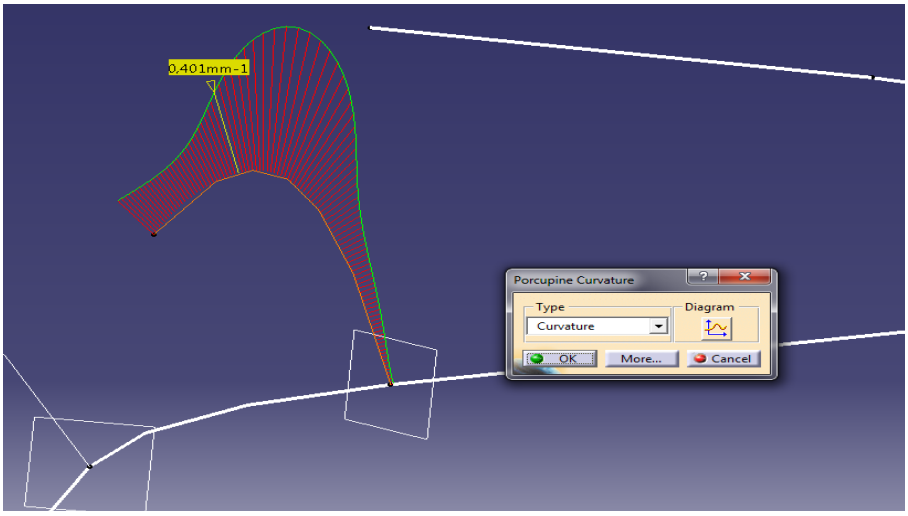
Rys. 2.1.34. Wektory styczności linii typu *Spline*

Wektory te stanowiły bazę do ukształtowania geometrii krzywej za pomocą więzów wymiarowych, co przedstawiono na rysunku 2.1.35.



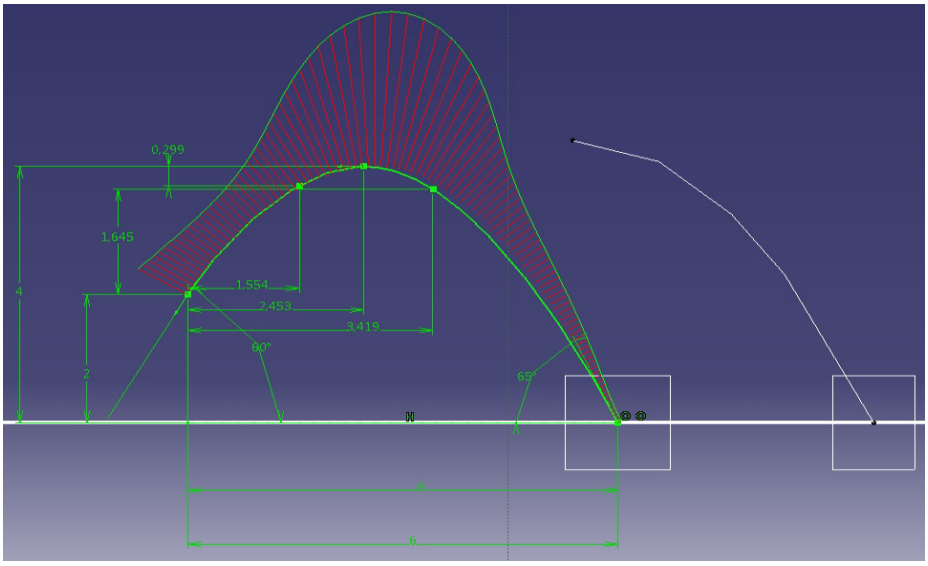
Rys. 2.1.35. Relacje wymiarowe krzywej

W celu weryfikacji przebiegu krzywizny, analogicznie jak wcześniej szkic poddano analizie. Jej wynik zaprezentowano na rysunku 2.1.36.



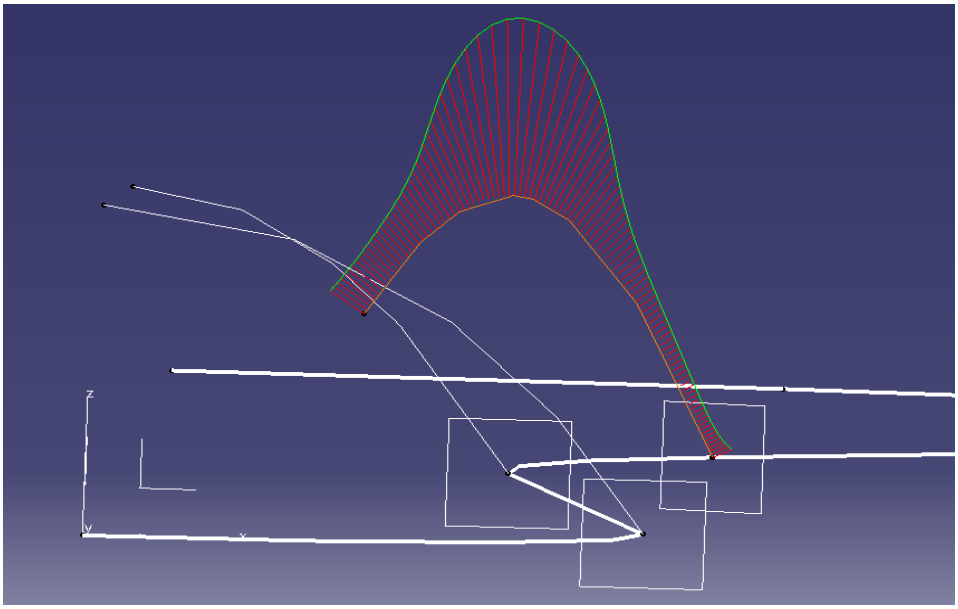
Rys. 2.1.36. Analiza przebiegu linii

Kształt linii posiadał zmianę znaku krzywizny w dwóch punktach i wymagał poprawy poprzez zmianę wymiarów – rysunek 2.1.37.



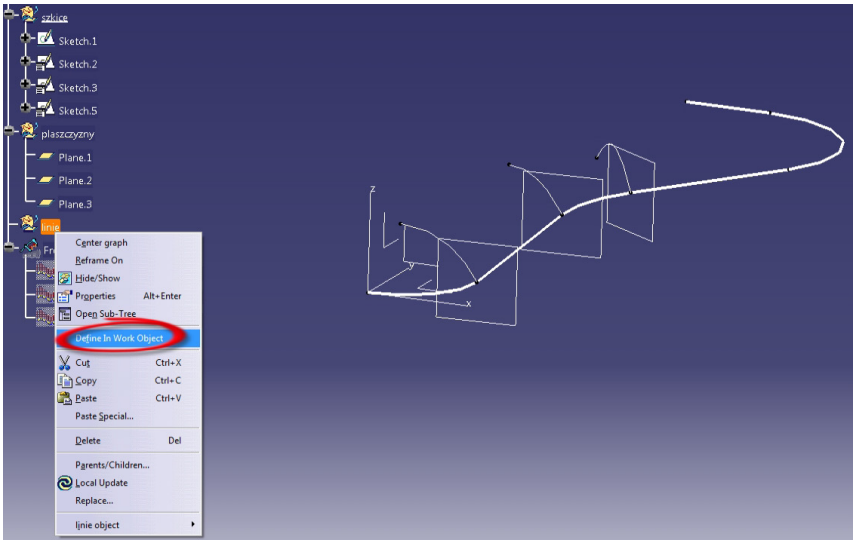
Rys. 2.1.37. Utwierdzony szkic

Ostateczny kształt linii zaprezentowano na rysunku 2.1.38.



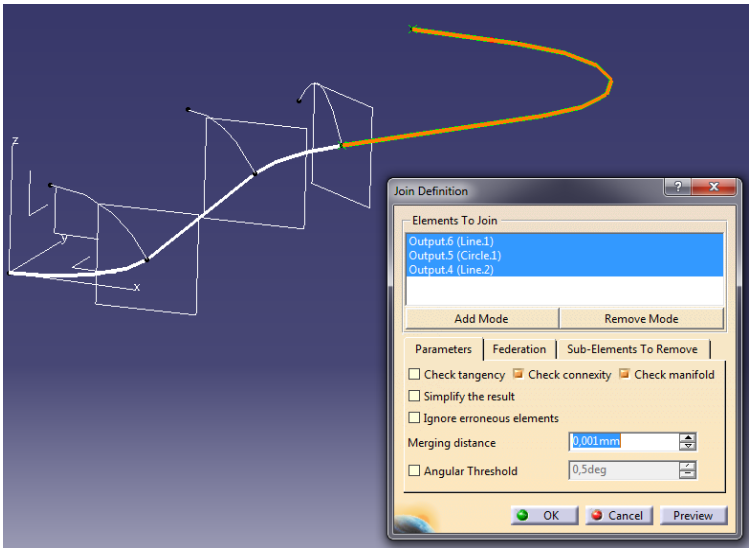
Rys. 2.1.38. Przebieg krzywizny linii

Po zakończeniu analizy krzywych zmieniono obiekt pracy (*Work Object*) na *linie* – rysunek 2.1.39.



Rys. 2.1.39. Obiekt pracy

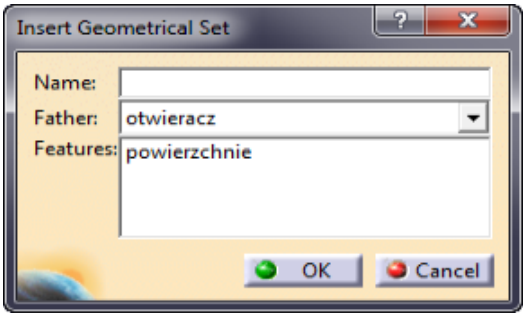
Wykonano linię prowadzącą poprzez połączenie trzech linii wyodrębnionych ze szkicu przy użyciu narzędzia *Join* – rysunek 2.1.40.



Rys. 2.1.40. Podział linii narzędziem *Join*

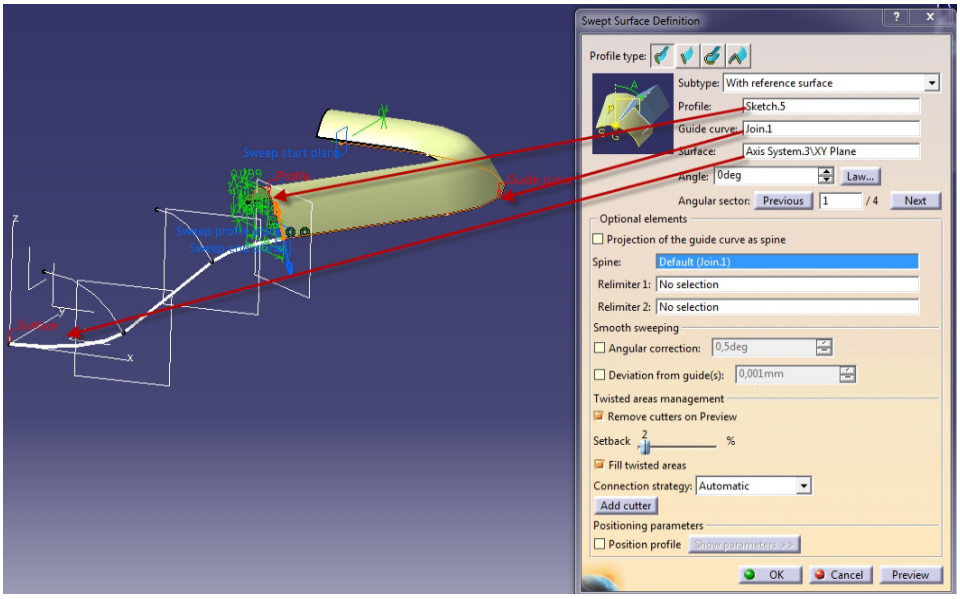
2.1.3. Powierzchnie elementarne otwieracza

Drzewo modelu rozbudowano o nową sekcję geometryczną o nazwie *powierzchnie* – rysunek 2.1.41.



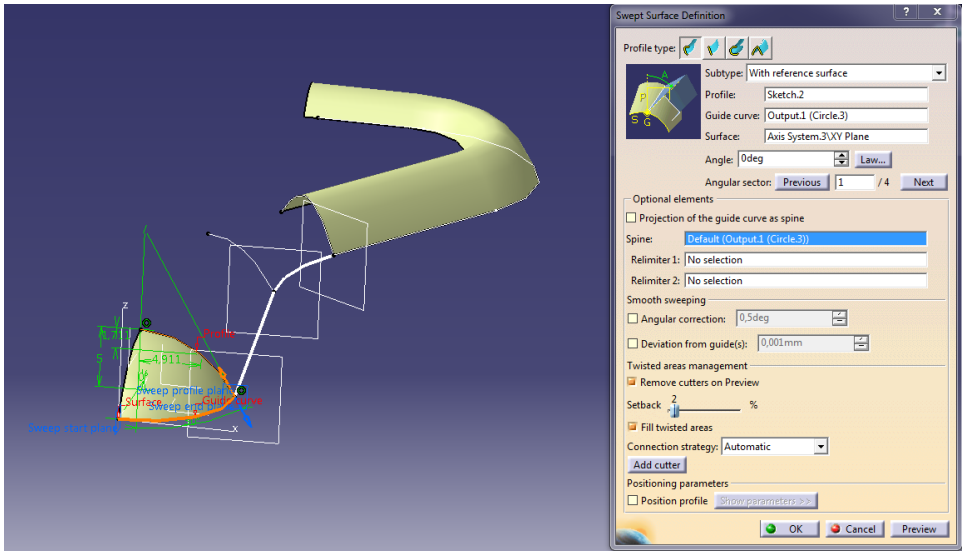
Rys. 2.1.41. Okno nowej sekcji geometrycznej

Pierwszą powierzchnię (w sekcji *powierzchnie*) wykonano za pomocą narzędzia *Swept* , które zdefiniowano zgodnie z rysunkiem 2.1.42.

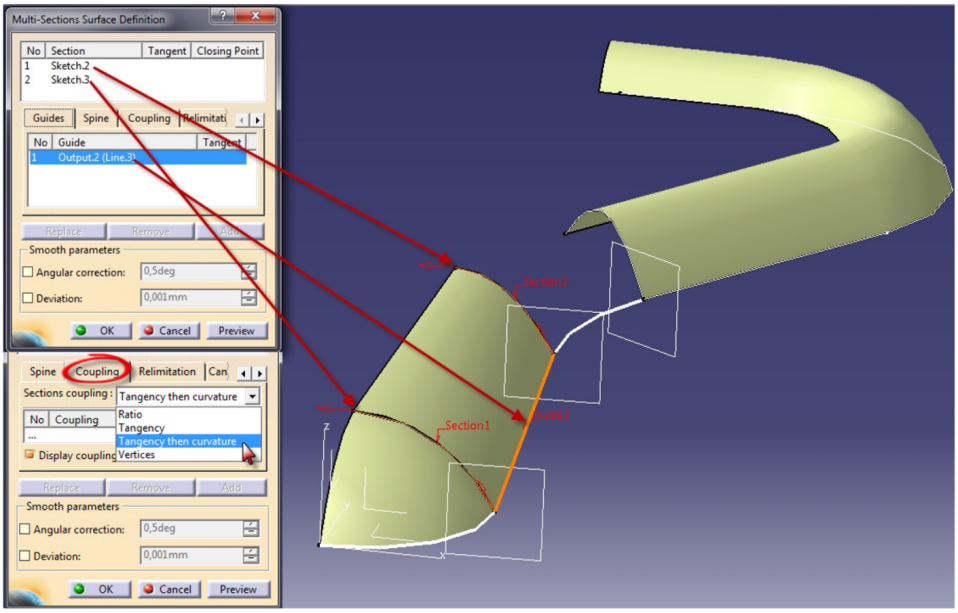


Rys. 2.1.42. Pierwsza powierzchnia typu *Swept*

Analogicznie, czyli przy zastosowaniu narzędzia *Swept*, powstała druga powierzchnia – rysunek 2.1.43. W celu wykonania kolejnej powierzchni wykorzystano narzędzie *Multi-Sections Surface* , które zdefiniowano zgodnie z rysunkiem 2.1.44.

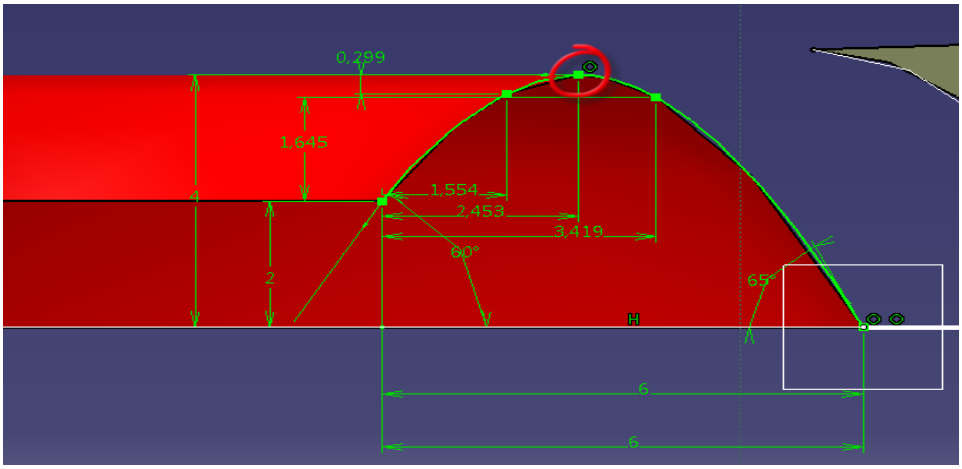


Rys. 2.1.43. Druga powierzchnia



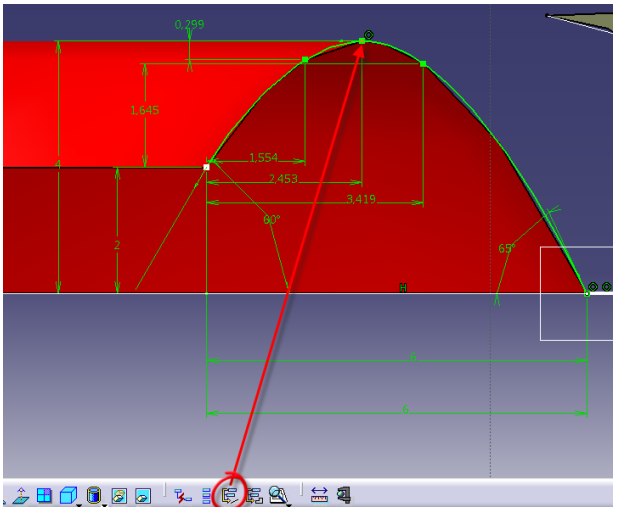
Rys. 2.1.44. Powierzchnia typu *Multi-Sections Surface*

Po wykonaniu powierzchni, wybrano i poddano edycji *Sketch.3*, w ramach czego wskazano dodatkowy punkt konstrukcyjny leżący na wierzchołku krzywej zgodnie z rysunkiem 2.1.45.



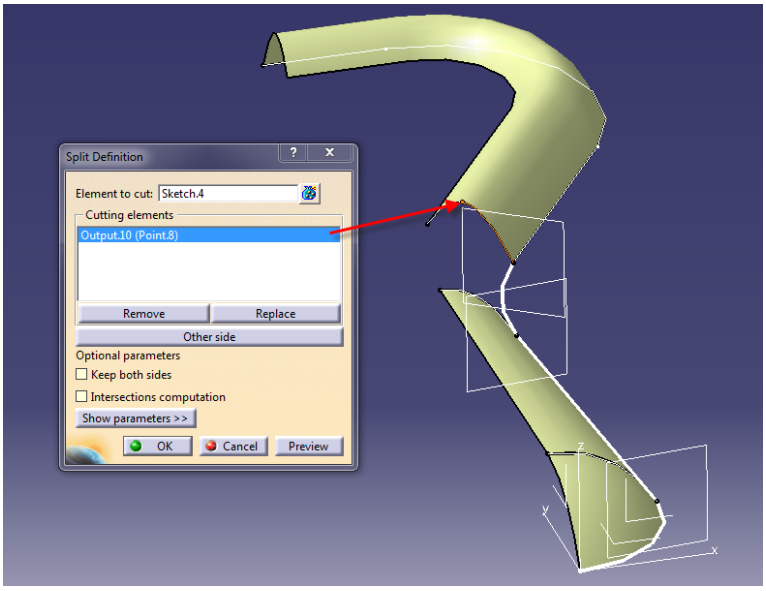
Rys. 2.1.45. Punkt konstrukcyjny w szkicu

Wybrany punkt wyeksportowano do środowiska 3D, wykorzystując do tego narzędzie *Output feature* – rysunek 2.1.46.



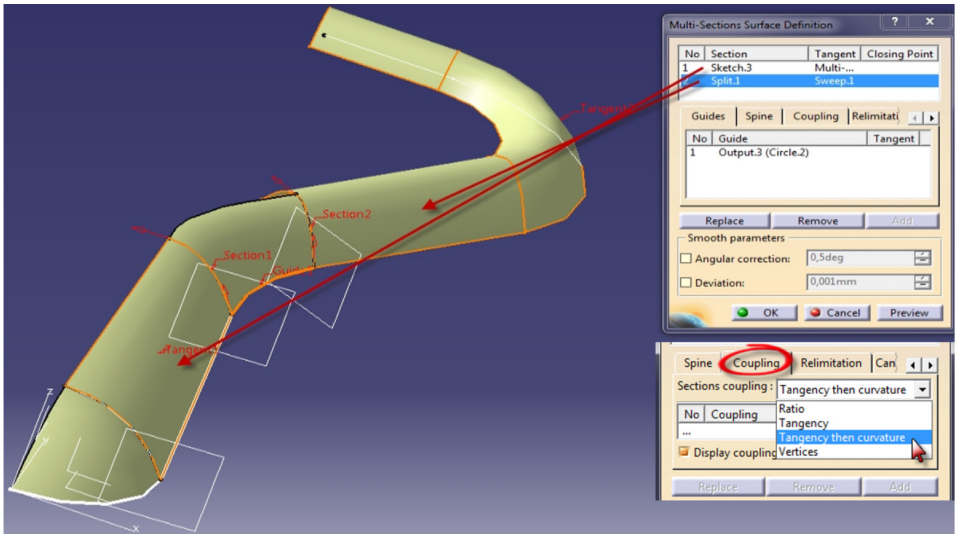
Rys. 2.1.46. Wyodrębniony punktu w szkicu

Wyodrębniony punkt został użyty do podziału krzywej *Sketch.4*. W tym celu wybrano narzędzie *Split* i zdefiniowano je zgodnie z rysunkiem 2.1.47



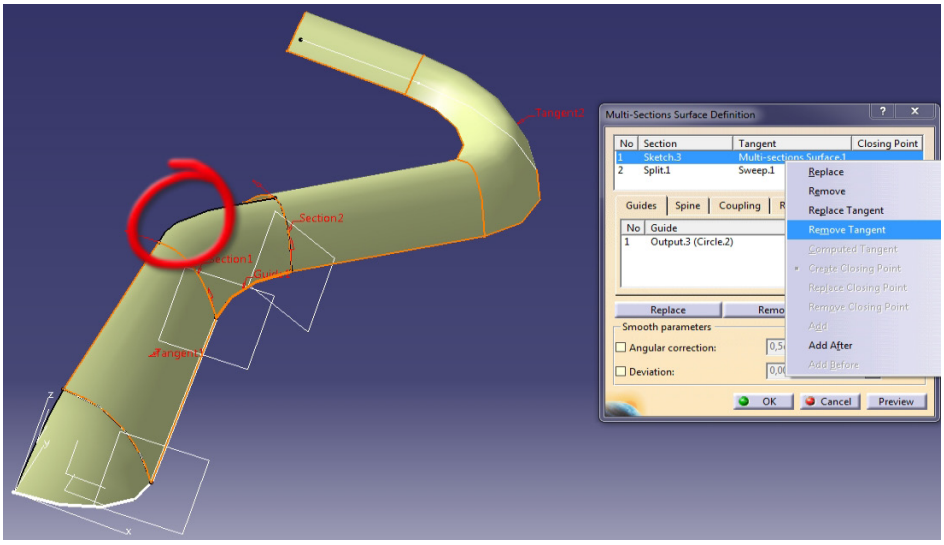
Rys. 2.1.47. Podział linii za pomocą punktu

Chcąc wykonać następną powierzchnię ponownie wybrano narzędzie *Multi-Sections Surface* i zdefiniowano je zgodnie z rysunkiem 2.1.48.



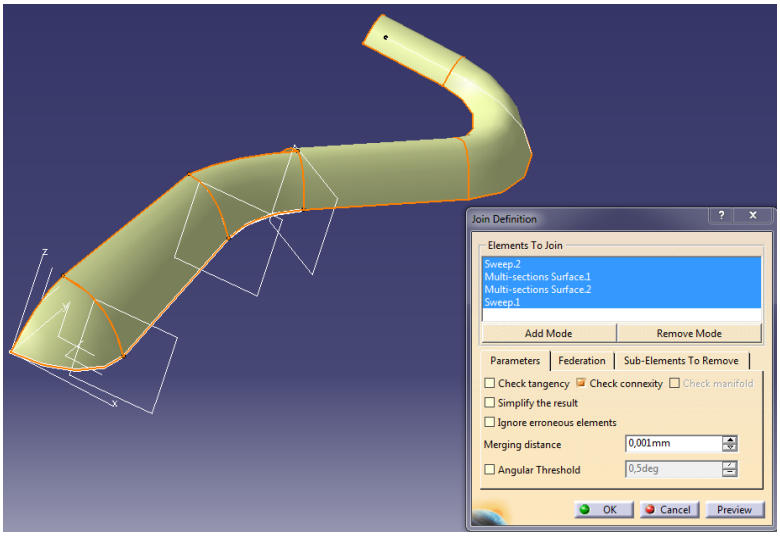
Rys. 2.1.48. Powierzchnia pomiędzy powierzchniami krok 1

Wykonana powierzchnia posiadała nieodpowiednią styczność, którą usunięto poprzez edycję powierzchni – rysunek 2.1.49 (płaszczyzna symetrii modelu przecinała fragment powierzchni).



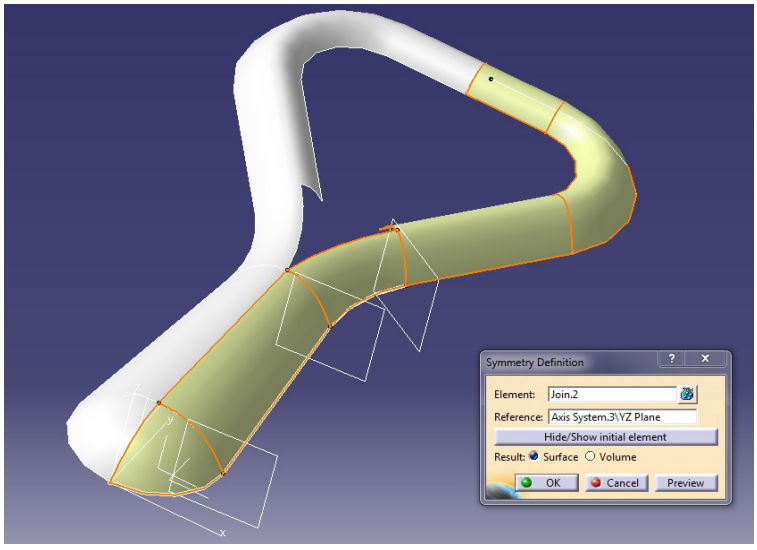
Rys. 2.1.49. Powierzchnia pomiędzy powierzchniami – krok 2

Przygotowaną powierzchnię scalono za pomocą narzędzia *Join* , zgodnie z rysunkiem 2.1.50.



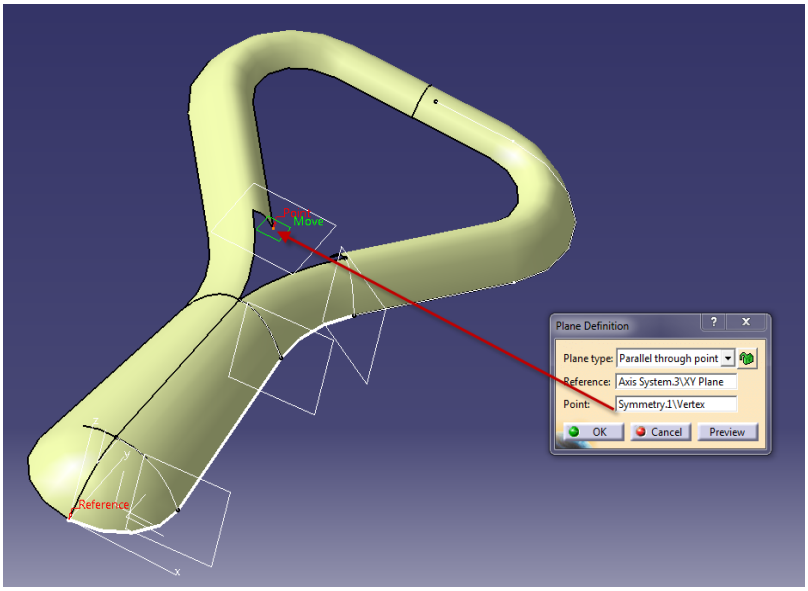
Rys. 2.1.50. Powierzchnia monolityczna

Uzyskana powierzchnia została powielona względem płaszczyzny symetrii obiektu przy wykorzystaniu narzędzia *Symmetry* . Efekt zrealizowanego zadania zaprezentowano na rysunku 2.1.51.

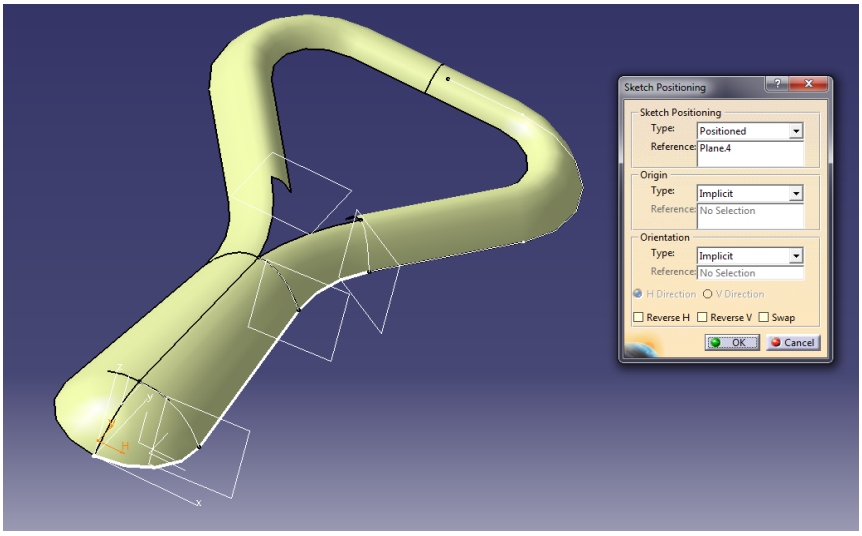


Rys. 2.1.51. Powierzchnia – odbicie symetryczne

Wykonano pozostałe płaszczyzny niezbędne do wygenerowania modelu powierzchniowego otwieracza. W tym celu stworzono dodatkową płaszczyznę (w dedykowanej sekcji geometrycznej), zgodnie z rysunkiem 2.1.52. Na stworzonej płaszczyźnie wykonano szkic spozycjonowany zgodnie z rysunek 2.1.53.

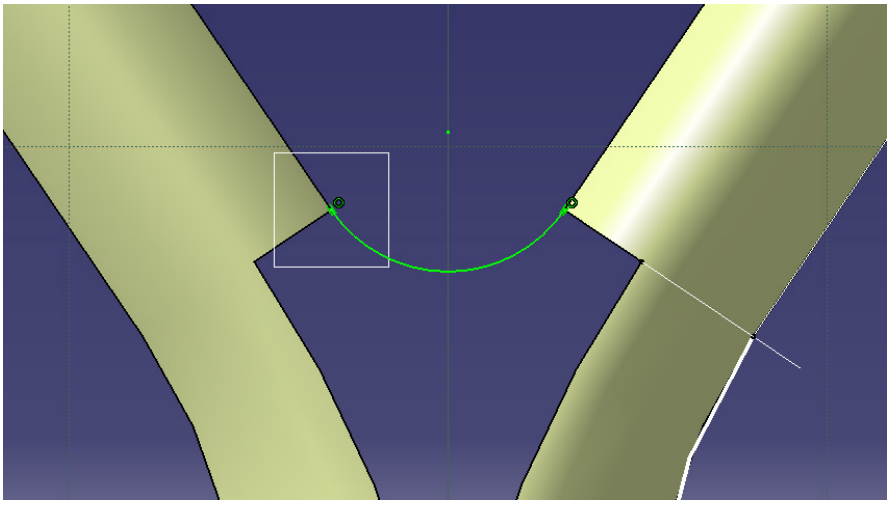


Rys. 2.1.52. Płaszczyzna pomocnicza



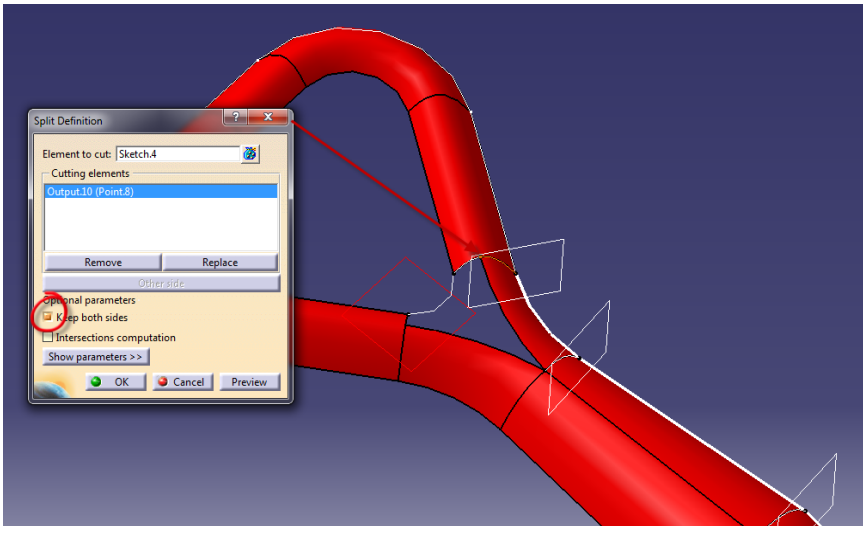
Rys. 2.1.53. Pozycja szkicu

W środowisku szkicownika wykonano łuk przejścia, który charakteryzował się tym, iż stykał się ze wskazanymi krawędziami powierzchni – rysunek 2.1.54.



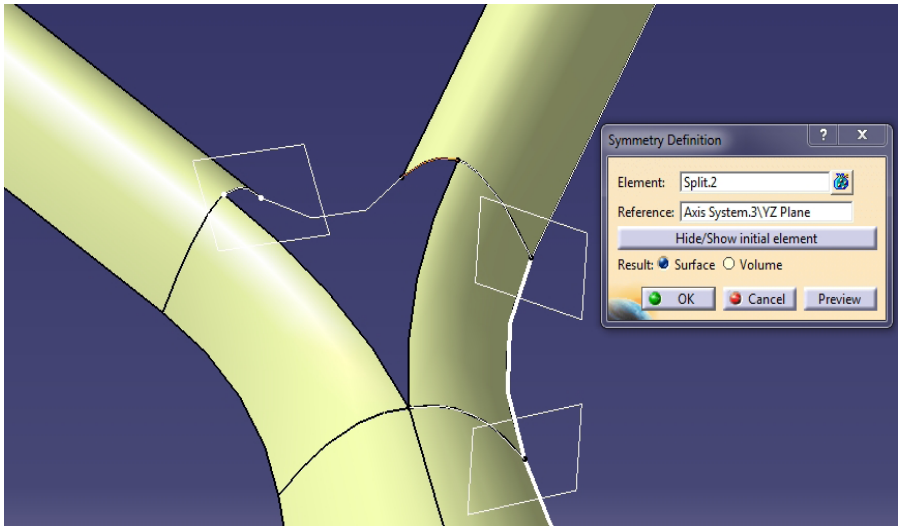
Rys. 2.1.54. Łuk łączący geometrię powierzchni

Aby zdefiniować kolejną powierzchnię niezbędne okazało się wygenerowanie dwóch dodatkowych linii. W tym celu zmodyfikowano istniejącą operację *Split.1*, wybierając w oknie dialogowym opcję *Keep both sides* i pozostawiając dwie przecięte linie – rysunek 2.1.55.



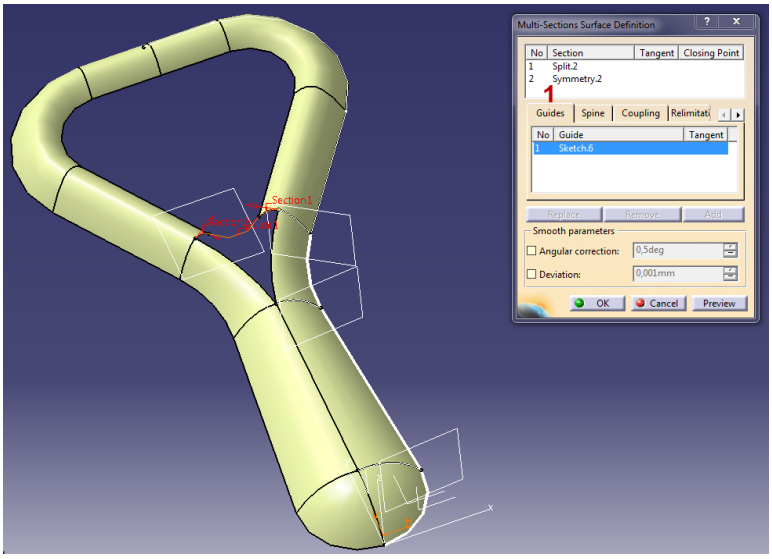
Rys. 2.1.55. Podział linii typu *Split.1*

Do wykonania drugiej linii wykorzystano narzędzie *Symmetry*, odbijając *Split.2* symetrycznie względem płaszczyzny *YZ* – rysunek 2.1.56.



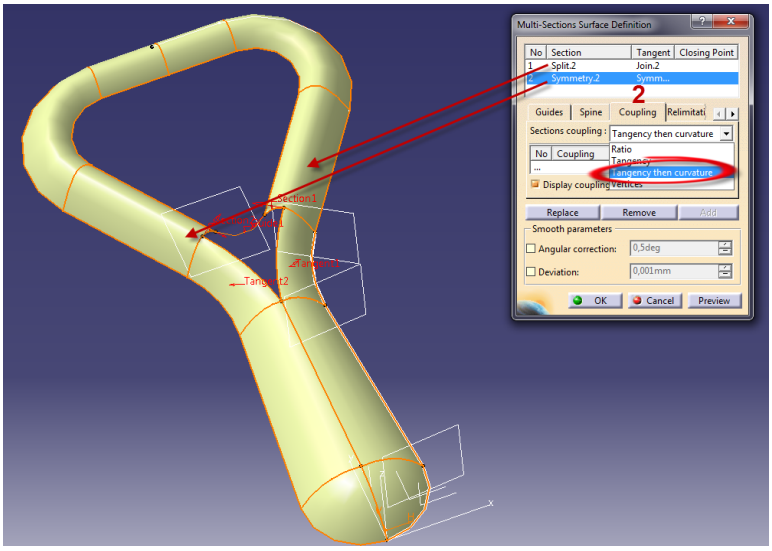
Rys. 2.1.56. Odbicie symetryczne linii

W celu przygotowania następnej powierzchni użyto narzędzie *Multi-Sections Surface* i zdefiniowano sekcje zgodnie z rysunkiem 2.1.57.



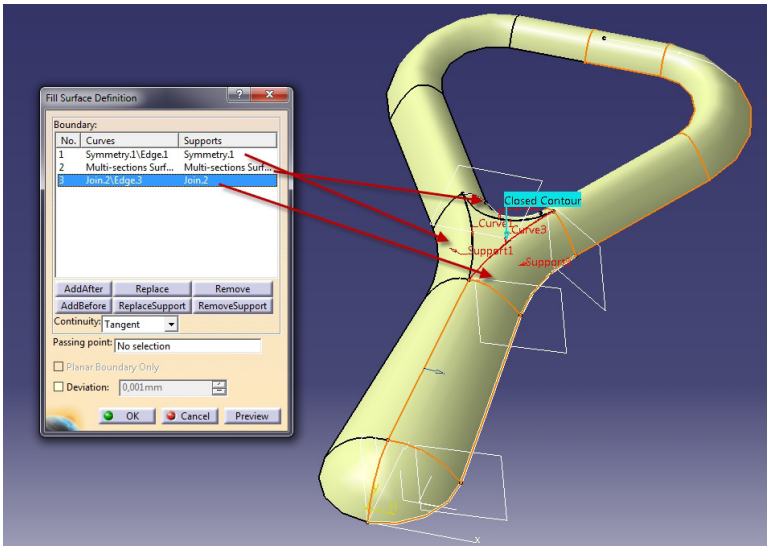
Rys. 2.1.57. Powierzchnia przejścia typu *Multi-Sections Surface* – krok 1

Podczas wyboru powierzchni w oknie sekcji wskazano styczne powierzchnie, tak jak to zaprezentowano na rysunku 2.1.58.



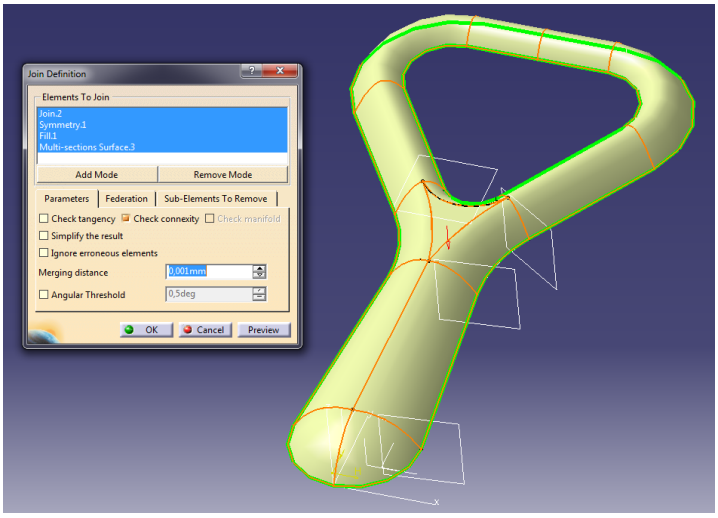
Rys. 2.1.58. Powierzchnia przejścia typu *Multi-Sections Surface* – krok 1

Powierzchnię górną zamykającą wykonano narzędziem *Fill*, które zdefiniowano zgodnie z rysunkiem 2.1.59 (tak jak wcześniej, konieczne było wskazanie powierzchni stycznych).



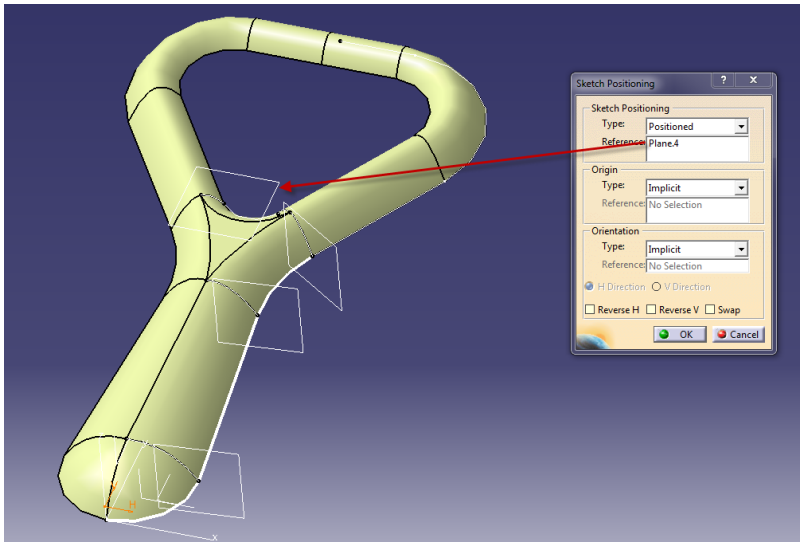
Rys. 2.1.59. Powierzchnia górna

Przygotowane elementy scalono w jedną powierzchnię. Do tego wykorzystano narzędzie *Join* i wybrano wszystkie powierzchnie, zgodnie z rysunkiem 2.1.60. Takie podejście umożliwiło uzyskanie ciągłej powierzchni monolitycznej klasy G2 o tolerancji < 0,001 mm.



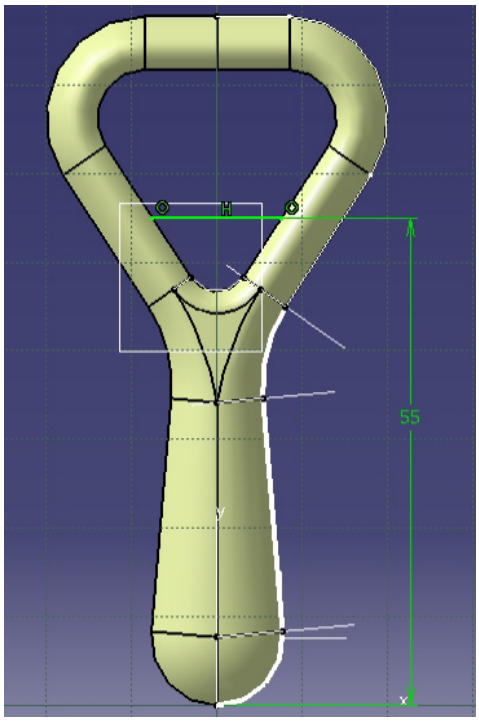
Rys. 2.1.60. Model powierzchniowy wspornika

Stworzono szkic na płaszczyźnie *Plane.4* – rysunek 2.1.61.



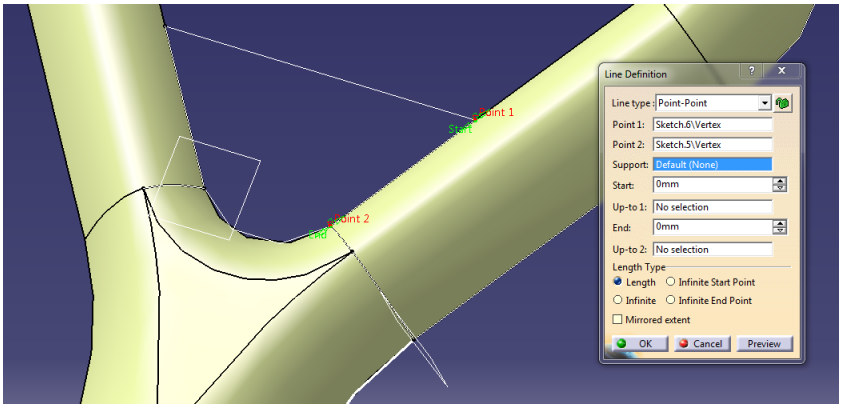
Rys. 2.1.61. Płaszczyzna pomocnicza nowego szkicu

Na wskazanej płaszczyźnie narysowano linię przylegającą do krawędzi powierzchni w odległości 55 mm od osi *x* układu odniesienia – rysunek 2.1.62.



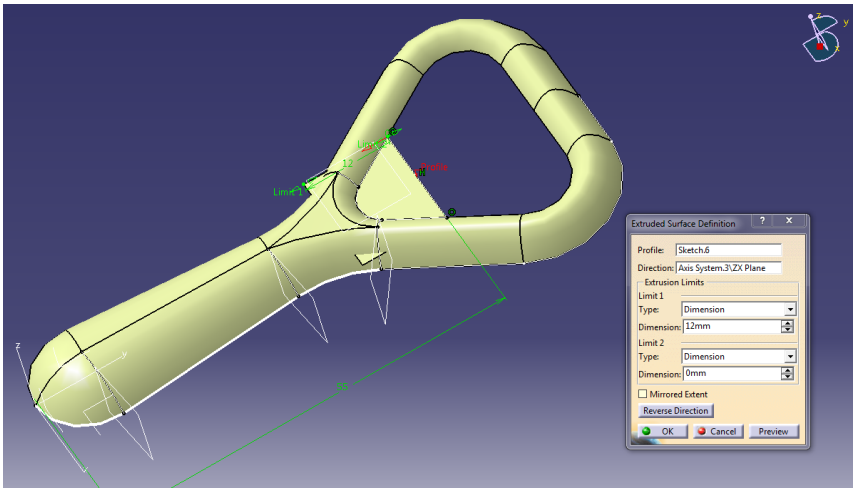
Rys. 2.1.62. Zdefiniowany szkic

Po zatwierdzeniu szkicu dorysowano pozostałe dwie linie w środowisku 3D. Do tego zadania wykorzystano narzędzie *Line* , zgodnie z rysunkiem 2.1.63.



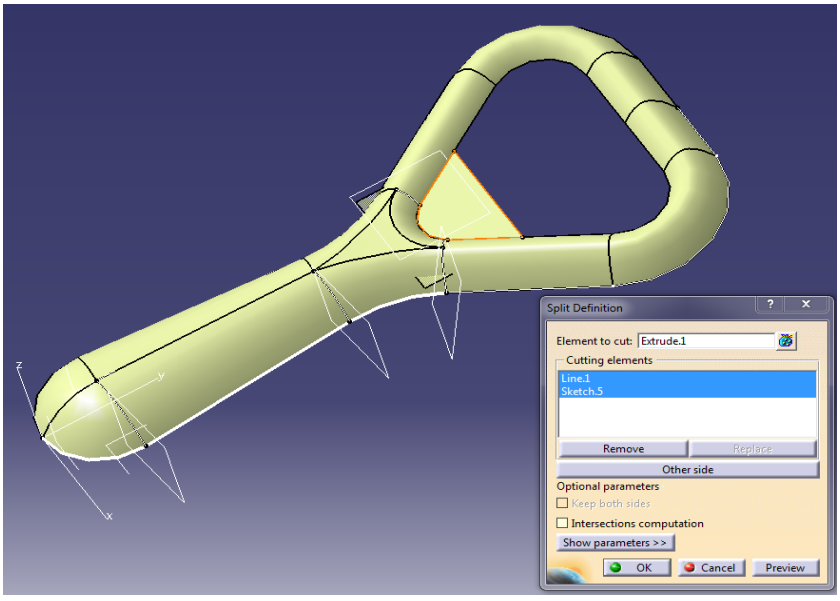
Rys. 2.1.63. Dwie linie typu *Line (Point-Point)*

Stworzono powierzchnię poprzez wyciągnięcie linii w płaszczyźnie *ZX* za pomocą narzędzia *Extrude* – rysunek 2.1.64.



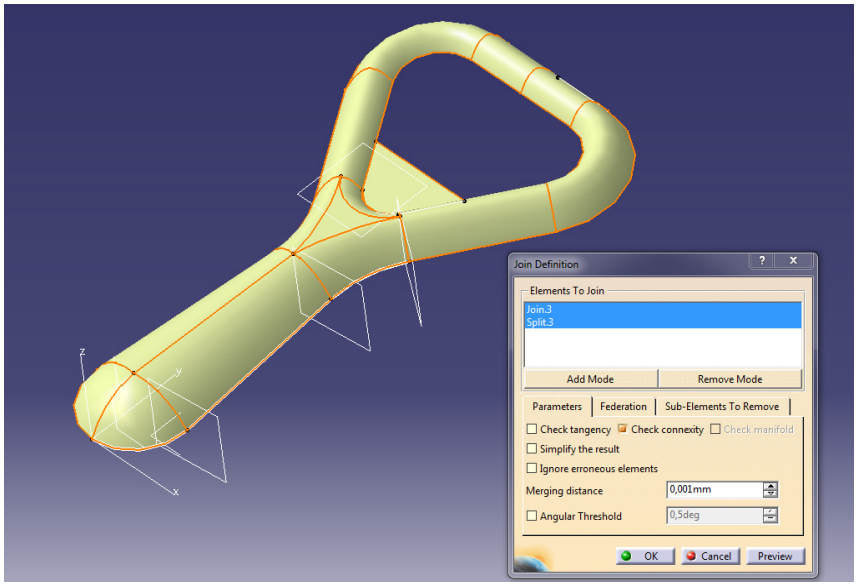
Rys. 2.1.64. Powierzchnia płaska

Tak wykonane wyciągnięcie docięto wcześniej stworzonym zarysem. Do tego zadania wykorzystano narzędzie *Split* i zdefiniowano elementy docięcia zgodnie z rysunkiem 2.1.65.



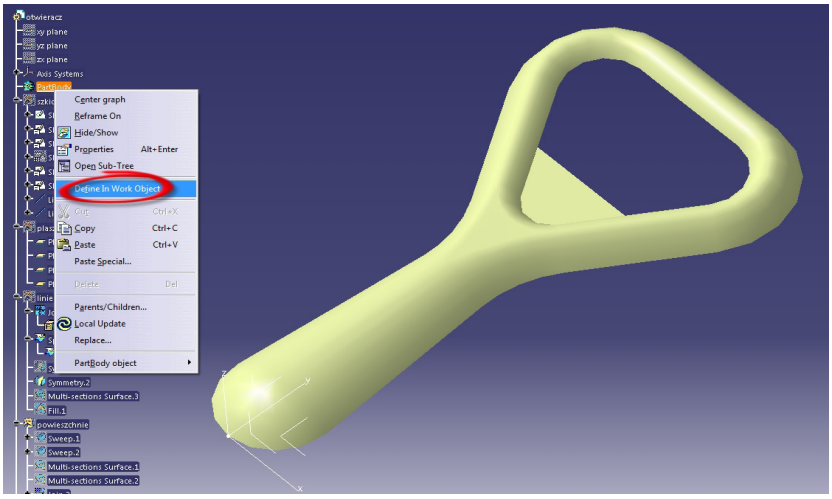
Rys. 2.1.65. Docięta powierzchnia

W celu otrzymania finalnego modelu powierzchniowego, przygotowane powierzchnie połączono w całość za pomocą narzędzia Join , zgodnie z rysunkiem 2.1.66.



Rys. 2.1.66. Połączona powierzchnia

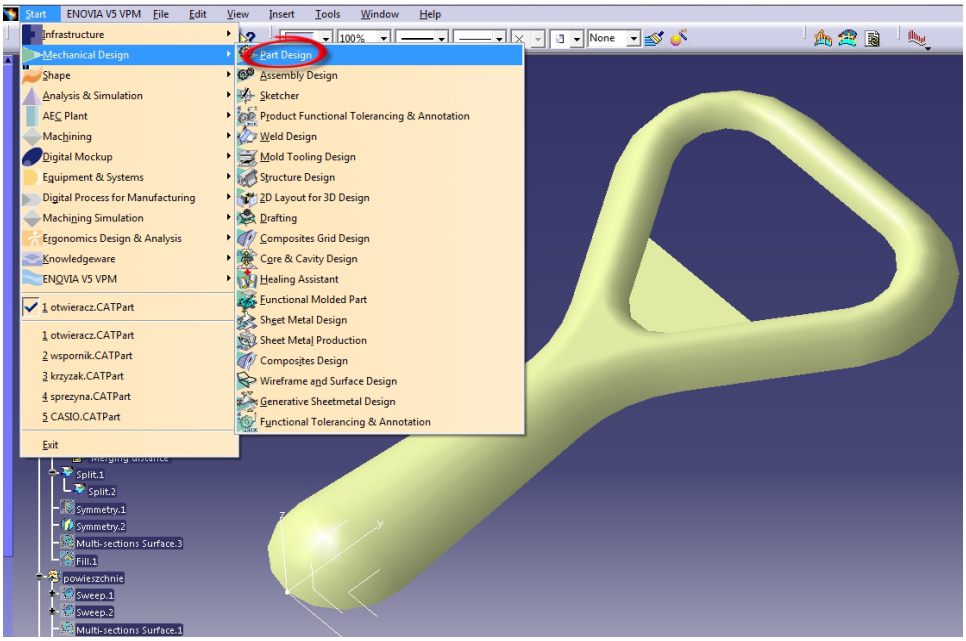
Etap ten kończył proces modelowania powierzchniowego. Zmieniony zostaje obszar roboczy na *Part Body* – rysunek 2.1.67.



Rys. 2.1.67. Obszar pracy *Part Body*

2.2. Model hybrydowy otwieracza

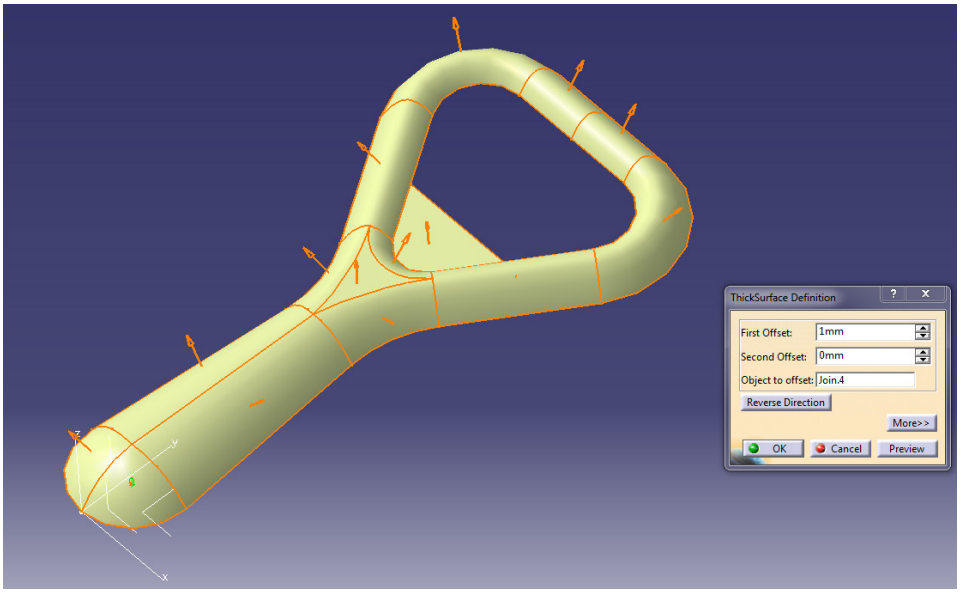
Model powierzchniowy zostanie wykorzystany do wygenerowania modelu bryłowego otwieracza. W tym celu zmieniono środowisko pracy systemu, wybierając moduł *Part Design*, służący do modelowania bryłowego, co zaprezentowano na rysunku 2.2.1.



Rys. 2.2.1. Lokalizacja modułu *Part Design*

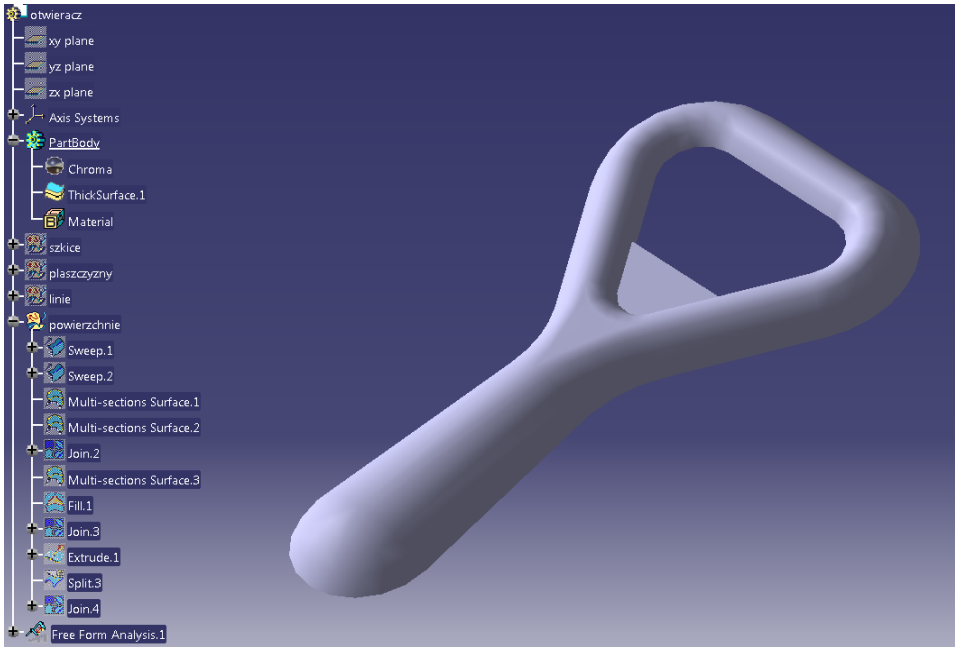
2.2.1. Obiekt bryłowy otwieracza

Model powierzchniowy stanowił geometrię bazową do wykonania modelu bryłowego otwieracza. Cienkościenny model bryłowy stworzono poprzez nadanie powierzchni grubości równej 1 mm, w kierunku zewnętrznym. W tym celu wybrano narzędzie *Thick Surface* i zdefiniowano grubość zgodnie z rysunkiem 2.2.2. Kierunek generowania struktury cienkościenny wynikał z technologii wykonania otwieracza. Bazowa wewnętrzna strona obiektu odpowiadała kształtowi stempla w procesie wytłaczania, a matryca została powiększona o grubość otwieracza.



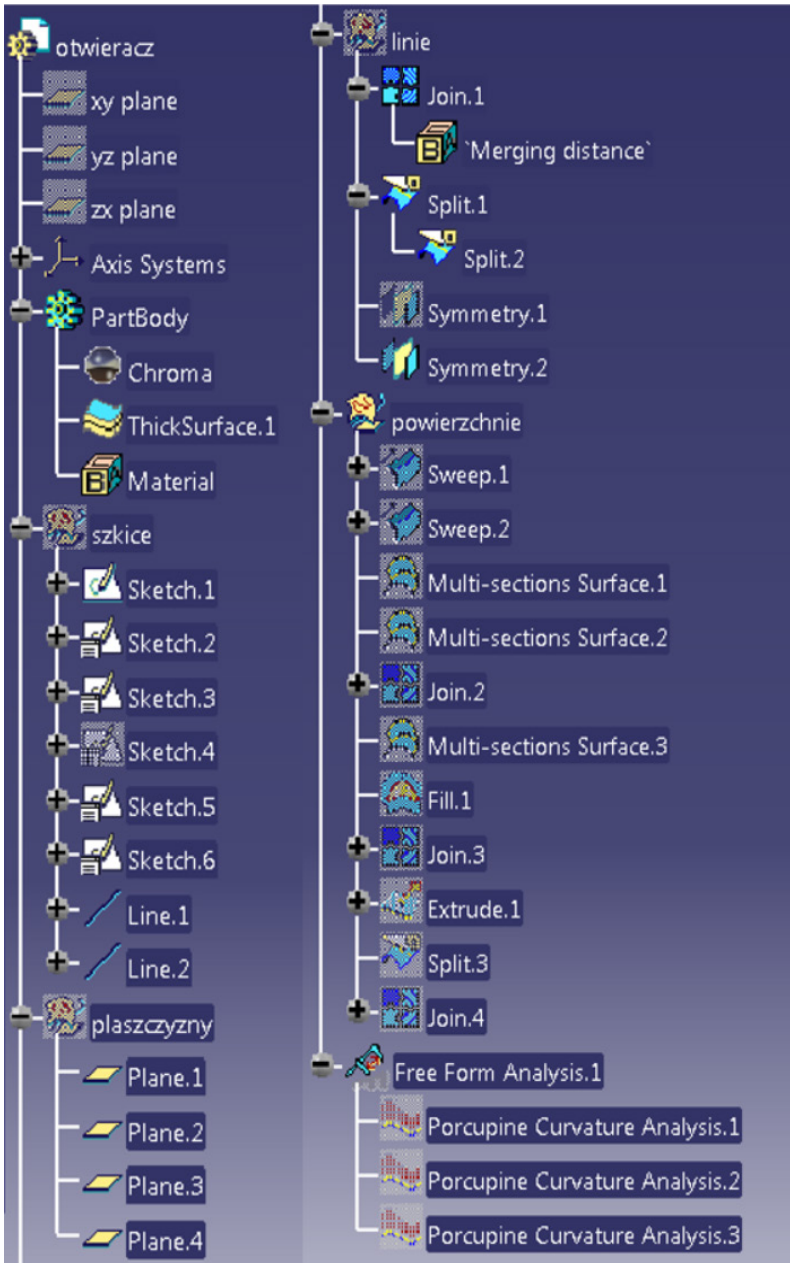
Rys. 2.2.2. Model cienkościennej bryły

Po zatwierdzeniu narzędzia *Thick Surface* otrzymano model bryłowy przedstawiony na rysunku 2.2.3.



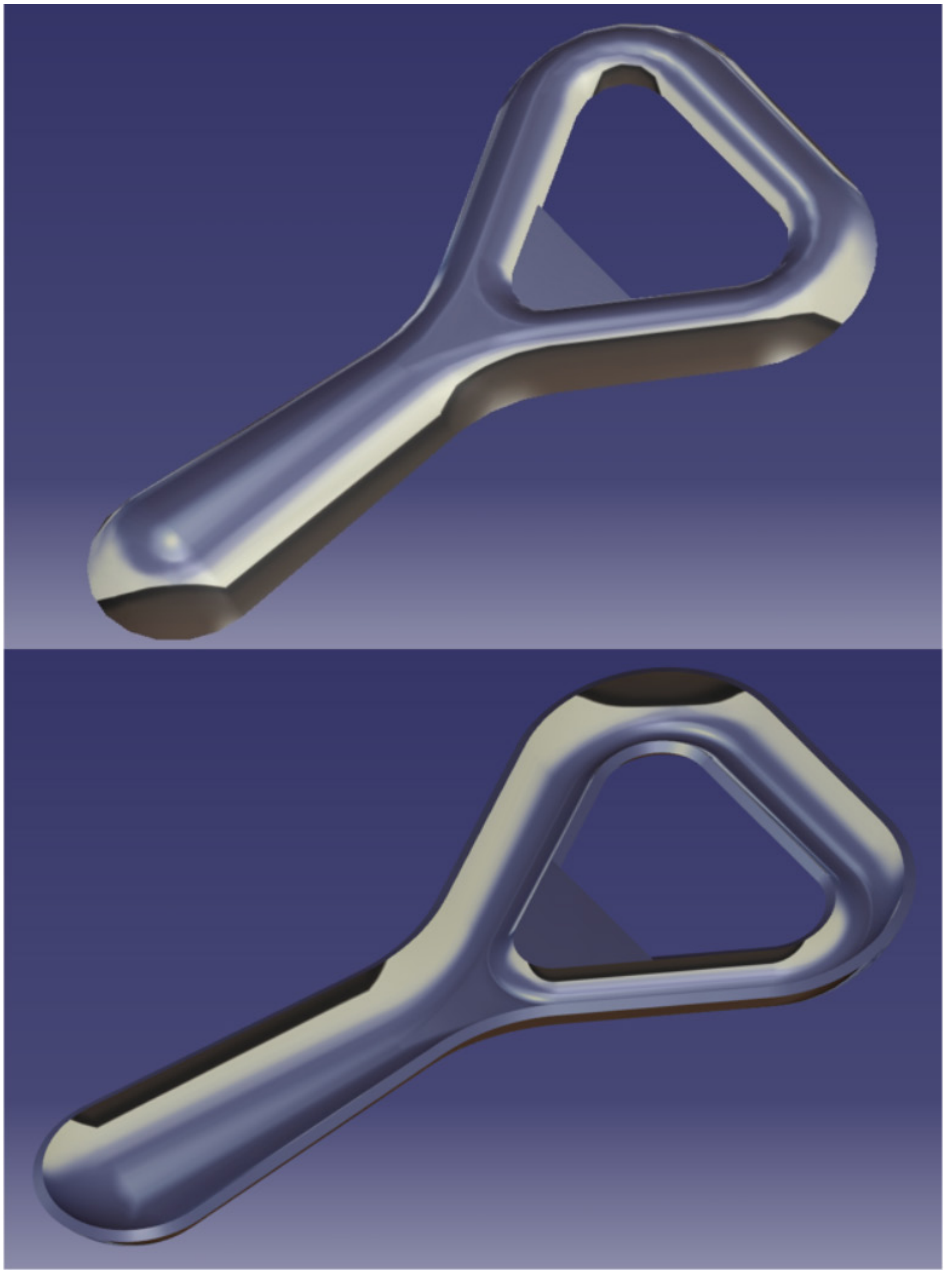
Rys. 2.2.3. Model bryłowy otwieracza

Celem zobrazowania złożonej struktury modelu otwieracza, na rysunku 2.2.4 zaprezentowano drzewo historii modelu.



Rys. 2.2.4. Struktura drzewa modelu

Model otwieracza z określonymi właściwościami materiałowymi stali typu chrom ukazuje natomiast rysunek 2.2.5.



Rys. 2.2.5. Model otwieracza z nadanym materiałem

2.2.2. Opcjonalny model otwieracza

W celu poprawienia efektów wizualnych wirtualny obiekt otwieracza do butelek został uzupełniony o trzy detale. Model został zmodyfikowany w module bryłowym. Rozbudowano go o dodatkowe cechy, takie jak wyprofilowanie płaskiego elementu wewnętrznego, wycięcie otworu oraz napisu. Zmodyfikowany model otwieracza zaprezentowano na rysunku 2.2.6.



Rys. 2.2.6. Model otwieracza

3. Projekt obudowy suszarki

W prezentowanym rozdziale przedstawiono metodykę projektowania obudowy suszarki do włosów. Celem uzyskania obiektu 3D, składającego się z dwóch odrębnych części, stworzono model połowy obudowy, który powielono względem płaszczyzny symetrii, uzyskując model drugiej połowy suszarki. Niniejszy projekt opisuje technikę modelowania hybrydowego, umożliwiającą wykonywanie zaawansowanych modeli *CAD*, o zastosowaniu mechaniczno-estetycznym.

Na rysunku 3.1. zaprezentowano kompletny wirtualny model złożeniowy obiektu 3D, stworzony przy wykorzystaniu metody komputerowego wspomagania projektowania. Model hybrydowy złożony został z prawej i lewej części obudowy suszarki oraz kratki nawiewu i włącznika.



Rys. 3.1. Model 3D suszarki do włosów

Proces modelowania polegał na wykonaniu płaszczyzn pomocniczych, które posłużyły do stworzenia geometrii bazowej, symetrycznej połowy obudowy suszarki. Powierzchnie uchwytu o zmiennym przekroju poprzecznym stworzono poprzez wyciągnięcie ośmiu sekcji wykonanych na płaszczyznach normalnych do krzywej prowadzącej. Górną powierzchnię obudowy otrzymano poprzez obrót jej zarysu względem osi. Przez docięcie dopasowano do niej powierzchnie uchwytu i wykonano zaokrąglenie ostrej krawędzi łączącej obydwie powierzchnie. Ostateczny kształt wylotu suszarki został stworzony przez zdefiniowanie jego zarysu 2D i styczne połączenie go z powierzchnią obudowy. Powierzchnie połowy obudowy suszarki połączono ze sobą, sprawdzając przy tym jakość ich ciągłości. Powierzchnia monolityczna stanowiła bazę do wykonania cienkościennego modelu bryłowego.

Technologia przygotowania tego typu obiektów wykorzystuje formę zewnętrzną, z tego względu grubość bryły wygenerowano do wewnątrz obiektu. Zewnętrzna powierzchnia modelu bryłowego jest powierzchnią bazową, niezmienną i ustaloną przez konstruktora. W ramach modelowania hybrydowego wykonano pozostałe detale obudowy suszarki. Stworzono wlot powietrza w tylnej części suszarki, wycięto otwór pod włącznik, wykonano wewnętrzne elementy łączące dwie części obudowy i zaokrąglono ostre krawędzi modelu. Tak przygotowany model stanowił prawą część obudowy.

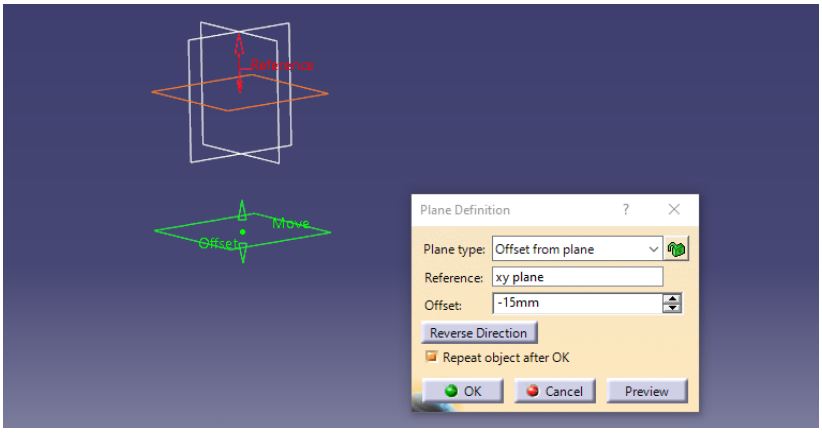
Model lewej obudowy wygenerowano poprzez symetryczne odbicie modelu prawej obudowy suszarki. W lewej obudowie wykonano techniką hybrydową otwory pod wkręty mocujące. Dwie części obudowy posłużyły do stworzenia modelu złożeniowego, na podstawie którego wykonano dwie dodatkowe części suszarki: model kratki nawiewu oraz model włącznika.

3.1. Model powierzchniowy obudowy suszarki

W pierwszym etapie modelowania obudowy suszarki, wykonano część dolną modelu, w której znajduje się włącznik. Do tego zadania wykorzystano moduł *Generative Shape Design.* Następnie stworzono strukturę drzewa modelu, dodając trzy nowe sekcje geometryczne: *szkice, płaszczyzny, powierzchnie*.

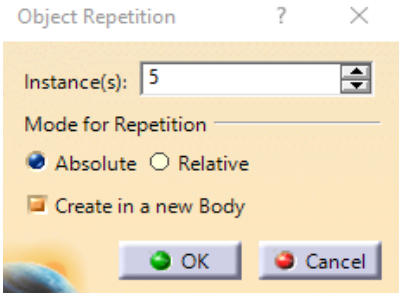
3.1.1. Płaszczyzny pomocnicze

Proces modelowania rozpoczęto od wprowadzenia płaszczyzn pomocniczych. W tym celu użyto narzędzia *Plane* , wybierając typ płaszczyzny jako *Offset from plane* – rysunek 3.1.1. Płaszczyzna pomocnicza została wprowadzona pod płaszczyzną *xy*, przy czym grot wektora odsunięcia został skierowany przeciwnie do zwrotu wektora *z* należącego do kompasu znajdującego się w prawym górnym rogu ekranu roboczego.



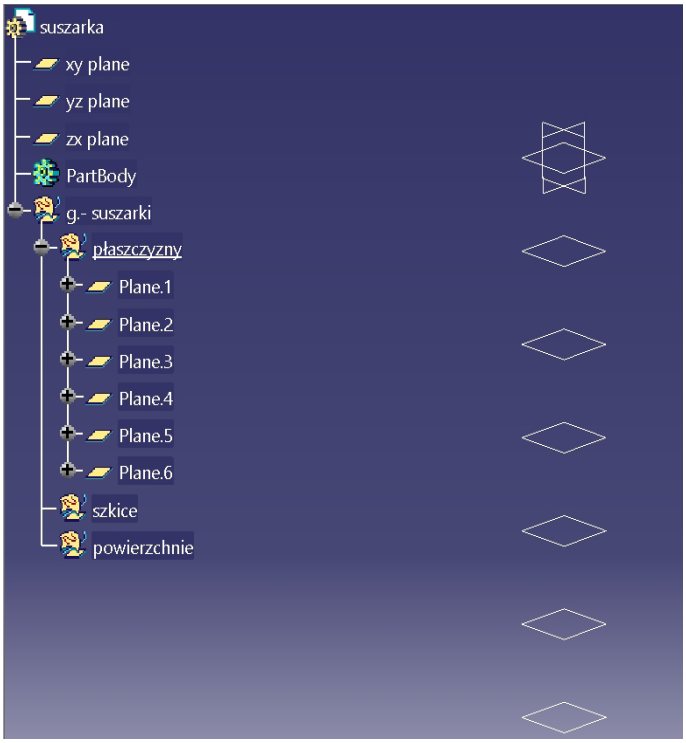
Rys. 3.1.1. Płaszczyzna pomocnicza

Wybrano opcję *Repeat object after OK* umieszczoną w oknie *Plane Definition,* Spowodowało to wywołanie kolejnego okna *Object Repetition*, które zdefiniowano zgodnie z rysunkiem 3.1.2.



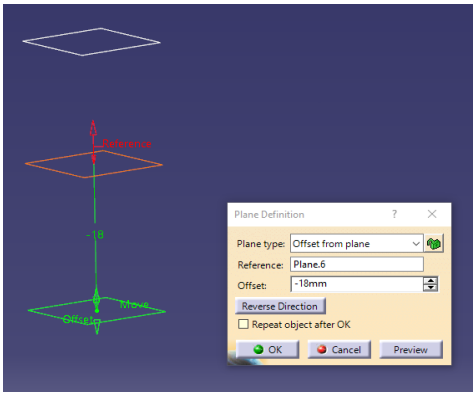
Rys. 3.1.2. Seria płaszczyzn – krok 1

Takie podejście umożliwiło wykonanie za pośrednictwem jednego kroku serii sześciu płaszczyzn pomocniczych usytułowanych od siebie co 15 mm. Rezultat tej operacji zaprezentowano na rysunku 3.1.3.



Rys. 3.1.3. Seria płaszczyzn – krok 2

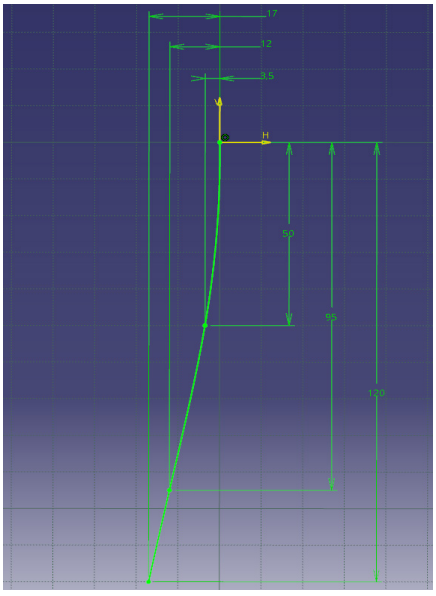
Wprowadzono tą metodą jeszcze jedną płaszczyznę pomocniczą względem *Plane.6*, oddaloną od niej o 18 mm – rysunek 3.1.4.



Rys. 3.1.4. Ostatnia płaszczyzna serii

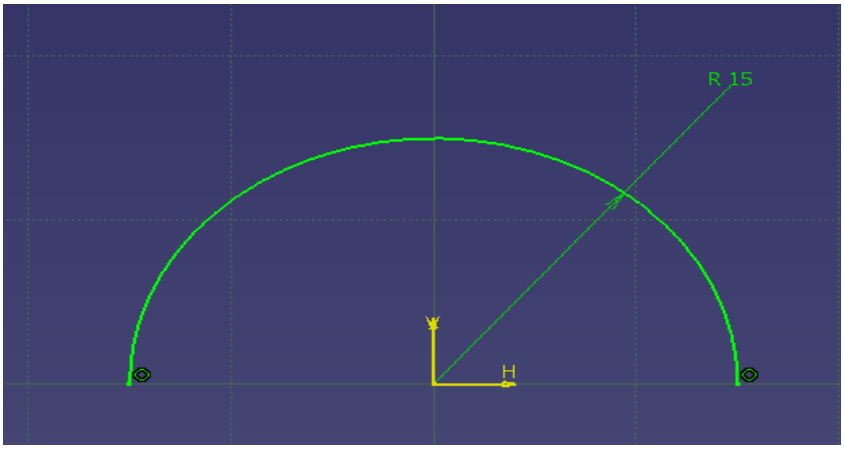
3.1.2. Powierzchnia uchwytu suszarki

Tak zdefiniowane płaszczyzny wykorzystano do rysowania profili poprzecznych uchwytu suszarki. Niezbędne było wykonanie pierwszej krzywej prowadzącej. W tym celu na płaszczyźnie *zx* wykonano szkic przy wykorzystaniu narzędzia *Sketch* – rysunek 3.1.5.



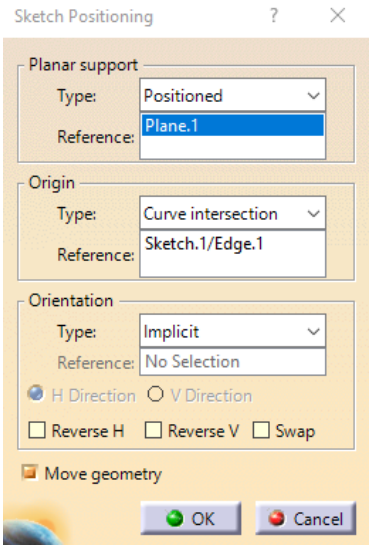
Rys. 3.1.5. Szkic pierwszej prowadnicy

Stworzono szkice na płaszczyznach poprzecznych, rozpoczynając od narysowania profilu na płaszczyźnie *xy* – rysunek 3.1.6.

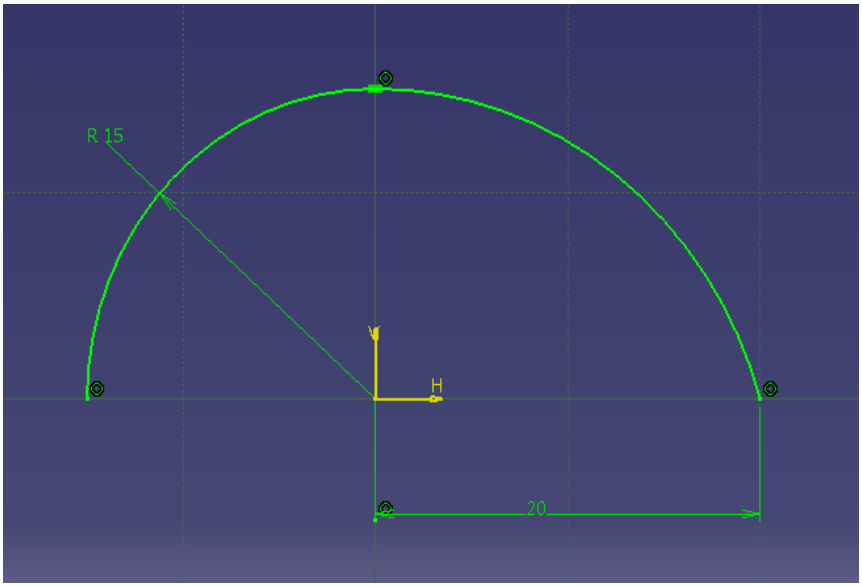


Rys. 3.1.6. Szkic na płaszczyźnie *xy*

W celu wykonania bieżącego profilu wykorzystano polecenie *Sketch Positioning*. Narzędzie to umożliwiło pozycjonowanie szkicu na wybranej płaszczyźnie względem krzywej prowadzącej. Użycie tego polecenia do wykonania szkicu na płaszczyźnie *Plane.1* zaprezentowano na rysunku 3.1.7. Zarys na płaszczyźnie *Plane.1* ukazano na rysunku 3.1.8.

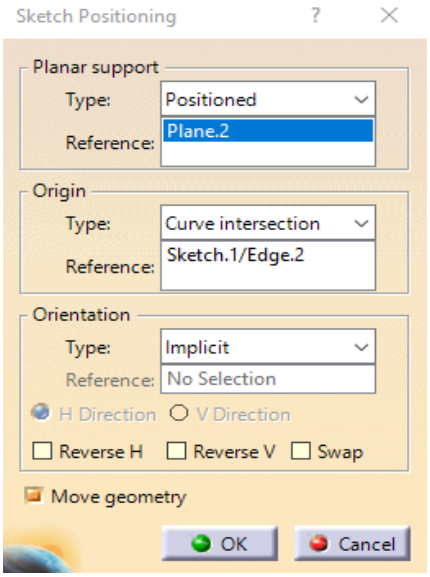


Rys. 3.1.7. Pozycja szkicu na *Plane 1* względem krzywej



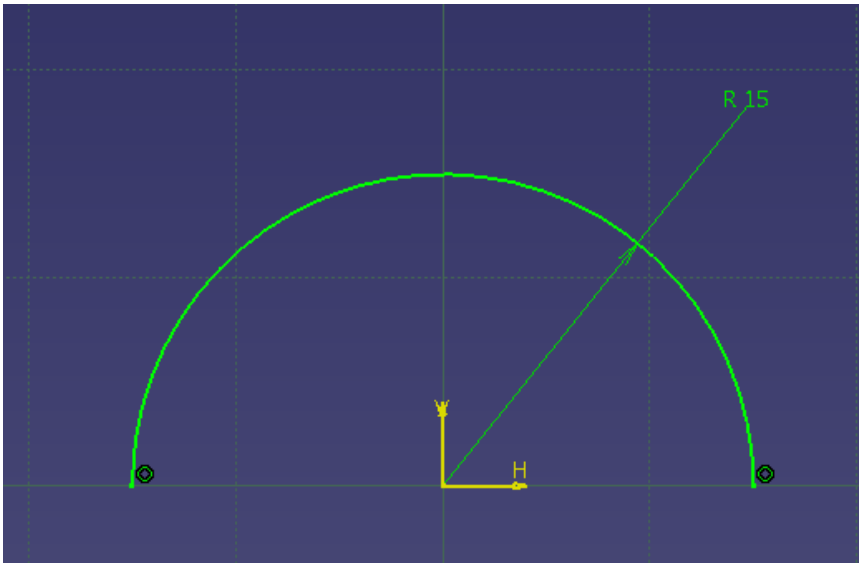
Rys. 3.1.8. Szkic na płaszczyźnie *Plane 1*

Pozostałe sześć szkiców wykonano analogicznie przy wykorzystaniu narzędzia *Sketch Positioning* – rysunek 3.1.9.



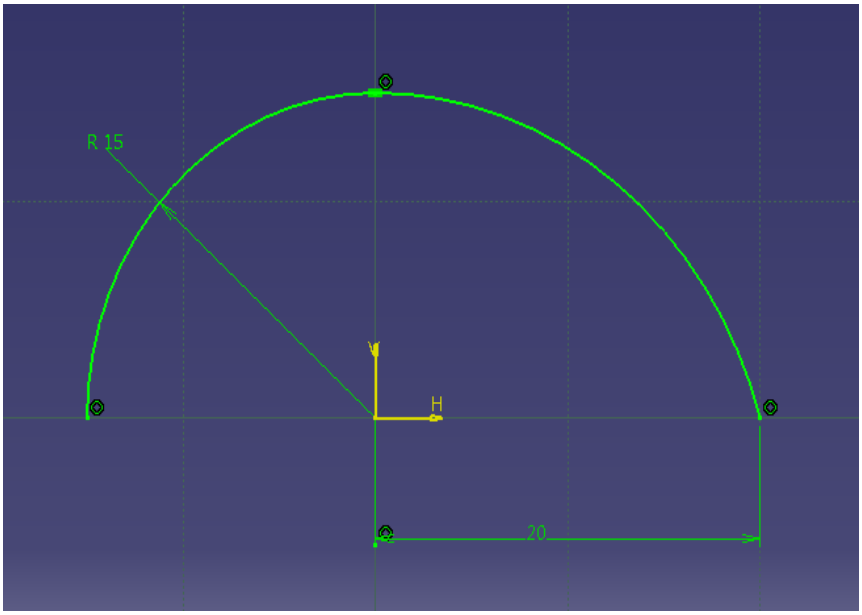
Rys. 3.1.9. Pozycja szkicu na *Plane 2* względem krzywej

Profil stworzony na płaszczyźnie *Plane.2* zaprezentowano na rysunku 3.1.10.



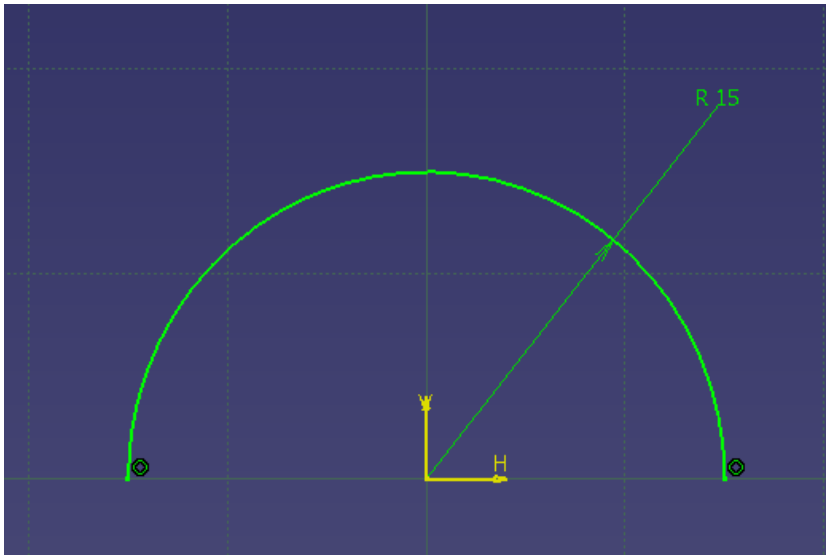
Rys. 3.1.10. Szkic na płaszczyźnie *Plane.2*

Szkic na płaszczyźnie *Plane.3* przedstawiono na rysunku 3.1.11.



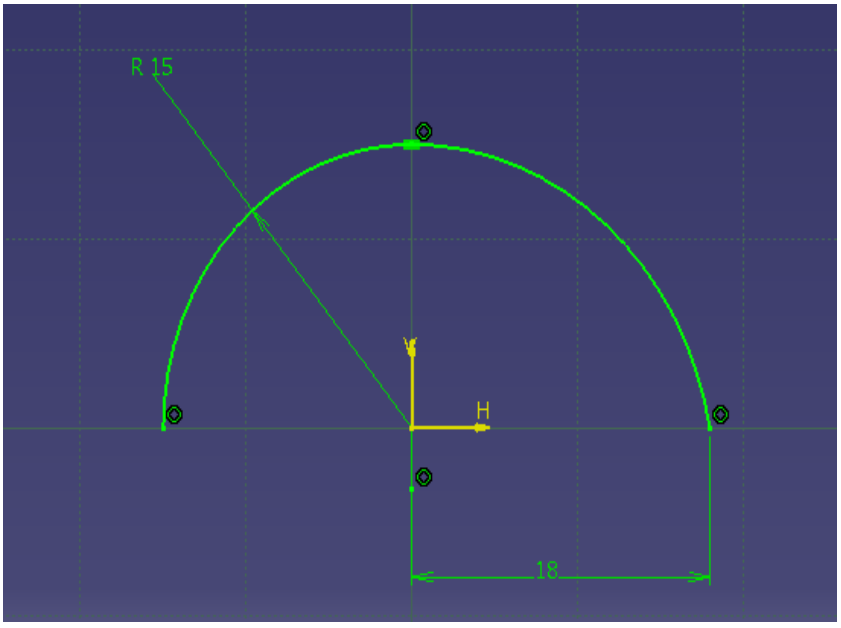
Rys. 3.1.11. Szkic na płaszczyźnie *Plane.3*

Rysunek 3.1.12 przedstawia profil stworzony na płaszczyźnie *Plane.4*.



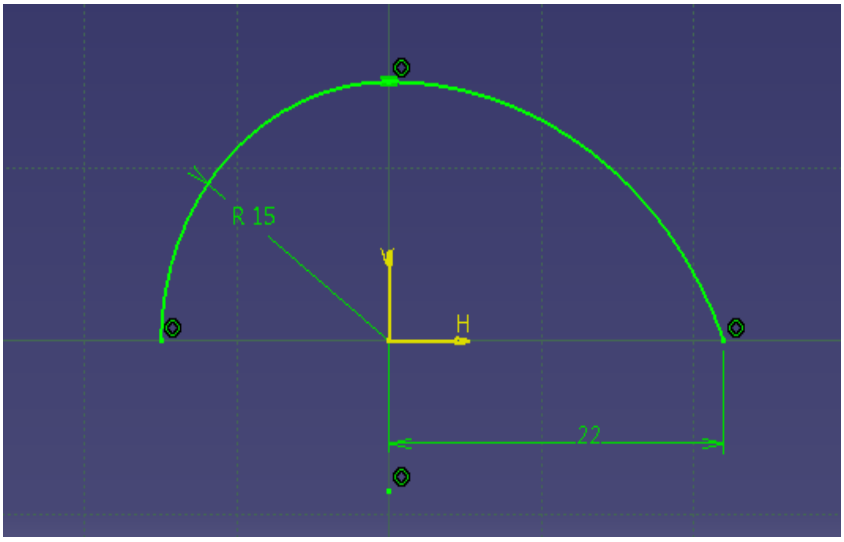
Rys. 3.1.12. Szkic na płaszczyźnie *Plane.4*

Szkic stworzony na płaszczyźnie *Plane.5* zaprezentowano na rysunku 3.1.13.



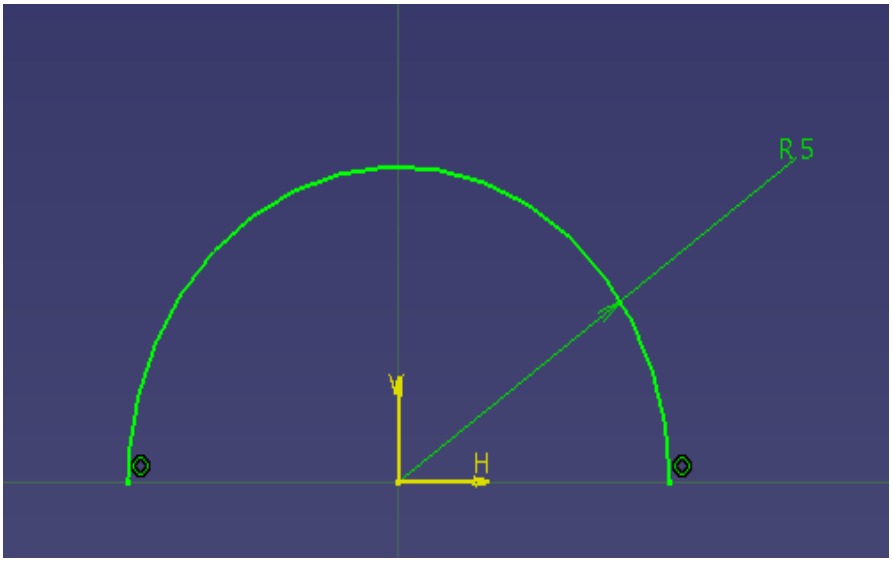
Rys. 3.1.13. Szkic na płaszczyźnie *Plane.5*

Następny zarys umieszczono na płaszczyźnie *Plane.6* – rysunek 3.1.14.



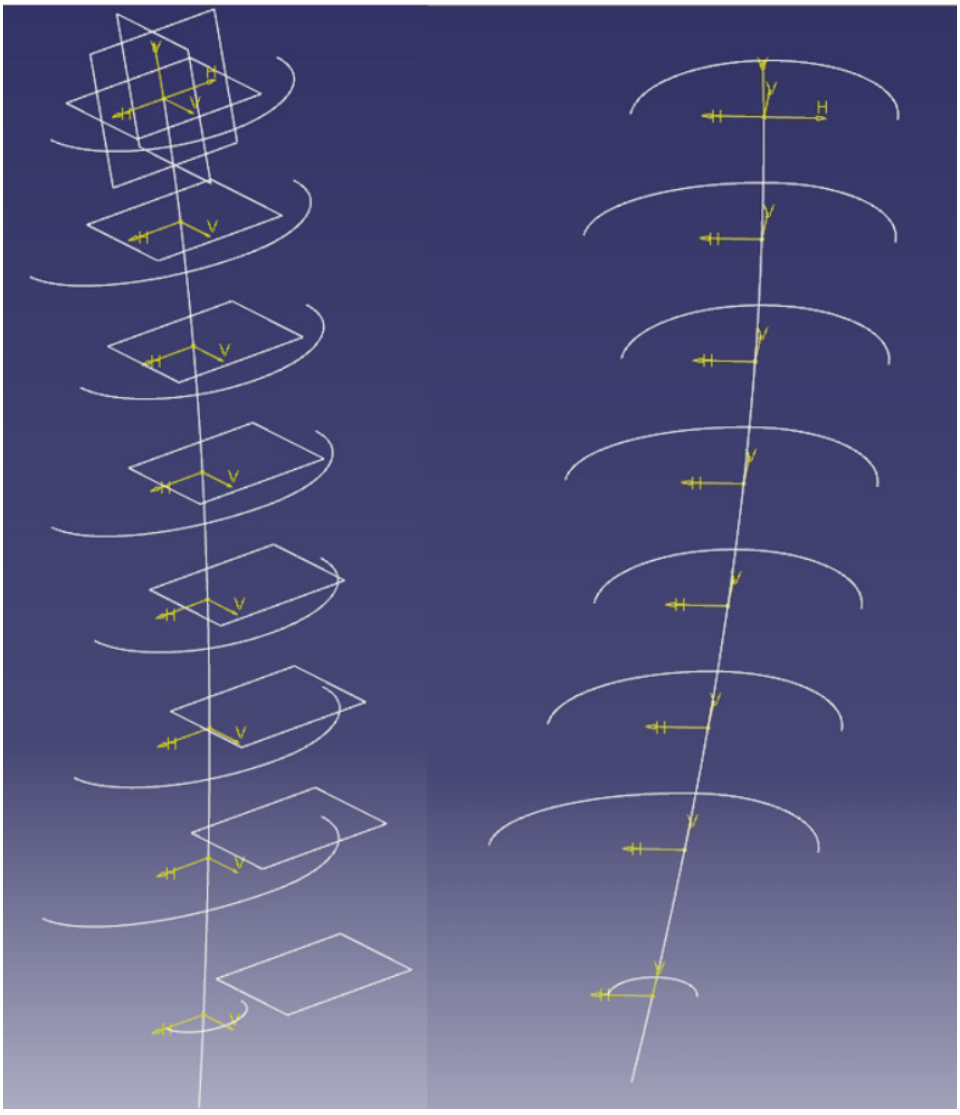
Rys. 3.1.14. Szkic na płaszczyźnie *Plane.6*

Ostatni profil poprzeczny uchwytu suszarki narysowano na płaszczyźnie *Plane.7* – rysunek 3.1.15.



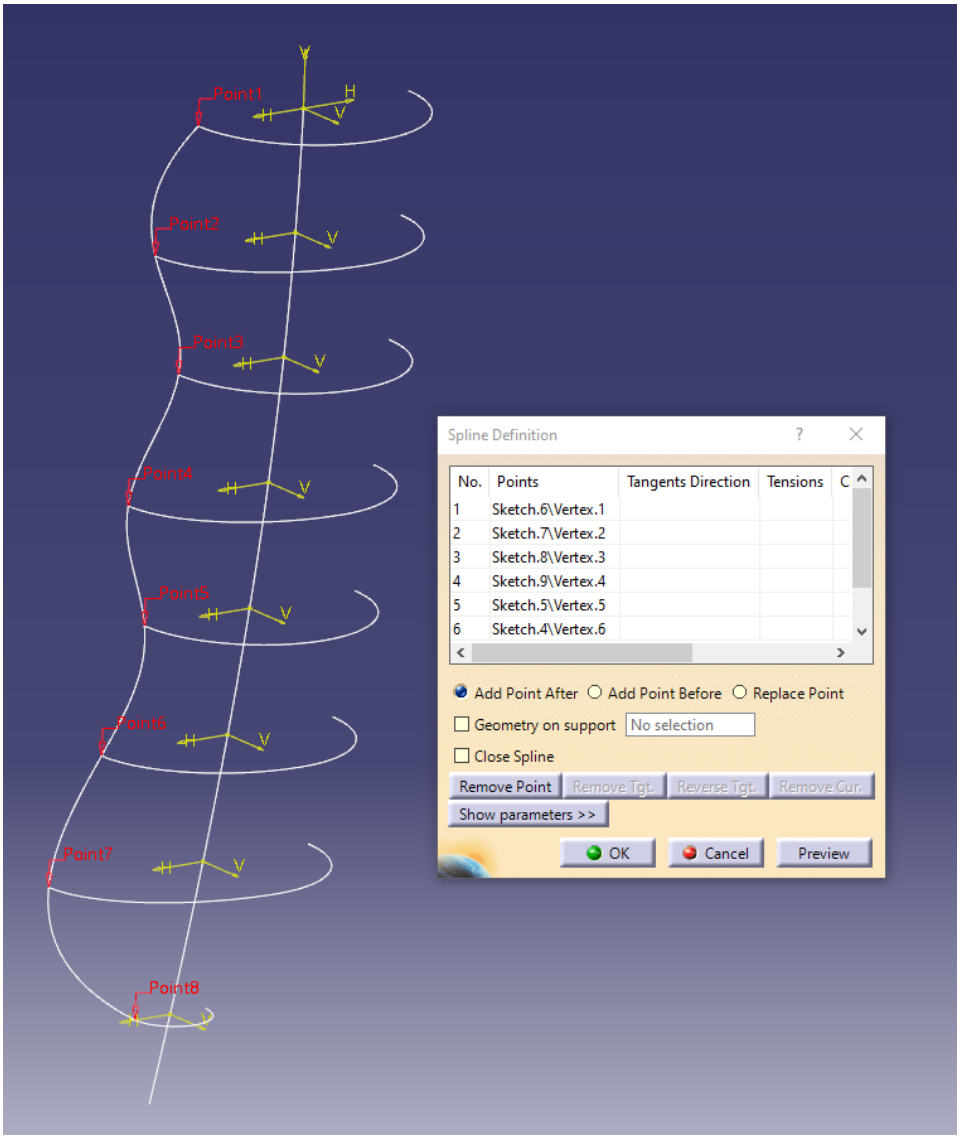
Rys. 3.1.15. Szkic na płaszczyźnie *Plane 7*

Na rysunku 3.1.16 przedstawiono wykonane w dwóch rzutach przestrzennych: krzywą prowadzącą oraz szkice poprzeczne uchwytu suszarki.



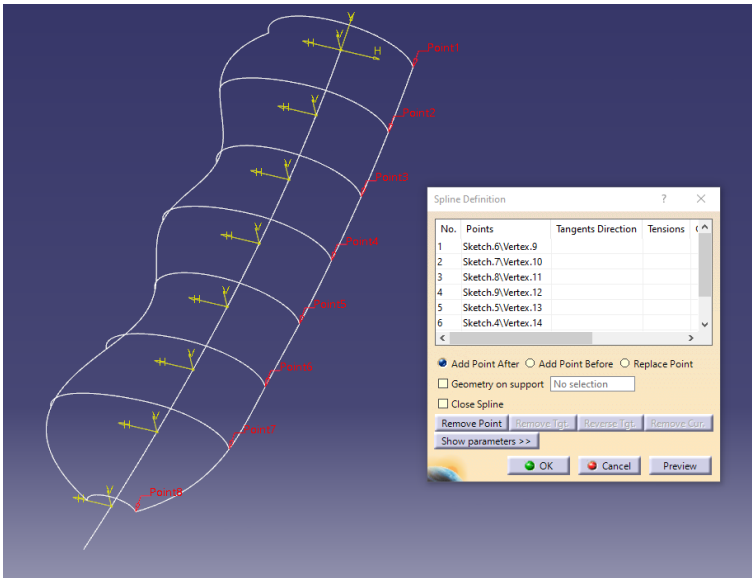
Rys. 3.1.16. Sekcje poprzeczne

Bazując na istniejącej geometrii przygotowano dwie krzywe prowadzące. Pierwszą linię zdefiniowano w oparciu o punkty, które są początkami narysowanych wcześniej profili poprzecznych. W tym celu wykorzystano narzędzie *Spline* i zdefiniowano punkty zgodnie z rysunkiem 3.1.17.

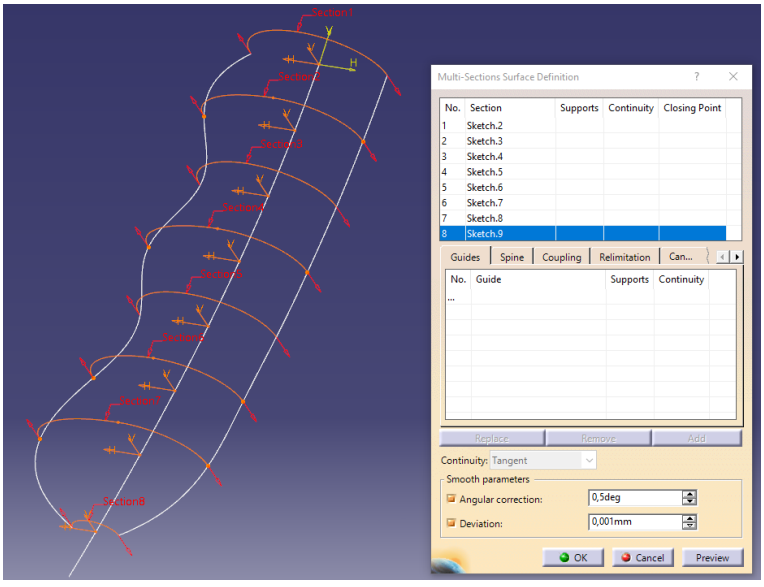


Rys. 3.1.17. Krzywa na podstawie istniejącej geometrii

Druga prowadnica została wykonana analogicznie do pierwszej, z tą różnicą, że została rozpięta w punktach należących do końców sekcji poprzecznych. Efekt użycia narzędzia *Spline* zaprezentowano na rysunku 3.1.18.

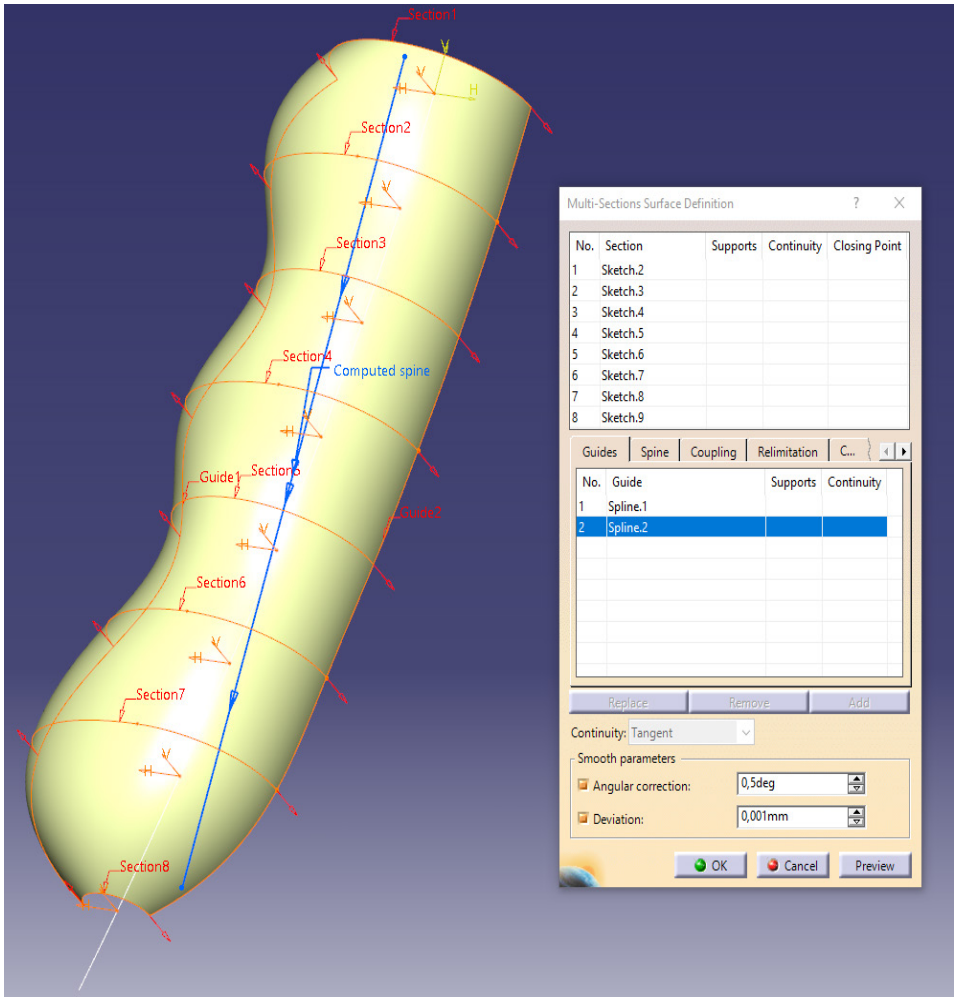


Rys. 3.1.18. Druga prowadnica



Rys. 3.1.19. Powierzchnia na podstawie sekcji poprzecznych – krok 1

Otrzymana geometria posłużyła do wykonania pierwszej powierzchni. W tym celu wykorzystano polecenie *Multi-Sections Surface* . Okno dialogowe narzędzia zdefiniowano w dwóch etapach. W oknie *Sections* wskazano kolejno wszystkie szkice poprzeczne (rys. 3.1.19), następnie w zakładce *Guide* zaznaczono dwie krzywe prowadzące typu *Spline*. Efekt użycia narzędzia przedstawiono na rysunku 3.1.20.

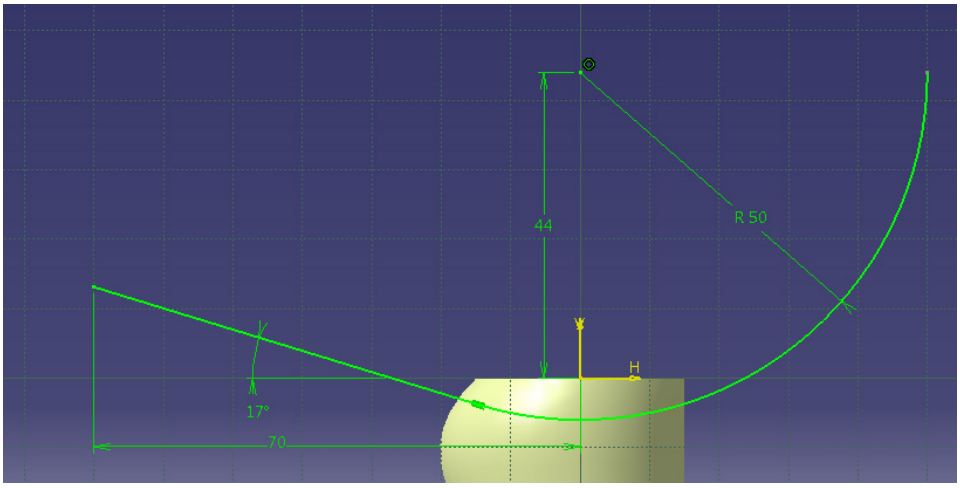


Rys. 3.1.20. Powierzchnia na podstawie sekcji poprzecznych – krok 2

Wykonana powierzchnia stanowiła część uchwytu suszarki. Kolejny etap procesu projektowania modelu dotyczył górnej części obudowy suszarki. Stworzono jej model przy wykorzystaniu metody tworzenia powierzchni poprzez obrót.

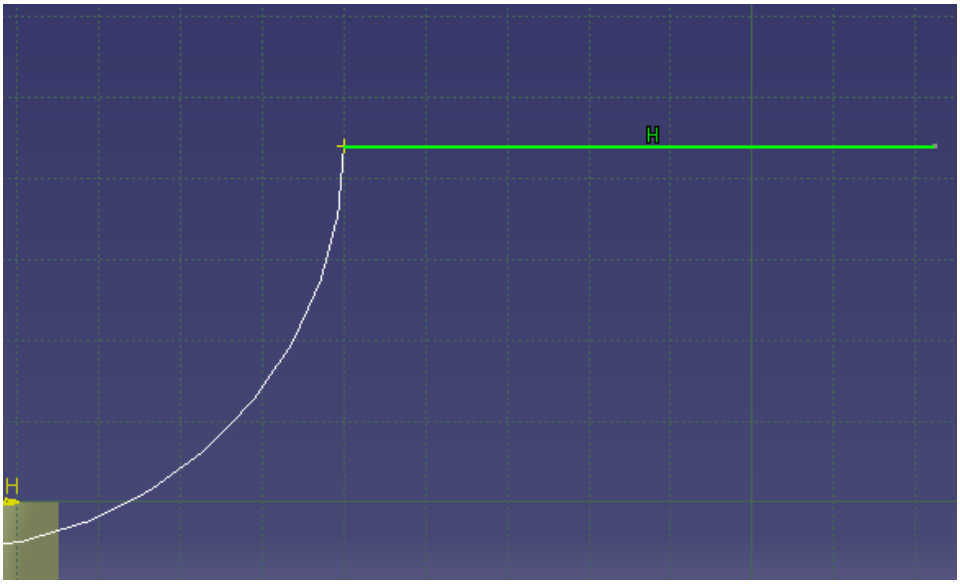
3.1.3. Górna powierzchnia obudowy suszarki

Zadanie rozpoczęto od narysowania szkicu na płaszczyźnie *zx*. Zarys zaprezentowano na rysunku 3.1.21.



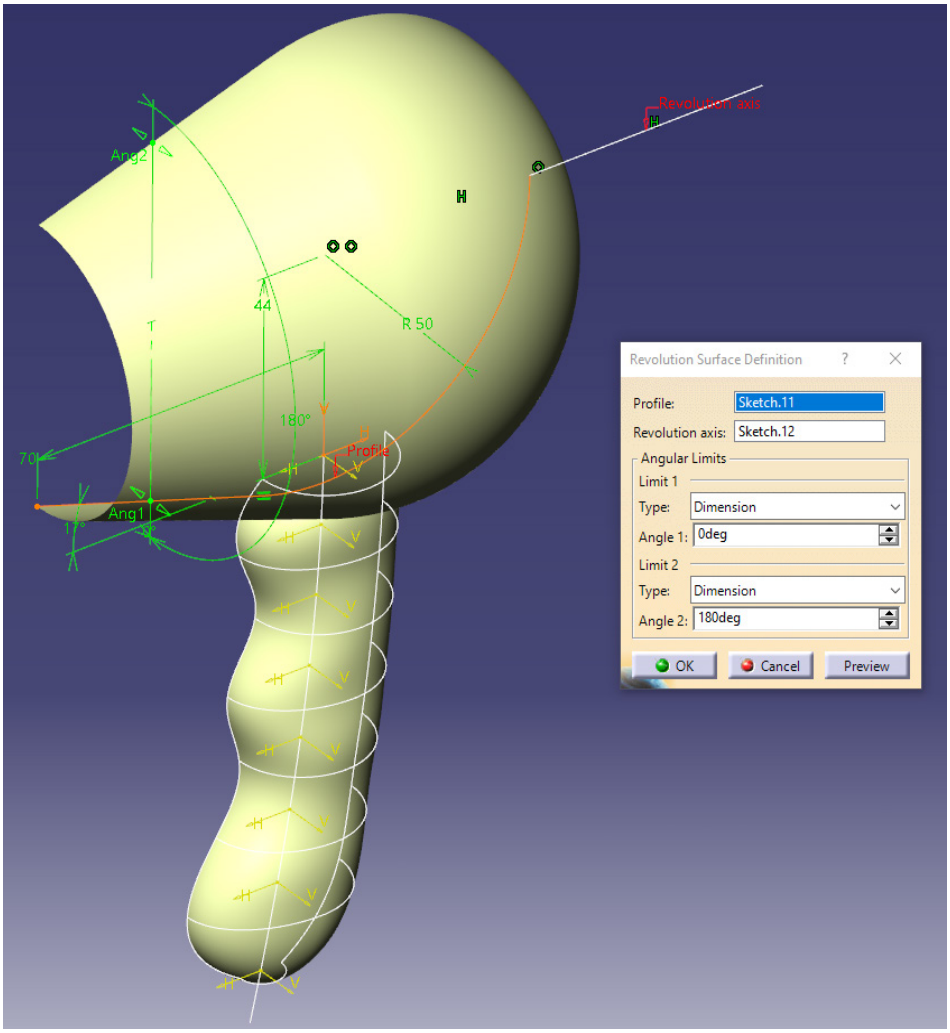
Rys. 3.1.21. Szkic zarysu górnej części obudowy

Profil posłużył do wykonania powierzchni poprzez obrót. Oś obrotu narysowano zgodnie z rysunkiem 3.1.22.



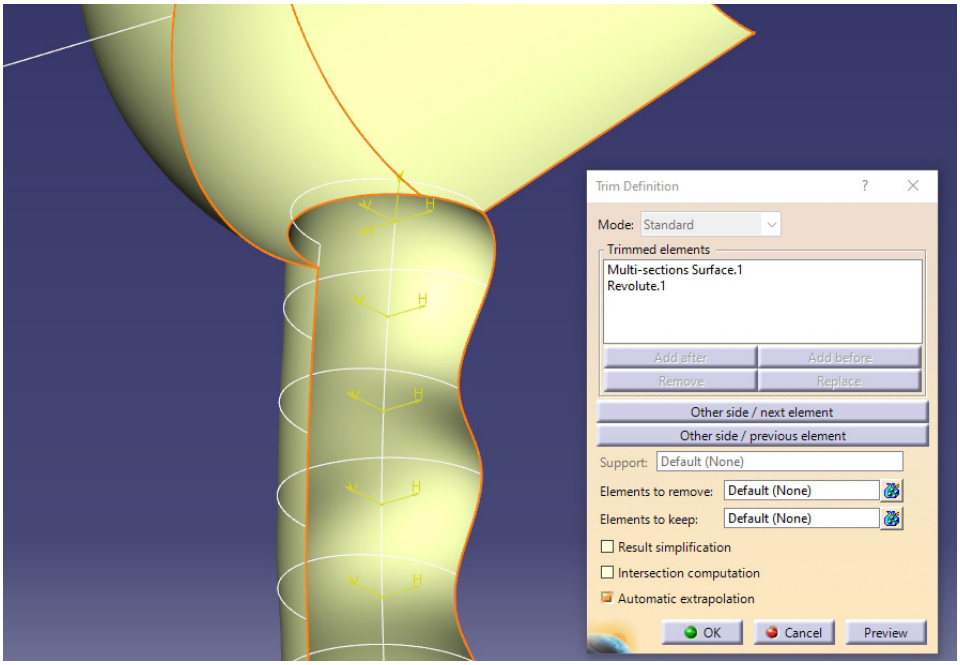
Rys. 3.1.22. Oś obrotu

W celu obrócenia profilu wykorzystano narzędzie *Revolve* . W oknie dialogowym jako *Profile* wskazano narysowany szkic zarysu górnej części obudowy suszarki, natomiast jako *Revolution Axis* zaznaczono oś obrotu, zgodnie z rysunkiem 3.1.23.

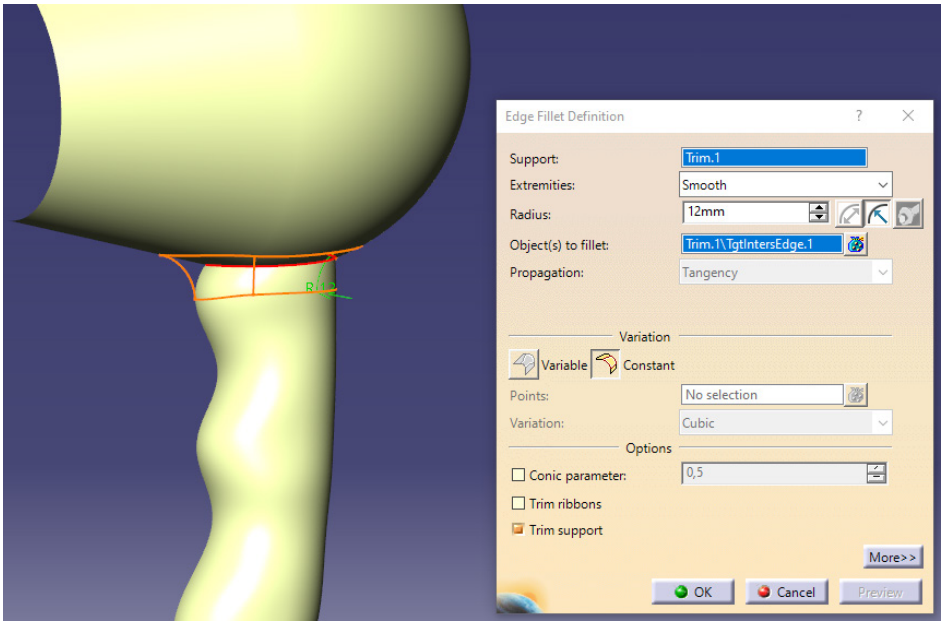


Rys.3.1.23. Powierzchnia górnej części obudowy suszarki

Wykonana powierzchnia przenikała się z powierzchnią uchwytu suszarki. W takim przypadku konieczne było dopasowanie do siebie stworzonych powierzchni. Do tego zadania wykorzystano narzędzie *Trim* , wskazano dwie powierzchnie i wybrano odpowiednie strony elementów do usunięcia (*Other side*), zgodnie z rysunkiem 3.1.24.



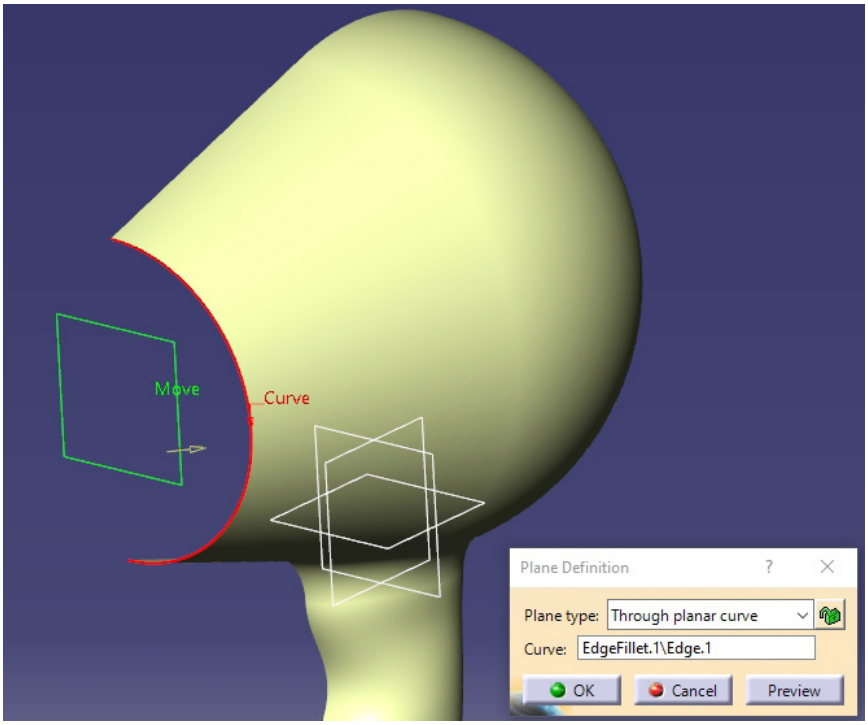
Rys. 3.1.24. Powierzchnia typu *Trim*



Rys. 3.1.25. Powierzchnia zaokrąglenia ostrych krawędzi

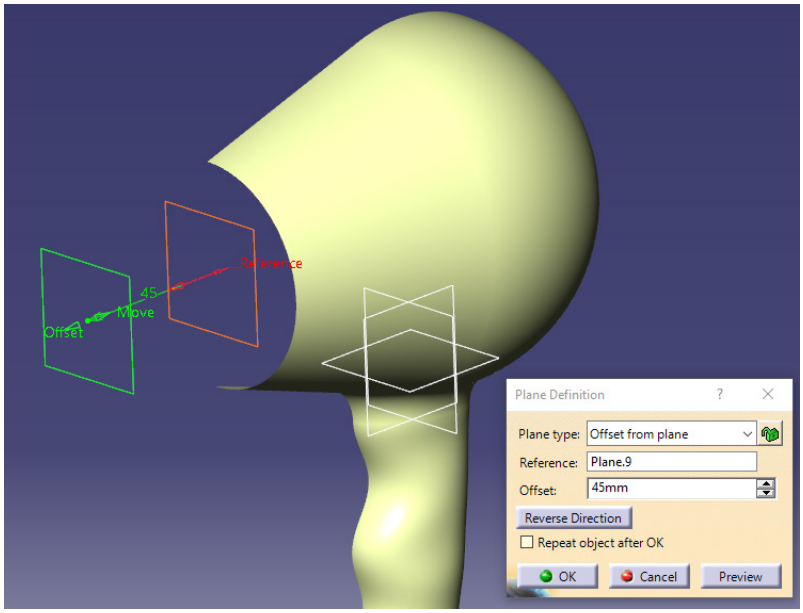
Ukryto płaszczyzny pomocnicze oraz szkice modelu, wybrano narzędzie *Edge fillet* i wskazano krawędź między górną a dolną częścią powierzchni suszarki. Zdefiniowano promień zaokrąglenia R = 12 mm oraz użyto Trim support – rysunek 3.1.25.

Ostatni etap modelowania połowy powierzchni obudowy wiązał się z wykonaniem części wylotowej suszarki. W tym celu wprowadzono nową płaszczyznę za pomocą narzędzia *Plane*. Płaszczyznę tę wykonano przy wykorzystaniu opcji *Through planar curve*, co umożliwiło jej utworzenie na krzywej będącej krawędzią istniejącej powierzchni. Proces zdefiniowania nowej płaszczyzny przy użyciu narzędzia *Plane* zaprezentowano na rysunku 3.1.26.



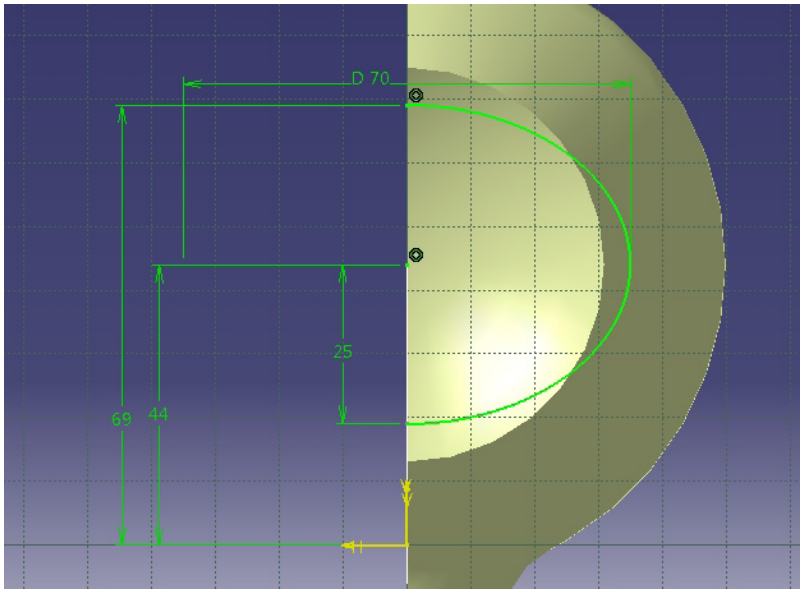
Rys. 3.1.26. Płaszczyzna przylegająca do krzywej

Kolejna wprowadzona płaszczyzna związana była z profilem dyszy wylotowej. Użyto narzędzia *Plane* z opcją *Offset from plane*, następnie jako *Reference* wybrano *Plane.8* i odsunięcie *Offset* równe 45 mm – rysunek 3.1.27.



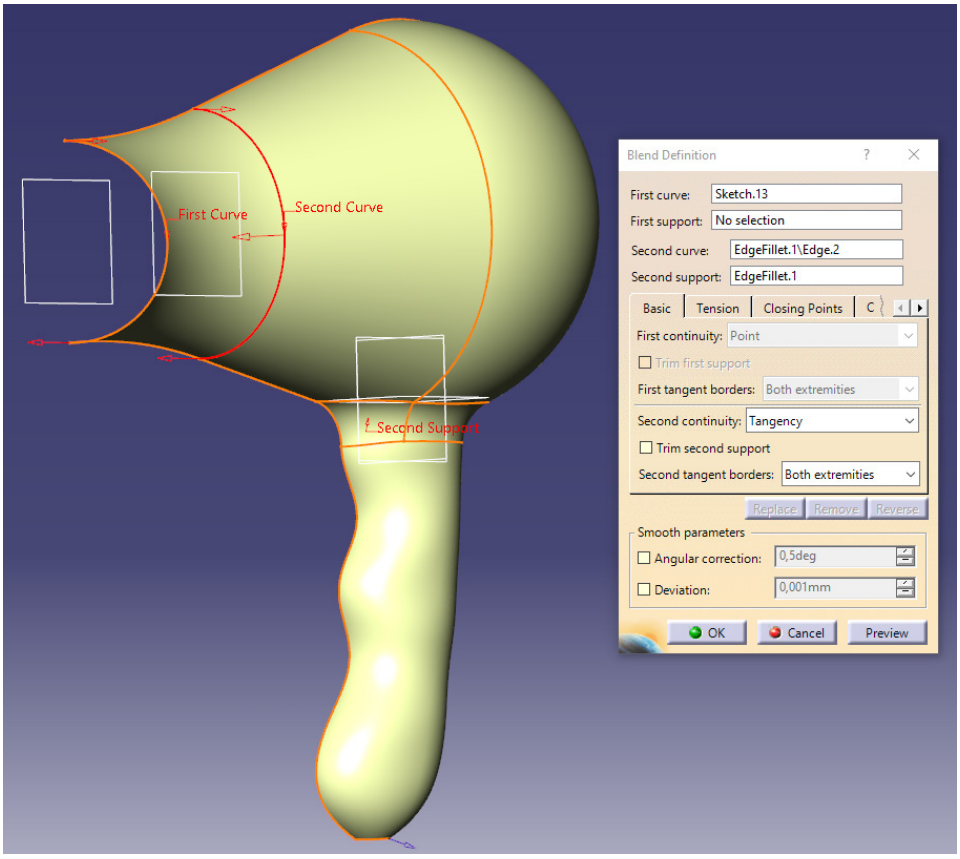
Rys. 3.1.27. Płaszczyzna typu *Offset*

Na wykonanej płaszczyźnie *Plane.9* narysowano profil wylotowy suszarki, zgodnie z rysunkiem 3.1.28.



Rys. 3.1.28. Zarys profilu wylotowego suszarki

W celu wykonania powierzchni wylotowej suszarki wykorzystano narzędzie *Blend* . W oknie dialogowym polecenia zdefiniowano krawędzie, między którymi powstała powierzchnia, jako *First curve* oznaczono profil wylotowy, natomiast *Second curve* oznaczał krawędź istniejącej powierzchni. Dodatkowo w tym kroku należało wskazać relacje styczności drugiej krzywej z istniejącą geometrią. W związku z tym jako *Second support* wybrano *EdgeFillet.1*. Zdefiniowane narzędzie *Blend* z wyświetlonym rezultatem zaprezentowano na rysunku 3.1.29.

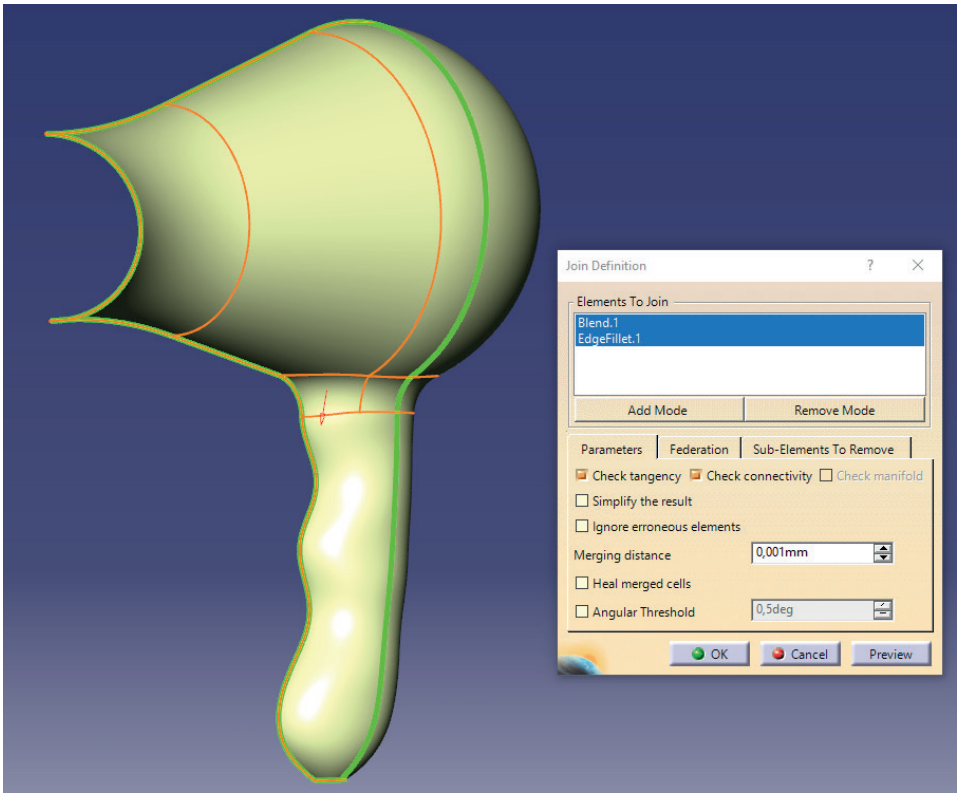


Rys. 3.1.29. Powierzchnia typu *Blend*

Na tym etapie wszystkie składowe symetrycznej powierzchni obudowy suszarki zostały wykonane. Otrzymanie finalnej monolitycznej powierzchni wiązało się ze scaleniem stworzonych elementów powłokowych.

3.1.4. Powierzchnia monolityczna

Powierzchnie połowy obudowy suszarki połączono ze sobą, sprawdzając przy tym jakość ich ciągłości. W celu scalenia powierzchni wykorzystano narzędzie *Join* i wskazano elementy do połączenia zgodnie widokiem przedstawionym na rysunku 3.1.30.



Rys. 3.1.30. Powierzchnia monolityczna powierzchni obudowy

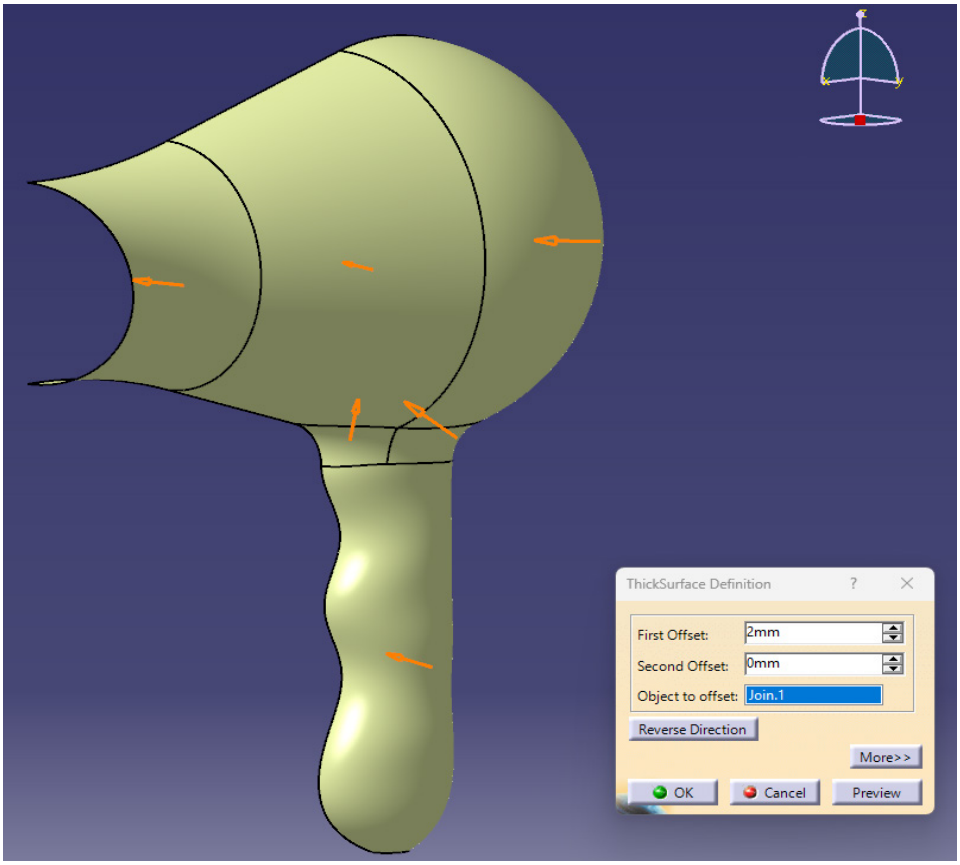
Na tym etapie zakończono proces modelowania powierzchniowego prawej połowy obudowy suszarki. Kolejne kroki modelowania zrealizowano w module bryłowym: *Part Design*, zawartym w systemie *CATIA V5*.

3.2. Model hybrydowy obudowy suszarki

Powierzchnia monolityczna stanowiła bazę do wykonania cienkościennego modelu bryłowego. Technologia przygotowania tego typu obiektu wykorzystuje formę zewnętrzną, z tego względu grubość bryły wygenerowano do wewnątrz obiektu. Zewnętrzna powierzchnia modelu bryłowego jest powierzchnią bazową, niezmienną i ustaloną przez konstruktora.

3.2.1. Model bryłowy obudowy suszarki

Na podstawie uzyskanej powierzchni wygenerowano model bryłowy połowy obudowy suszarki. Do tego zadania wykorzystano narzędzie *Thick Surface* . W wywołanym oknie dialogowym narzędzia w miejscu *First Offset* wprowadzono wartość 2 mm (grubości wygenerowanej bryły) i wybrano kierunek jej nadania do wewnątrz obiektu, natomiast w *Object to offset* wskazano *Join.1* – rysunek 3.2.1. Ukryto z drzewa historii modelu sekcje geometryczne: *szkice*, *płaszczyzny* oraz *powierzchnie,* pozostawiając wyświetlony wyłącznie model bryłowy obudowy suszarki.

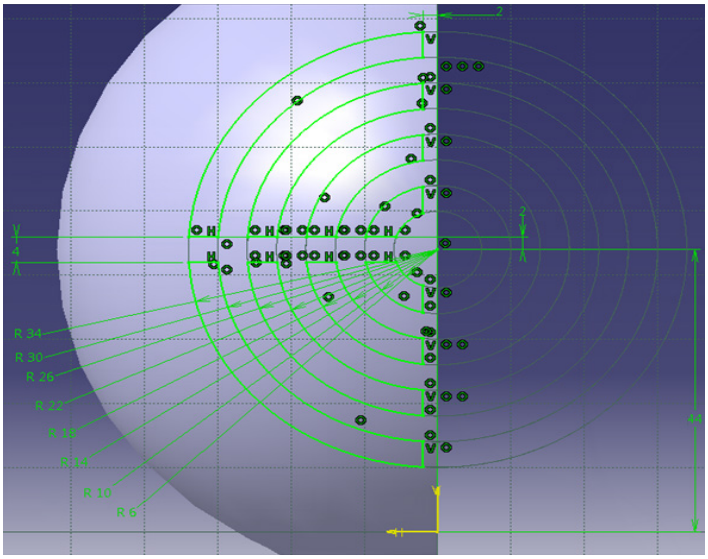


Rys. 3.2.1. Model bryłowy połowy obudowy suszarki

W kolejnych etapach modelowania stworzono cechy szczegółowe obudowy. W związku z tym opisany został poniżej proces wykonania otworów wlotowych pod włącznik oraz elementów łączących prawą i lewą część obudowy suszarki.

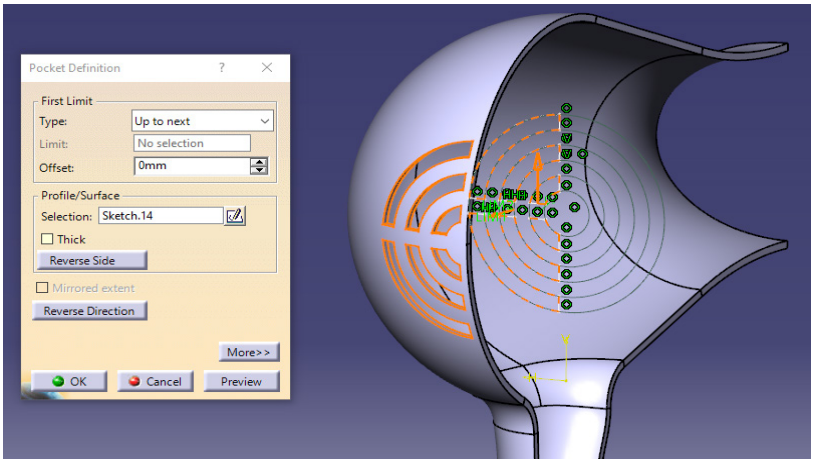
3.2.2. Szczegóły modelu bryłowego obudowy suszarki

Zadanie dotyczy wykonania otworów wlotowych w tylnej części obudowy suszarki. W tym celu wybrano płaszczyznę *yz* i narysowano na niej szkic odpowiadający zarysowi wycięcia przedstawionemu na rysunku 3.2.2.



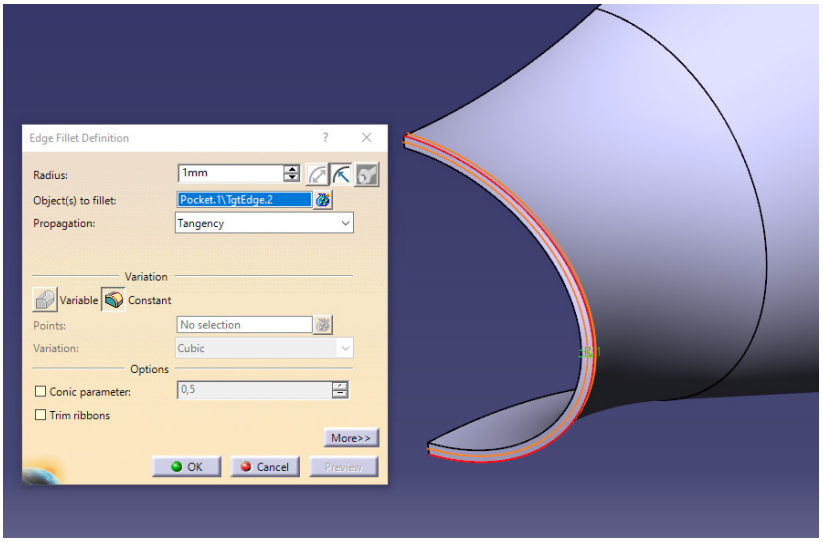
Rys. 3.2.2. Zarys otworów wlotowych

Powyższy szkic posłużył do wykonania wycięcia otworów wlotowych w modelu bryłowym. Do tego zadania wykorzystano narzędzie *Pocket* i zdefiniowano parametry okna, zgodnie z widokiem przedstawionym na rysunku 3.2.3.



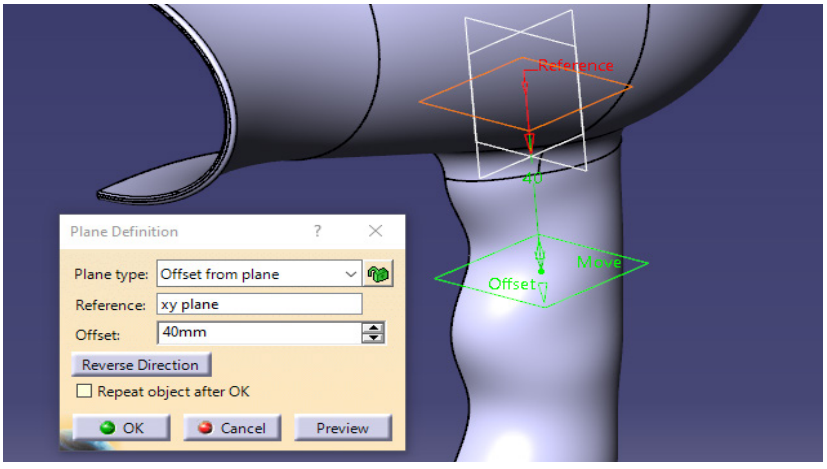
Rys. 3.2.3. Otwory wlotu powietrza

W celu zaokrąglenia przedniej krawędzi obudowy suszarki wykorzystano narzędzie *Edge Fillet* , wskazano ostrą krawędź i zdefiniowano promień zaokrąglenia równy R = 1 – rysunek 3.2.4.



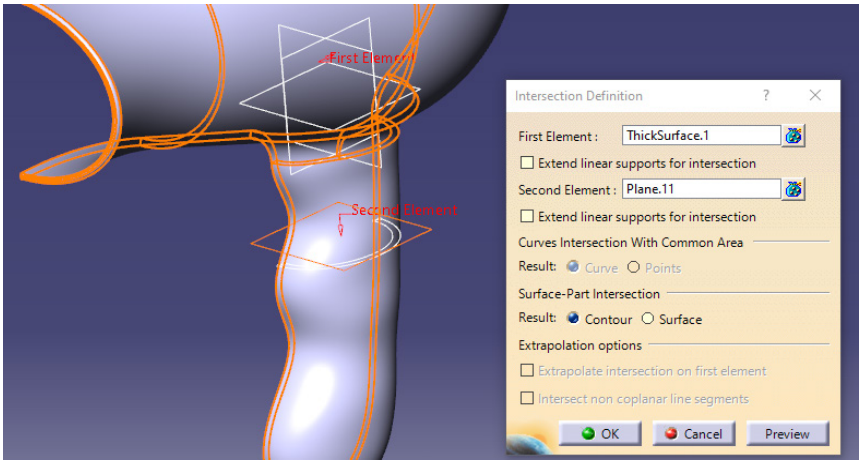
Rys. 3.2.4. Zaokrąglenie krawędzi modelu

Następnie należało wykonać otwór pod włącznik suszarki. W tym celu wprowadzono płaszczyznę pomocniczą typu *Offset from plate* oddaloną od płaszczyzny *xy* o 40 mm – rysunek 3.2.5.



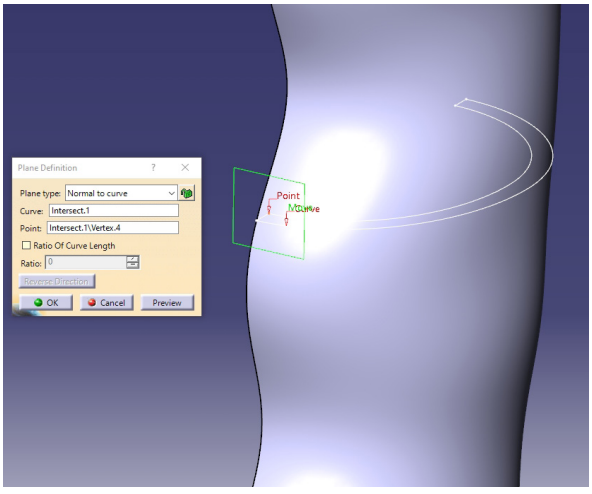
Rys. 3.2.5. Płaszczyzna pomocnicza typu *Offset from plate*

Stworzono zarys przekroju w miejscu przecięcia płaszczyzny z istniejącą geometrią suszarki. Do tego zadania wykorzystano narzędzie *Intersection* dostępne w module powierzchniowym (*Generative Shape Design*). Jako *First element* wybrano model bryłowy, a jako *Second Element* ostatnią utworzoną płaszczyznę pomocniczą – rysunek 3.2.6.



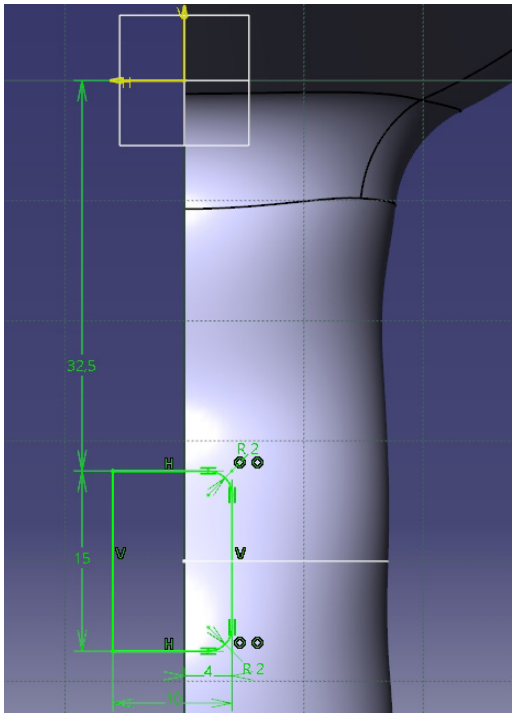
Rys. 3.2.6. Przekrój modelu

Przekrój posłużył do wprowadzenia kolejnej płaszczyzny pomocniczej. Wykonano to za pomocą narzędzia *Plane*, przy czym wybrano typ *Normal to curve*. Jako *Curve* wskazano przekrój oraz jako *Point* punkt krzywej, zgodnie z rysunkiem 3.2.7.



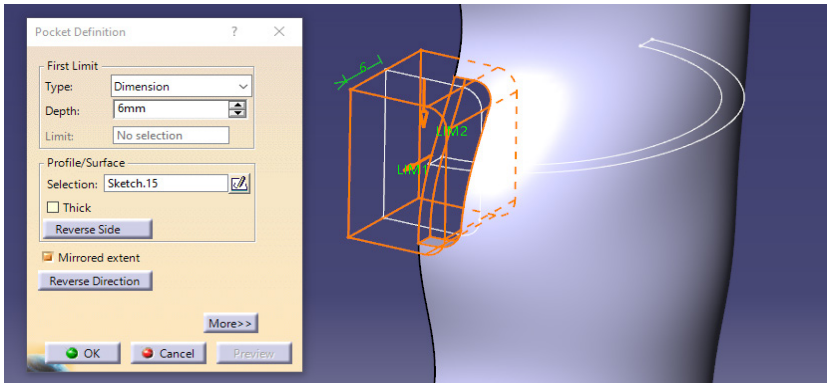
Rys. 3.2.7. Płaszczyzna pomocnicza typu *Normal to curve*

Na tak przygotowanej płaszczyźnie wykonano szkic zawierający zarys otworu pod włącznik – rysunek 3.2.8.



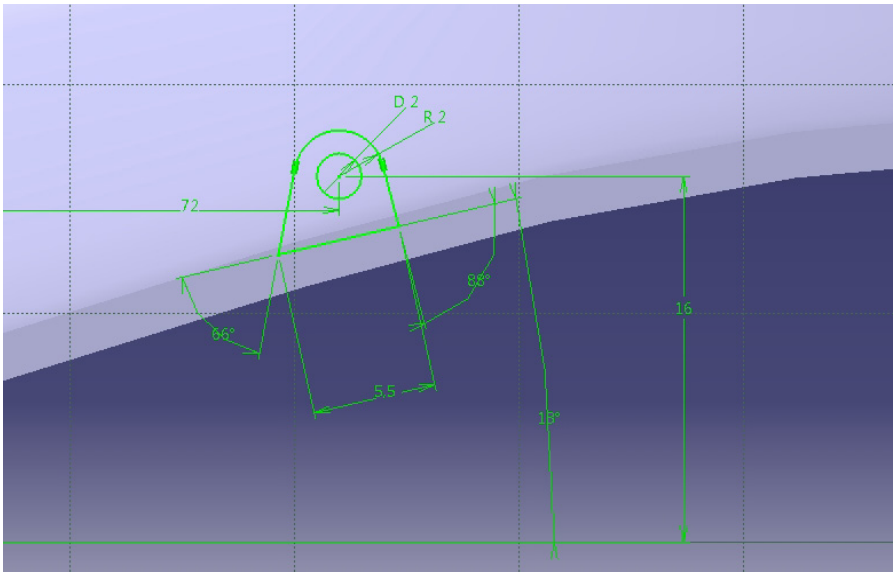
Rys. 3.2.8. Zarys otworu pod włącznik

W celu stworzenia otworu na podstawie szkicu wykorzystano narzędzie *Pocket* zawarte w module *Part Design* – rysunek 3.2.9.

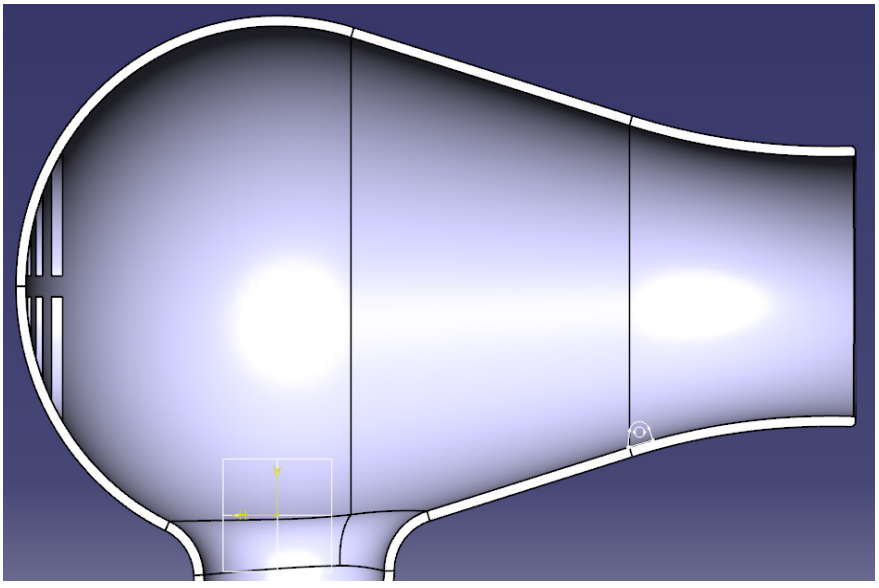


Rys. 3.2.9. Otwór pod włącznik suszarki

Następnie należało wykonać mocowania służące do połączenia lewej i prawej części obudowy suszarki. Aby to osiągnąć w środowisku szkicownika narysowano zarys mocowania – rysunek 3.2.10 oraz rysunek 3.2.11.

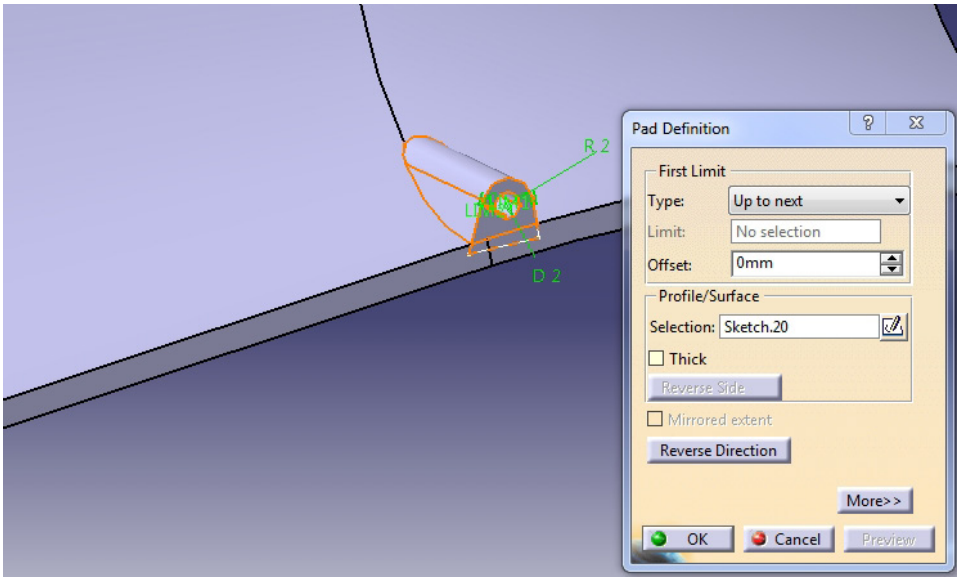


Rys. 3.2.10. Szkic mocowania obudowy suszarki



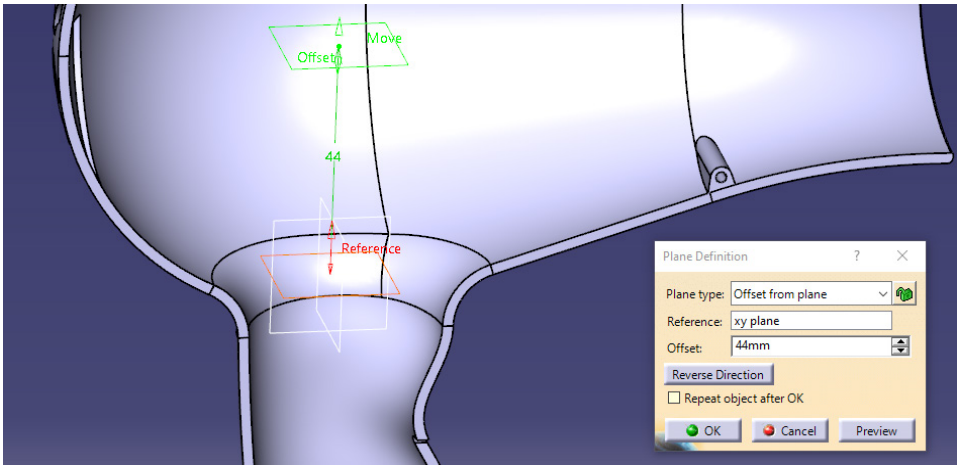
Rys. 3.2.11. Usytuowanie szkicu w przestrzeni

Potem wykorzystano narzędzie *Pad* , przy czym wybrano stworzony szkic i jako *First limit*/*Type* zaznaczono *Up to next*, zgodnie z rysunkiem 3.2.12.



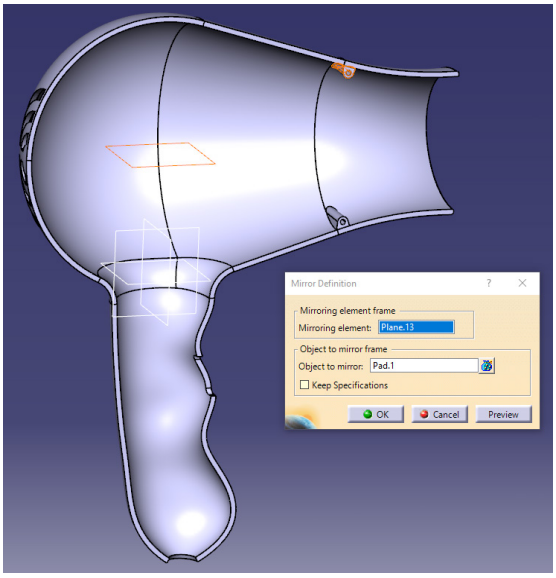
Rys. 3.2.12. Geometria pierwszego mocowania

Wprowadzono płaszczyznę do wykonania następnego mocowania, używając do tego metody odbicia cechy. W tym celu wykorzystano narzędzie *Plane* typu *Offset from plane* i zdefiniowano parametry zgodnie z rysunkiem 3.2.13.



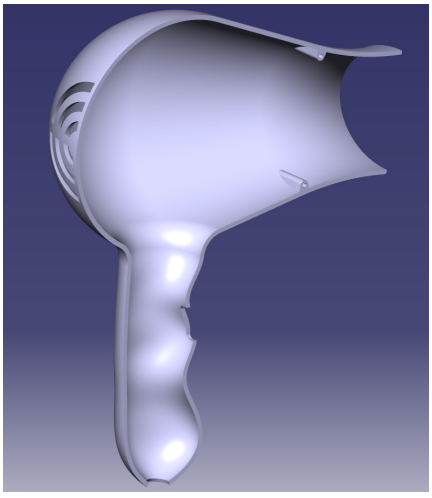
Rys. 3.2.13. Płaszczyzna odbicia mocowania

Aby uzyskać symetryczne mocowania użyto narzędzie *Mirror*, następnie wybrano płaszczyznę odbicia oraz obiekt odbijany. Rezultat zastosowania narzędzia zaprezentowano na rysunku 3.2.14.



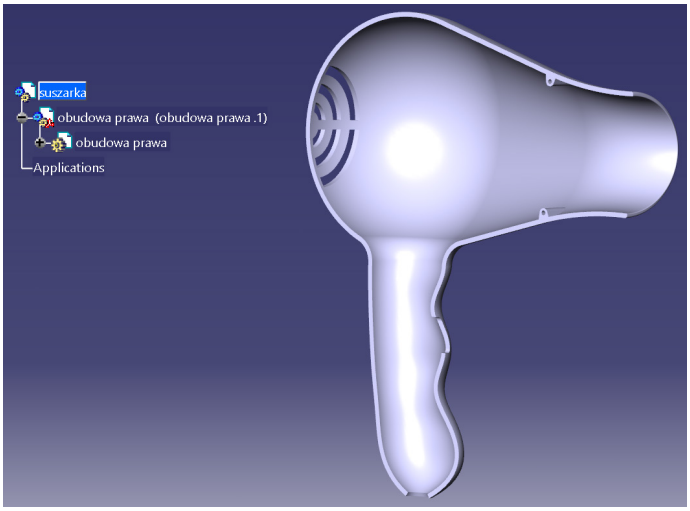
Rys. 3.2.14. Drugie mocowanie

Otrzymany model prawej części obudowy suszarki, stworzony przy wykorzystaniu modelowania hybrydowego, zaprezentowano na rysunku 3.2.15.



Rys. 3.2.15. Model prawej części obudowy suszarki

Lewą połowę obudowy suszarki otrzymano opierając się o gotową prawą część obudowy. W tym celu należało najpierw zmienić środowisko systemu *CATIA V5* na moduł do generowania złożeń Assembly Design. Nazwę złożenia *Product1* zastąpiono na *suszarka*. Poprzez wybranie *Insert/Existing Component* wczytano plik obudowa prawa (obudowa prawa .1) – rysunek 3.2.16.



Rys. 3.2.16. Drzewo złożenia modelu

W następnym kroku skopiowano część obudowa prawa (obudowa prawa .1), wklejając ją do pliku złożenia *suszarka*. W skopiowanym pliku zmieniono nazwę *obudowa prawa* na *obudowa lewa* na wszystkich poziomach drzewa modelu, w których występowała – rysunek 3.2.17.



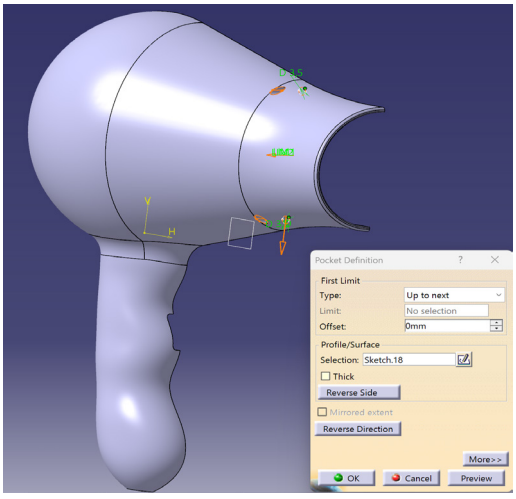
Rys. 3.2.17. Drzewo pliku złożenia

Poprzez dwukrotne kliknięcie modelu bryłowego obudowa prawa wskazana część została poddana edycji, a system zmienił moduł na *Part Body*. W celu stworzenia symetrycznej translacji części wykorzystano narzędzie *Symmetry*, co zaprezentowano na rysunku 3.2.18.



Rys. 3.2.18. Model lewej części obudowy suszarki

Dwie części obudowy docelowo połączone ze sobą będą za pomocą wkrętów. Z tego powodu konieczne było zmodyfikowanie wygenerowanej lewej części obudowy i wykonanie w niej gniazd pod wkręty mocujące – rysunek 3.2.19.



Rys. 3.2.19. Model prawej części obudowy suszarki z otworami mocującymi

Na rysunku 3.2.20. zaprezentowano złożenie obudowy suszarki z wyświetlonym drzewem modelu.

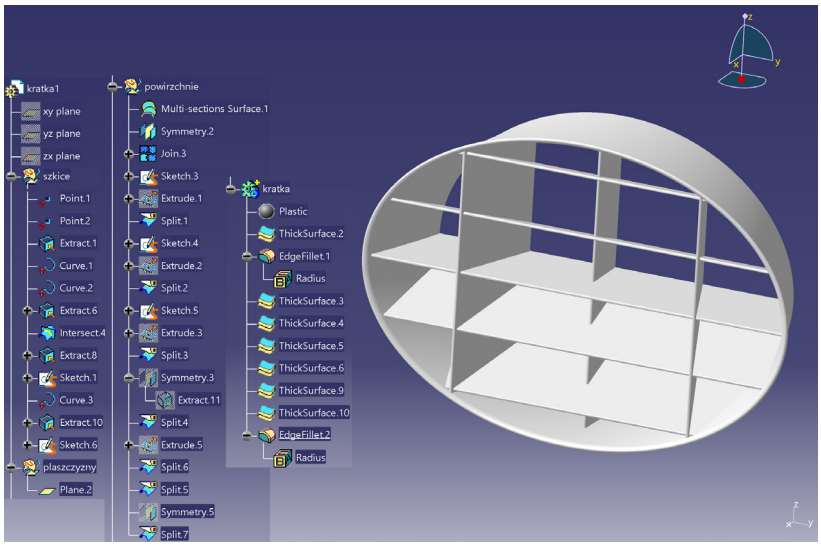


Rys. 3.2.20. Model złożeniowy suszarki

3.2.3. Opcjonalny model obudowy suszarki

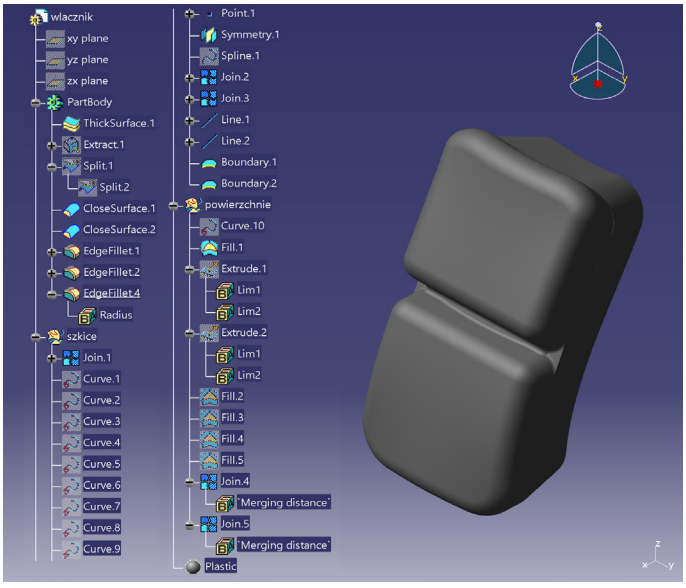
Model złożeniowy, przedstawiony poniżej, umożliwił niezależną modyfikację poszczególnych części obudowy. Z tego powodu możliwe było wykonanie napisu na prawej części obudowy. Dodatkowo złożenie zostało rozbudowane w oparciu o części niewystępujące wcześniej: kratkę wylotową oraz włącznik. Proces modelowania tych części nie wnosi nic nowego do treści przedstawionych w podręczniku, dlatego ich opis został skrócony do prezentacji graficznej procedur ich stworzenia. Części wykonano przy użyciu techniki projektowania hybrydowego w systemie *CATIA V5*.

Na rysunku 3.2.21 przedstawiono wirtualny obiekt bryłowy kratki nawiewu suszarki do włosów oraz drzewo modelu.



Rys. 3.2.21. Model kratki nawiewu

Natomiast na rysunku 3.2.22 zaprezentowano model 3D włącznika suszarki wraz ze strukturą operacji wykorzystanych w ramach tworzenia modelu *CAD*.



Rys. 3.2.22. Model włącznika

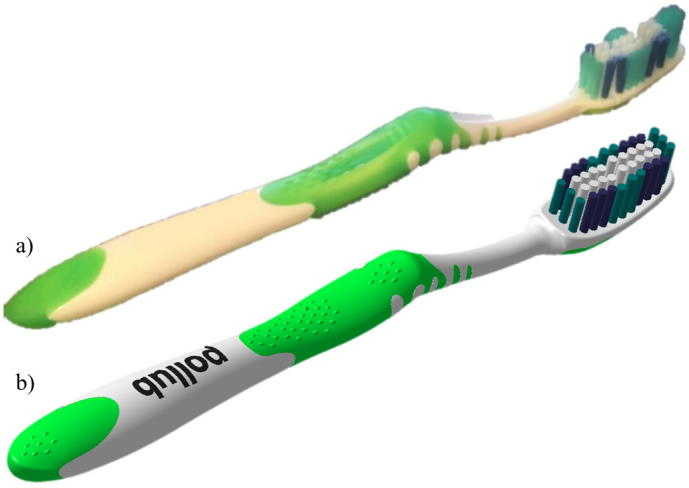
Na rysunku 3.2.23 przedstawiono model złożeniowy suszarki, zawierający zmodyfikowane części obudowy oraz opcjonalne modele: kratkę oraz włącznik.



Rys. 3.2.23. Model złożeniowy suszarki

4. Projekt szczoteczki

W tej części podręcznika zaprezentowano algorytm projektowania hybrydowego umożliwiającego odwzorowanie rzeczywistego obiektu na podstawie jego kształtu wczytanego do systemu *CATIA V5*. Przedstawiono technikę projektowania *CAD*, bazującą na zdjęciach lub szkicach obiektu rzeczywistego. W tym przypadku proces modelowania polegał na obrysowywaniu wprowadzonych realnych zarysów (w postaci zdjęć lub szkiców), na podstawie których wygenerowano geometrię modelu 3D. Takie podejście stanowi pewnego rodzaju inżynierię odwrotną, ponieważ model wirtualny powstaje przy użyciu wprowadzonych informacji charakteryzujących realny obiekt. Model 3D stworzony dzięki zdjęciom rzeczywistej szczoteczki do zębów zaprezentowano na rysunku 4.1.



Rys. 4.1. Szczoteczka do zębów: a) obiekt rzeczywisty, b) model *CAD*

Proces projektowania przeprowadzono metodą modelowania hybrydowego wykorzystującą technikę modelowania powierzchniowego (*Generative Shape Design* Generative Shape Design) oraz bryłowego (*Part Design* Part Design). Projekt rozpoczęto od wczytania zdjęć z plików zewnętrznych do środowiska systemu *CATIA V5*. Etap ten polegał na odpowiednim spozycjonowaniu i ustawieniu wspólnej skali dwóch zdjęć. Zdjęcia, prezentujące szczoteczkę od góry i od boku, usytuowano na prostopadłych płaszczyznach i wprowadzono ich wymiary, tak żeby reprezentowały rzeczywiste gabaryty obiektu. W celu uporządkowania operacji zachodzących w procesie modelowania, dostosowano strukturę drzewa modelu, rozbudowując ją o nowe sekcje geometryczne. Wczytane zdjęcia posłużyły do stworzenia bazowych szkiców w postaci zarysów zewnętrznych: od boku i od góry szczoteczki. Narysowano centralną krzy-

wą opisującą kształt wzdłużny obiektu (prowadnicę), która wykorzystana została do zdefiniowania 17 płaszczyzn pomocniczych w kierunku normalnym do niej. Na nich naszkicowano zarysy zmiennych przekroi poprzecznych szczoteczki. Otrzymana geometria użyta została do wygenerowania powierzchni głównej szczoteczki. Stworzono dodatkowe płaszczyzny, w celu zamknięcia powierzchni głównej na jej końcach. Scalono przygotowane elementy i skontrolowano ciągłość geometrii. Powierzchnię bazową wykorzystano do wygenerowania modelu bryłowego szczoteczki, który zamodelowano poprzez zdefiniowanie objętości wykonanej powierzchni.

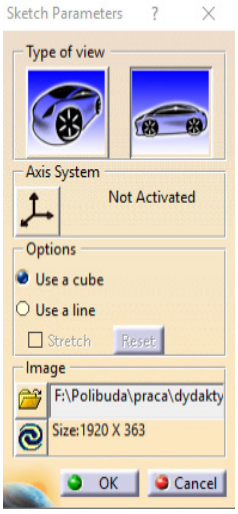
Kolejne kroki modelowania szczoteczki polegały na równoległym użyciu modułu bryłowego i powierzchniowego. Tą techniką docięto główkę szczoteczki i wyodrębniono obszary powlekane gumą z bryły obiektu. Poprzez przygotowanie szkiców i zrzutowanie ich na geometrię bryły stworzono włókna i wręby główki oraz wypustki obszarów gumowych szczoteczki.

4.1. Model powierzchniowy szczoteczki

Model *CAD* stworzono na podstawie wcześniej wykonanych zdjęć rzeczywistego obiektu. W procesie modelowania wykorzystano dwa zdjęcia prezentujące szczoteczkę w rzucie z przodu i z góry. Zdjęcia przesłano do środowiska systemu *CATIA V5* przy wykorzystaniu modułu *Sketch Tracer*.

4.1.1. Zdjęcia rzeczywistego obiektu

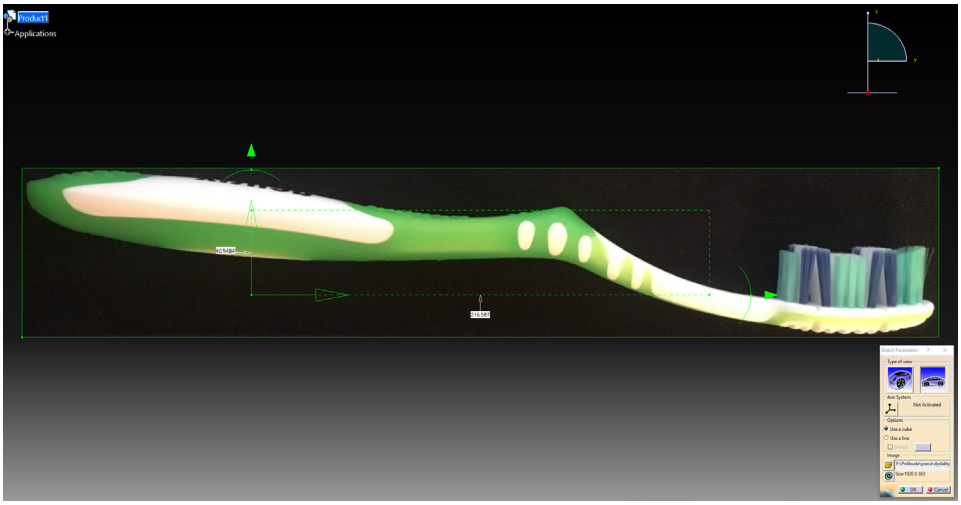
Otwarto nowy plik typu *Shape* i wczytano dwa zdjęcia szczoteczki w odpowiednich rzutach. Wybrano moduł Sketch Tracer znajdujący się pod adresem: *Start/Shape/Sketch Tracer*.



Rys. 4.1.1. Okno dialogowe narzędzia *Create an Immersive Sketch*

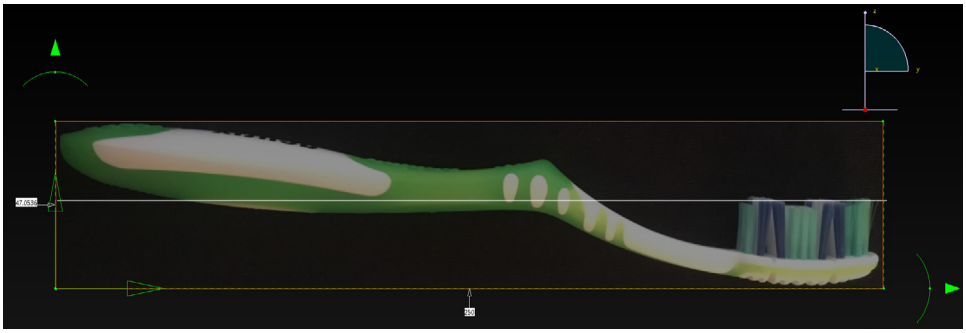
W otwartym module zmieniono typ wyświetlania obiektu na Shading with Material, co umożliwiło wyświetlenie wstawianych zdjęć. Wybrano rzut z przodu Front View, na którym zostało wczytane pierwsze zdjęcie.

Krok wstawiania pierwszego zdjęcia polega na wykorzystaniu narzędzia Create an Immersive Sketch (rys. 4.1.1) oraz wybraniu wcześniej przygotowanego zdjęcia szczoteczki w formacie .jpg, zaprezentowanego na rysunku 4.1.2.



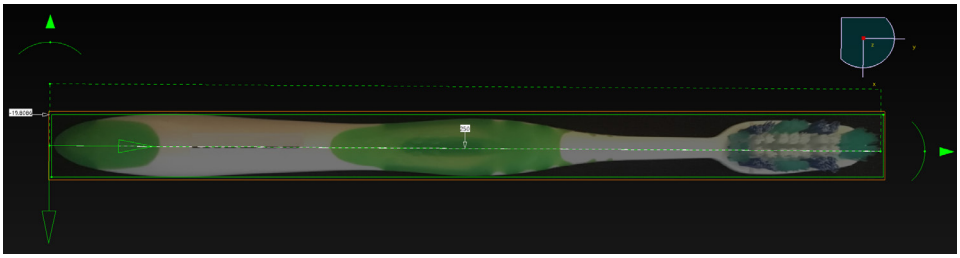
Rys. 4.1.2. Pierwsze zdjęcie

Zdjęcie należy dopasować do wymiarów modelowanego obiektu z pozycji użytego narzędzia. W tym celu określono długość zdjęcia równą 250 mm, natomiast wymiar pionowy pozostawiono jako wynikowy. Układ współrzędnych ustawiono zgodnie z rysunkiem 4.1.3. Tak usytułowane zdjęcie zostało zapisane poprzez zatwierdzenie narzędzia *Create an Immersive Sketch*.

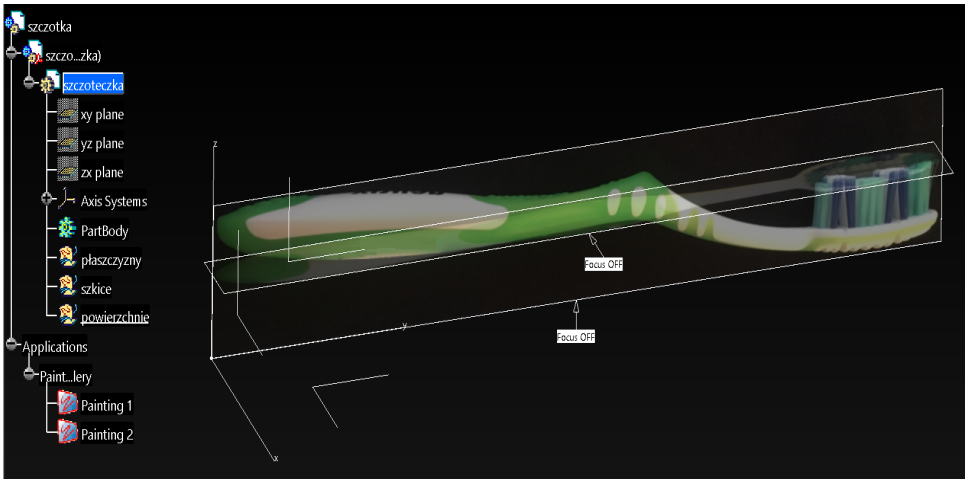


Rys. 4.1.3. Pozycja zdjęcia *frontview.jpg*

Drugie zdjęcie obiektu prezentuje górną część szczoteczki i zostało umiejscowione na rzucie Top View, przy ponownym użyciu narzędzia Create an Immersive Sketch oraz wybraniu drugiego zdjęcia. Pozycjonowanie oraz rozmiar zdjęcia przyjęto tak, aby odpowiadało parametrom pierwszego zdjęcia, co zaprezentowano na rysunku 4.1.4. Wczytane w ten sposób zdjęcie zostało zapisane poprzez zatwierdzenie użytego uprzednio narzędzia. Na rysunku 4.1.5 przedstawiono efekt przeprowadzonych czynności projektowych.



Rys. 4.1.4. Pozycja 2 zdjęcia

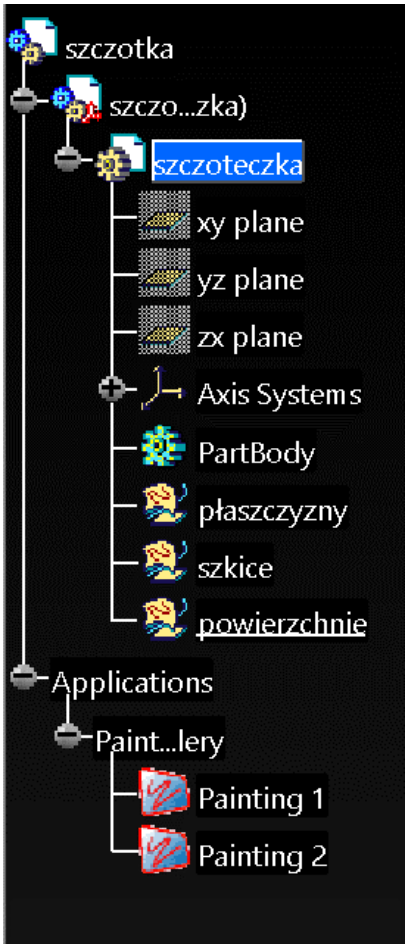


Rys. 4.1.5. Widok przestrzenny zdjęć

4.1.2. Struktura drzewa modelu

Zaawansowane modele powierzchniowe wykonywane są w oparciu o szereg różnego rodzaju geometrii pomocniczych. Umieszczanie takich elementów swobodnie w drzewie modelu sprawia, że jest ono nieczytelne, a modyfikacja konkretnego kroku modelowania może być często problematyczna. Z tego powodu ważne jest klasyfikowanie poszczególnych elementów geometrii pomocniczej. W systemie *CATIA V5* odbywa się to poprzez tworzenie nowych sekcji geometrycznych Geometrical Set...

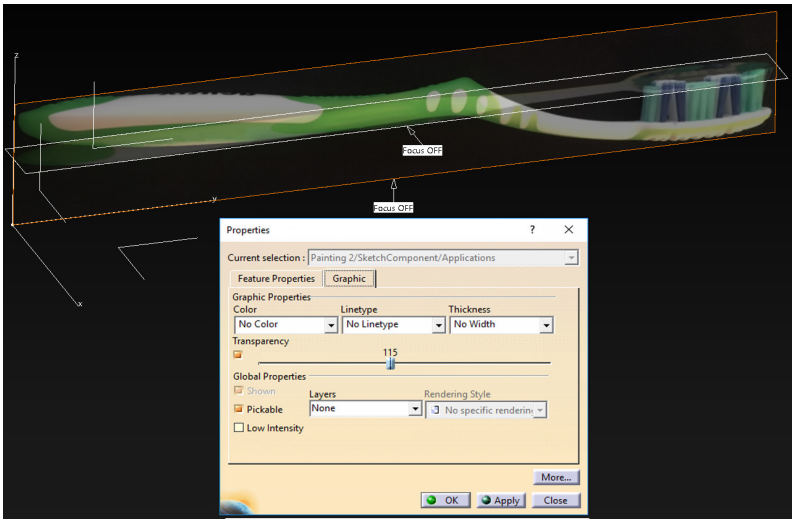
W celu stworzenia struktury drzewa modelu szczoteczki zmieniono moduł na Generative Shape Design i wykonano trzy następujące sekcje geometryczne: *płaszczyzny*, *szkice* oraz *powierzchnie*. Strukturę tak przygotowanego drzewa modelu zaprezentowano na rysunku 4.1.6.



Rys. 4.1.6. Drzewo struktury modelu

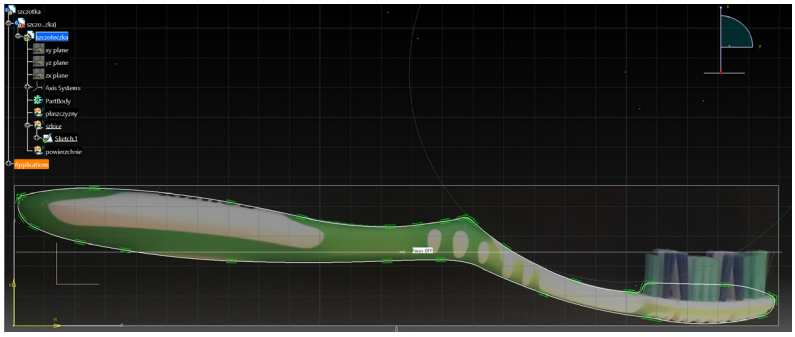
4.1.3. Zarys modelu

Proces stworzenia zarysu rozpoczęto od zmiany sposobu wyświetlania wstawionych zdjęć. W ustawieniach zdjęć określono ich transparentność, zgodnie z rysunkiem 4.1.7.

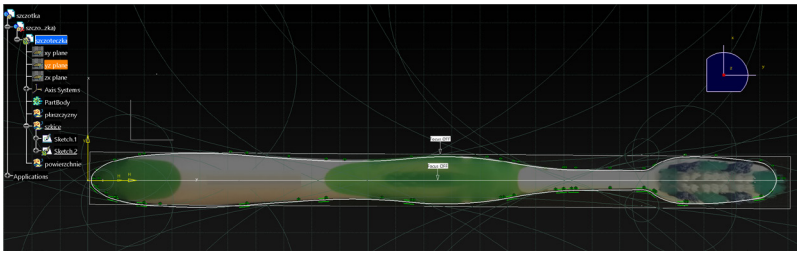


Rys. 4.1.7. Transparentności zdjęcia

Na płaszczyznach *xy* oraz *yz* wykonano szkice kształtu szczoteczki. W celu zapewnienia lepszej jakości powierzchni nie wybrano narzędzia *Spline,* lecz zarys przygotowano przy użyciu łuków stycznych i narzędzia *Profile*. Rysunki 4.1.8 oraz 4.1.9 prezentują zarysy powstałe na podstawie zdjęć, natomiast rysunek 4.1.10 przedstawia szkic prowadnicy kształtu stworzony na płaszczyźnie *yz*.

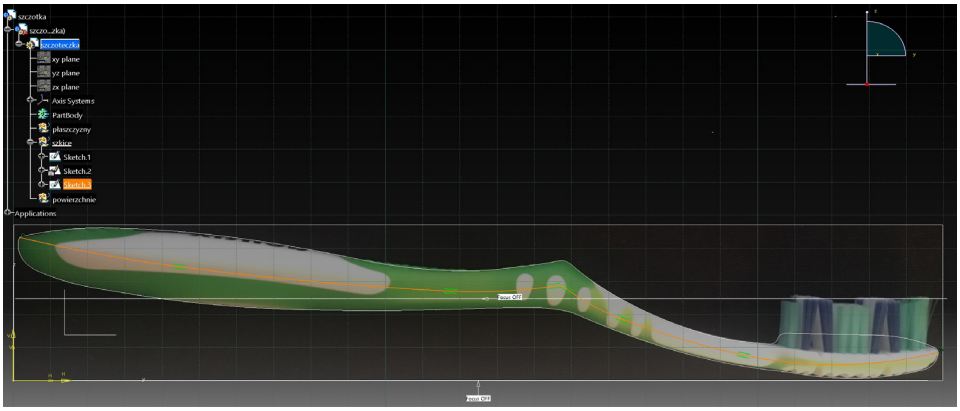


Rys. 4.1.8. Szkic 1 – obrys boczny



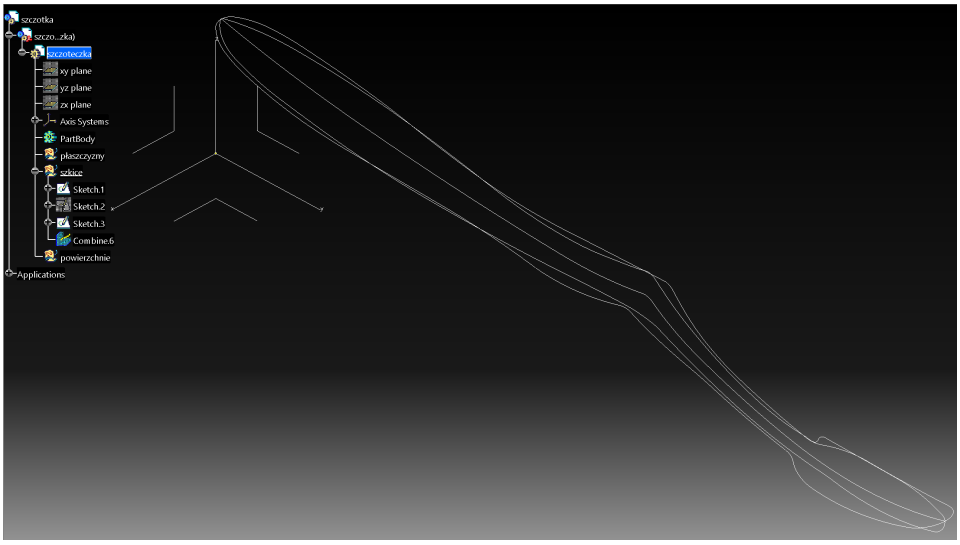
Rys. 4.1.9. Szkic 2 – obrys z góry

Od dokładności wykonanych szkiców zależy jakość otrzymanej powierzchni, a w rezultacie dokładność modelu bryłowego szczoteczki. Z tego powodu wszystkie szkice zbudowane są na podstawie stycznych łuków.



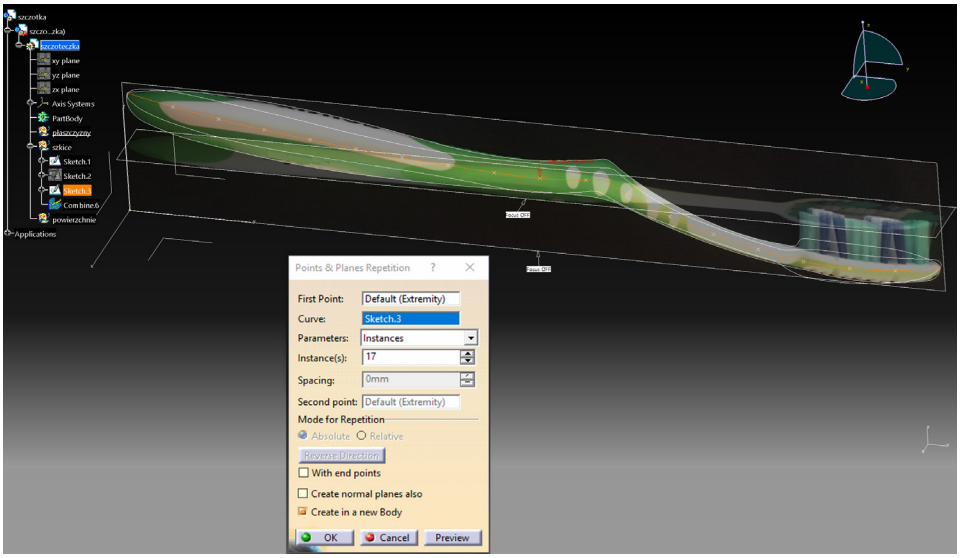
Rys. 4.1.10. Szkic 3 – prowadnica geometrii szczoteczki

Kolejny etap polegał na wygenerowaniu krzywej przestrzennej na podstawie szkiców: *Sketch.2* oraz *Sketch.3*. Do tego zadania wykorzystano narzędzie Combine. Efekt jego zastosowania zaprezentowano na rysunku 4.1.11.



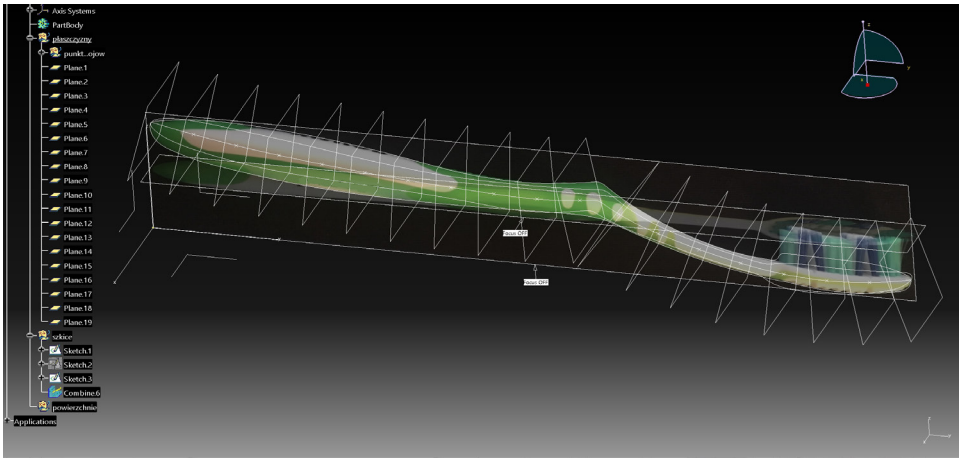
Rys. 4.1.11. Zarys szczoteczki

W następnym kroku narysowano sekcje poprzeczne. W tym celu wykonano 17 punktów na rysunku *Sketch.3*, na podstawie których wprowadzone zostaną płaszczyzny sekcji poprzecznych. Wykorzystano do tego narzędzie Points and Planes Repetition. Wynik użycia narzędzia *Points and Plates Repetition* zaprezentowano na rysunku 4.1.12.



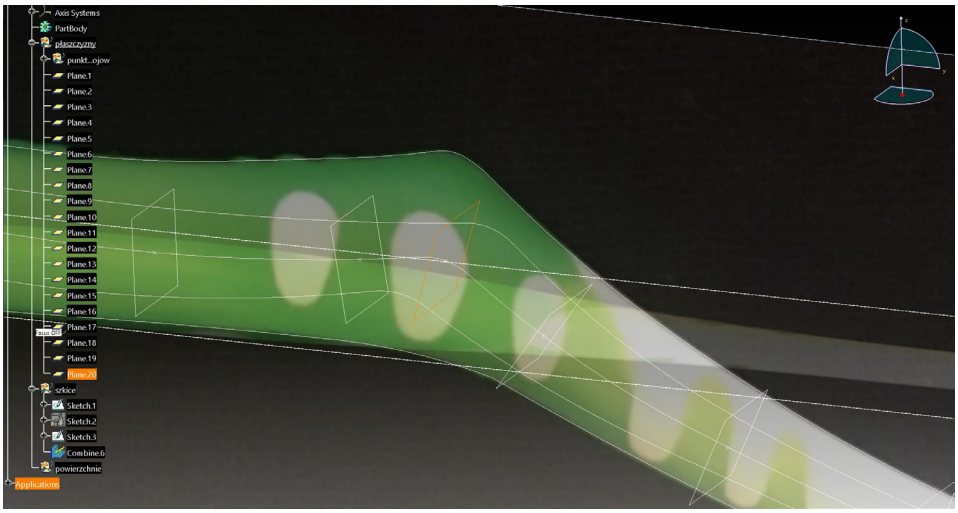
Rys. 4.1.12. Punkty na szkicu

Na rysunku *Sketch.3*, w wyznaczonych wcześniej punktach, umieszczono płaszczyzny typu *Normal to curve*. Efekt przeprowadzonych prac przedstawiono na rysunku 4.1.13.

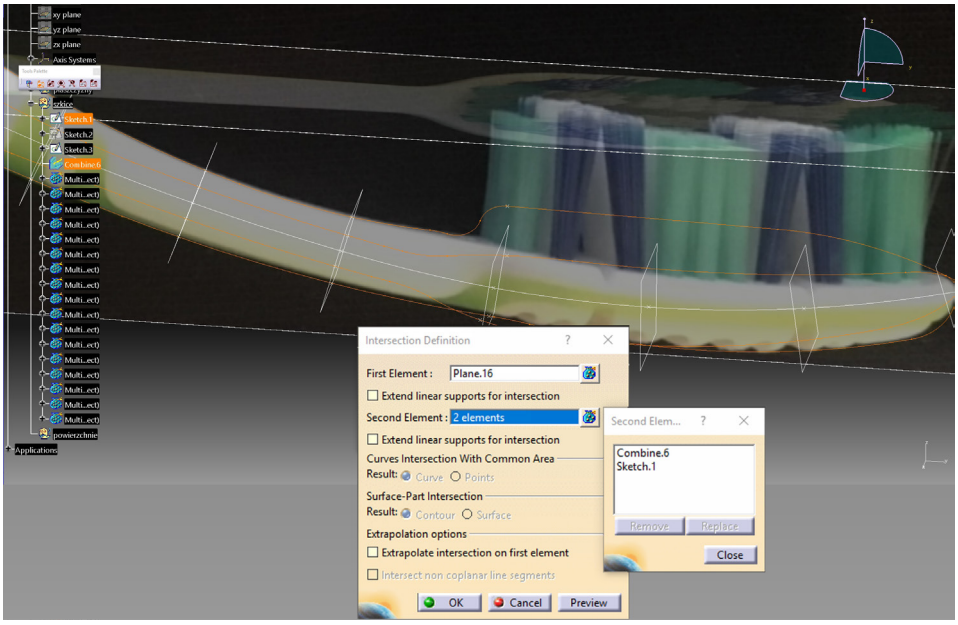


Rys. 4.1.13. Płaszczyzny poprzeczne powierzchni szczoteczki

Gęstość płaszczyzn, na których wykonano szkice, wpływa na jakość wykonanej powierzchni. Na podstawie analizy rozmieszczenia płaszczyzn względem krzywizny szczoteczki stwierdzono konieczność wprowadzenia jeszcze jednej płaszczyzny (*Plane*). Uzyskany efekt prezentuje rysunek 4.1.14.



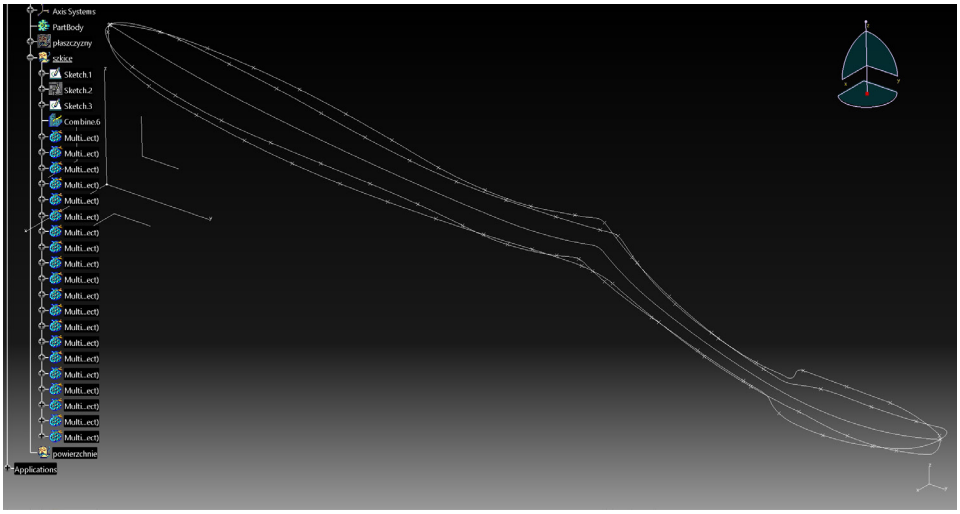
Rys. 4.1.14. Płaszczyzna w miejscu załamania szczoteczki



Rys. 4.1.15. Punkty w miejscu przecięcia płaszczyzny ze szkicami

Przygotowana w ten sposób geometria umożliwiła zdefiniowanie punktów, na podstawie których wykonano poszczególne sekcje przekrojów poprzecznych. Do tego wybrano narzędzie *Intersection* i określono punkty przecięcia każdej wprowadzonej płaszczyzny ze *Sketch.1* oraz *Combine*. Punkty stworzone za pomocą pojedynczej płaszczyzny zaprezentowano na rysunku 4.1.15.

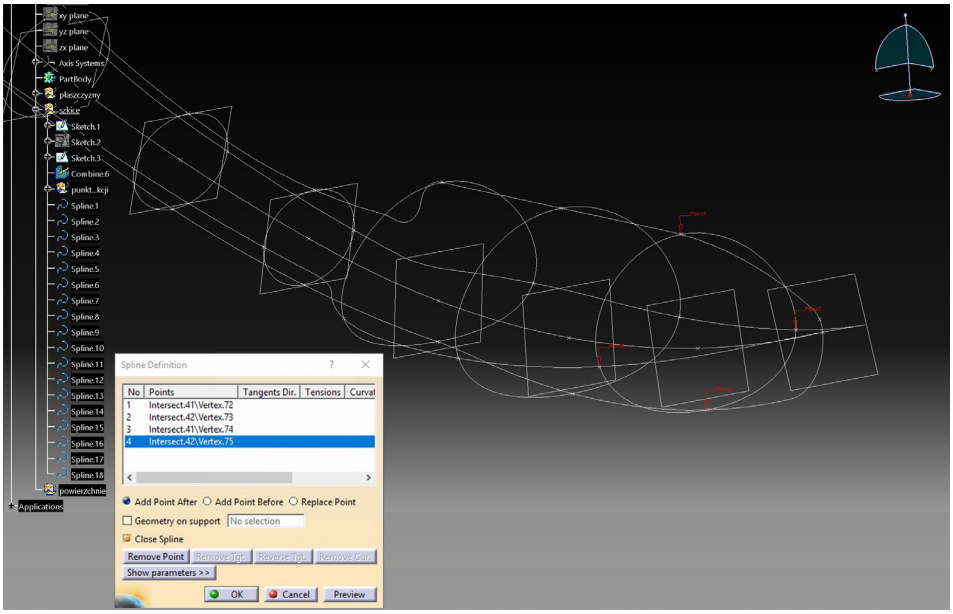
W celu przyspieszenia zadania i wykonania punktów we wszystkich płaszczyznach za pomocą jednego kroku, zmodyfikowano polecenie *Intersection* i jako *First element* zaznaczono wszystkie wprowadzone płaszczyzny. Na każdej płaszczyźnie poprzecznej wygenerowane zostały cztery punkty. Uzyskany efekt zaprezentowano na rysunku 4.1.16.



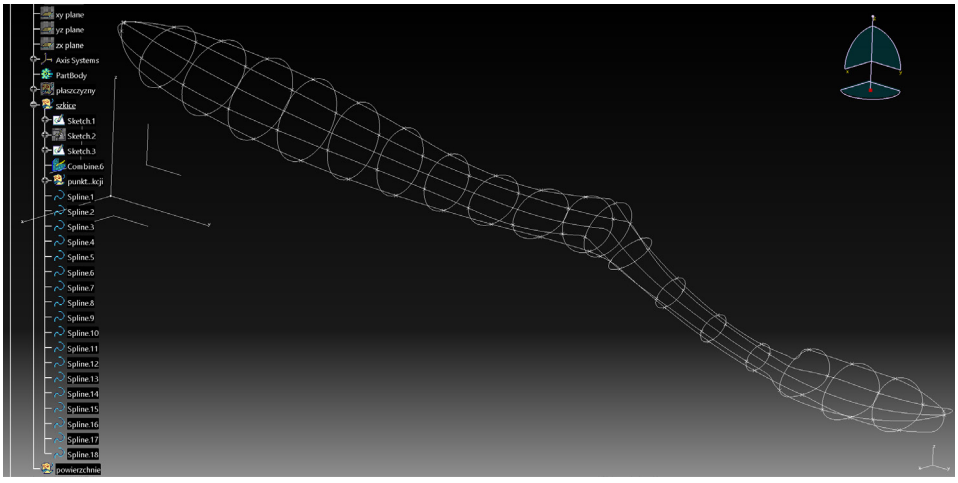
Rys. 4.1.16. Punkty szkicu

Następne zadanie dotyczyło stworzenia zarysów poprzecznych szczoteczki na każdej wykonanej płaszczyźnie poprzecznej. W tym celu użyto narzędzia *Spline* i na podstawie wcześniej określonych punktów wykonano zarysy przekrojów. Uzyskanie pojedynczego zarysu umożliwiło wskazanie czterech kolejnych punktów, leżących na danej płaszczyźnie poprzecznej przy zaznaczonej opcji *Close Spline*, która odpowiada za domknięcie krzywej – rysunek 4.1.17. W taki sposób przygotowano wszystkie zarysy poprzeczne.

Na rysunku 4.1.18. zaprezentowano kompletną geometrię konstrukcyjną modelowanego obiektu 3D. Taka geometria umożliwiła wykonanie modelu powierzchniowego szczoteczki.



Rys. 4.1.17. Sekcja poprzeczna typu *Spline*

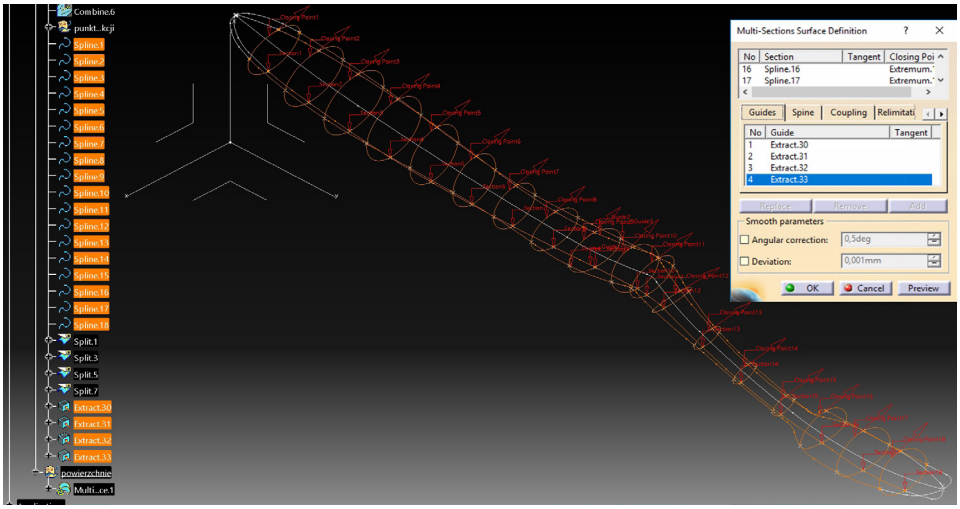


Rys. 4.1.18. Geometria konstrukcyjna obiektu

4.1.4. Model powierzchni bazowej obiektu

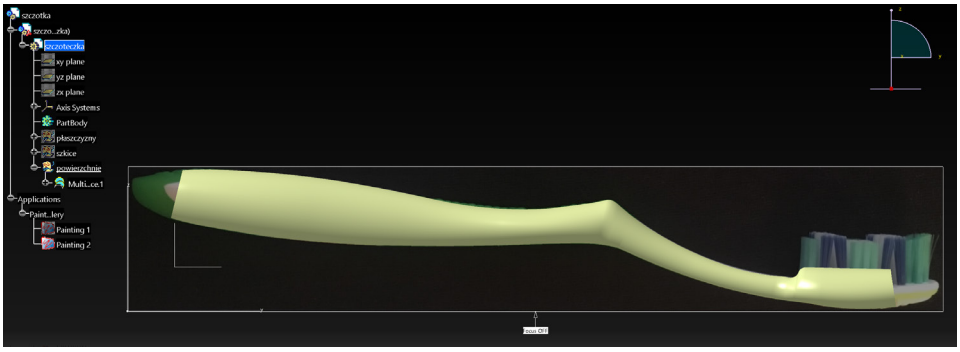
Realizację zadania rozpoczęto od wybrania z drzewa modelu sekcji geometrycznej *powierzchnie*. Za pomocą narzędzia *Multi-Section Surface*, wykonano pierwszą powierzchnię szczoteczki. Wygląd okna polecenia *Multi-Section Surface* zaprezentowa-

no na rysunku 4.1.19. Należy pokreślić, że wygenerowanie tej powierzchni wymagało wskazania prowadnic typu *Guide*, które zaczynały i kończyły się w skrajnych sekcjach (*Section 1* i *Section 18*).



Rys. 4.1.19. Powierzchnia wyciągnięcie przez przekroje poprzeczne

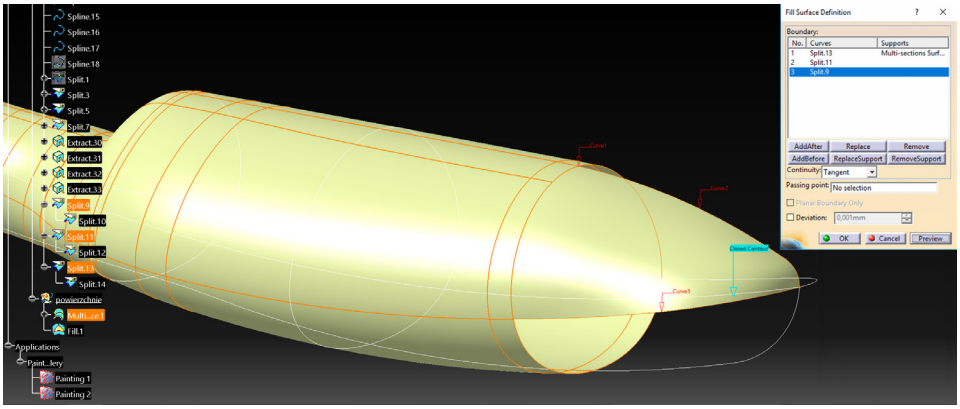
Po zaakceptowaniu zdefiniowanego powyżej polecenia *Multi-Section Surface* otrzymano główną powierzchnie szczoteczki przedstawioną na rysunku 4.1.20.



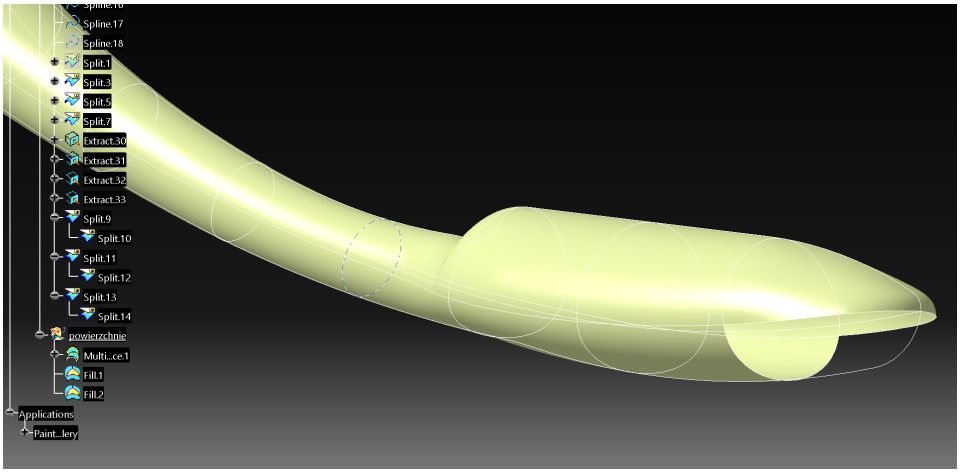
Rys. 4.1.20. Główna powierzchnia szczoteczki

Powierzchnia przedstawiona na rysunku 4.1.20 została następnie zamknięta poprzez zdefiniowanie powierzchni początkowej i końcowej szczoteczki. Ten etap modelowania powierzchniowego został opisany pobieżnie, z uwagi na posiadane przez czytelnika umiejętności w zakresie obsługi systemu *CAD*. Przedstawiono wyłącznie niezbędne informacje i rysunki, celem ułatwienia wykonania kolejnych zadań projektowych i uzyskania modelu końcowego.

Aby przygotować przedstawione na rysunkach 4.1.21–4.1.25 powierzchnie potrzebny był odpowiedni podział linii obrysu obiektu i skrajnych sekcji. Do tego zadania wykorzystano narzędzie *Split*. Etap modelowania przedstawiony na rysunku 4.1.21 przeprowadzono w oparciu o zdefiniowanie narzędzia *Fill*.

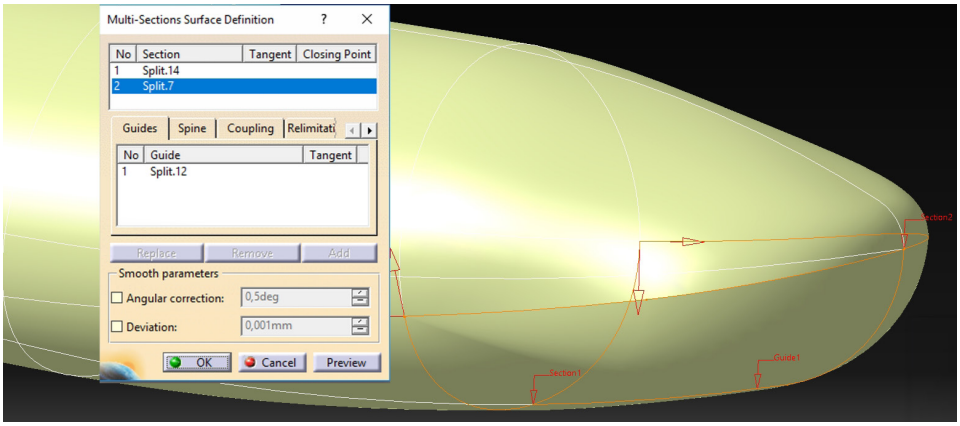


Rys. 4.1.21. Powierzchnia typu *Fill*



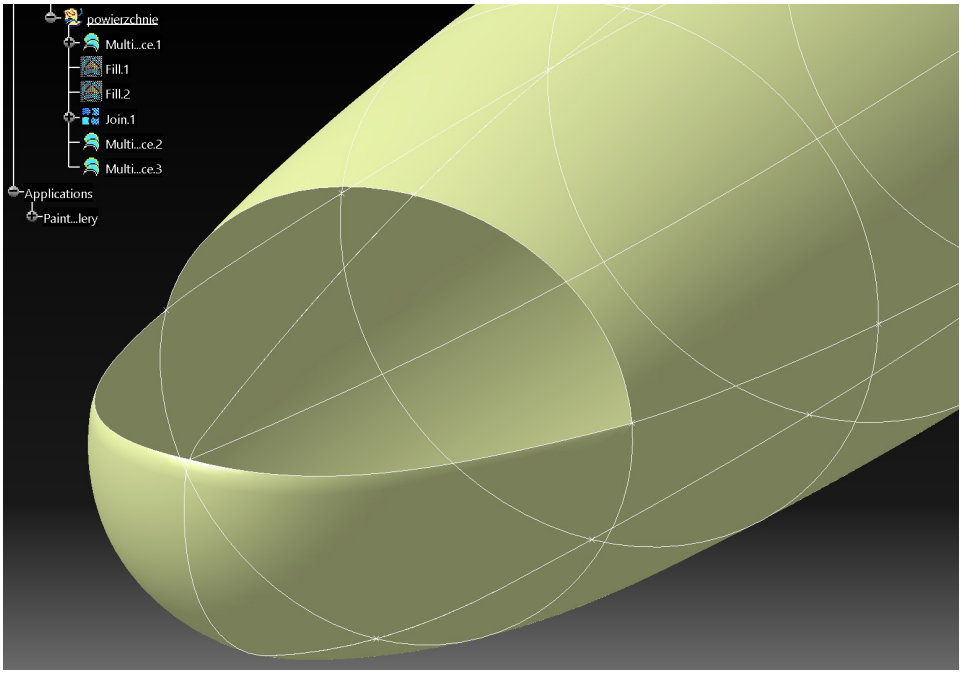
Rys. 4.1.22. Rezultat zrealizowanych czynności

Efekt wykorzystania narzędzia *Fill*, w celu wykonania dwóch symetrycznych powierzchni znajdujących się w części główki szczoteczki, zaprezentowano na rysunku 4.1.22. Przygotowane powierzchnie zostały połączone z powierzchnią główną narzędziem *Join*. Dolna powierzchnia części główki została zdefiniowana przy użyciu narzędzia *Multi-Section Surface*, co zaprezentowano na rysunku 4.1.23.



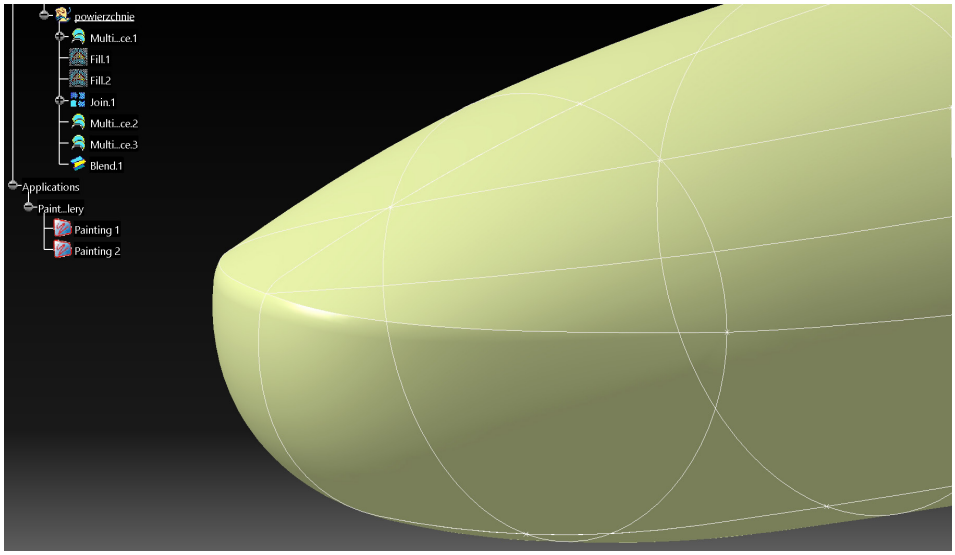
Rys. 4.1.23. Powierzchnia typu *Multi-Section Surface*

Za pomocą dwóch narzędzi wykonano powierzchnię końcową części uchwytu szczoteczki. Pierwszym użytym narzędziem w tym kroku było *Multi-Section Surface* , przy czym zdefiniowano je analogicznie jak wcześniej. W efekcie zastosowania tego polecenia otrzymano dolną powierzchnię przedstawioną na rysunku 4.1.24.



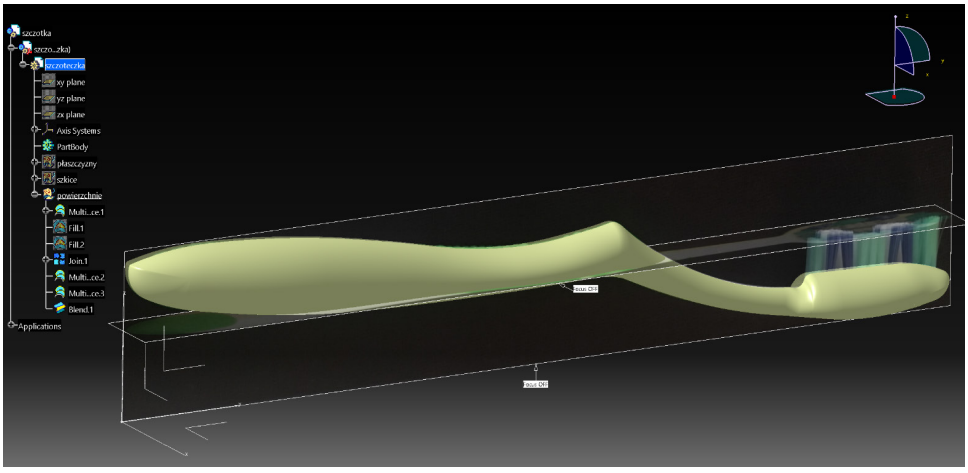
Rys. 4.1.24. Efekt wykorzystania polecenia *Multi-Section Surface*

Do wykonania górnej powierzchni części końcowej uchwytu szczoteczki wykorzystano narzędzie *Blend* , co zaprezentowano na rysunku 4.1.25.



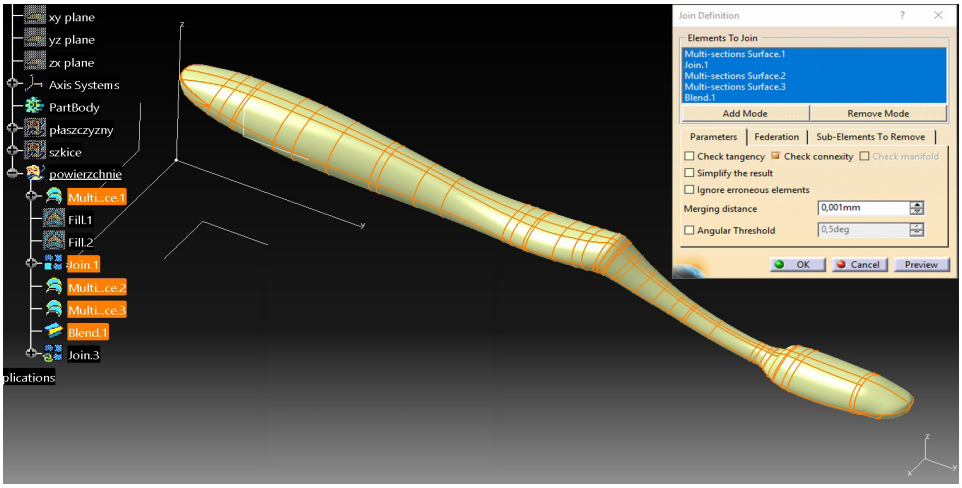
Rys. 4.1.25. Efekt wykorzystania polecenia *Blend*

W efekcie zastosowania powyższych poleceń otrzymano kompletną geometrię modelu szczoteczki, odwzorowującą obiekt rzeczywisty – rysunek 4.1.26.



Rys. 4.1.26. Kompletna powierzchnia szczoteczki

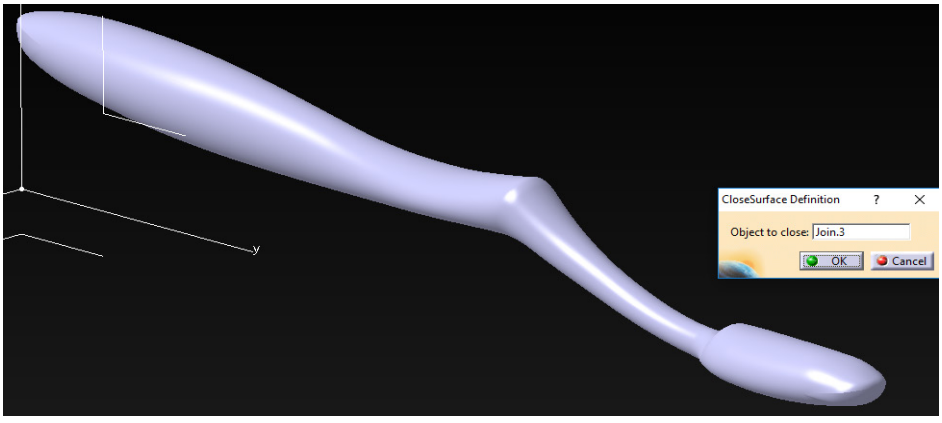
W ostatnim kroku, zgodnie z rysunkiem 4.1.27, połączono stworzone powierzchnie, używając do tego narzędzie *Join* .



Rys. 4.1.27. Monolityczna powierzchnia szczoteczki

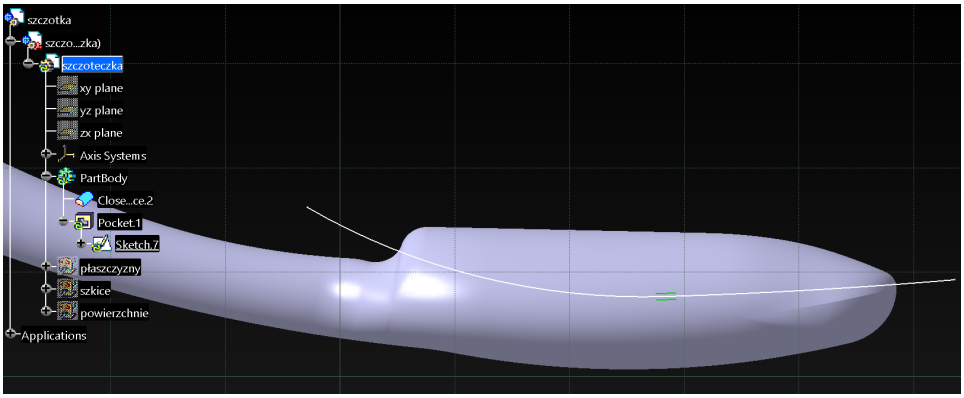
4.2. Model hybrydowy szczoteczki

Kolejny etap projektu przeprowadzony został równolegle w dwóch modułach: powierzchniowym *Generative Shape Design* oraz bryłowym *Part Design*. W tym celu wybrano moduł służący do modelowania bryłowego. Model bryłowy otrzymano na podstawie wykonanej powierzchni za pomocą narzędzia *Close Surface* . Po zatwierdzeniu narzędzia ukryto powierzchnie, aby wyświetlić wyłącznie model bryłowy. Efekt działania zaprezentowano na rysunku 4.2.1.



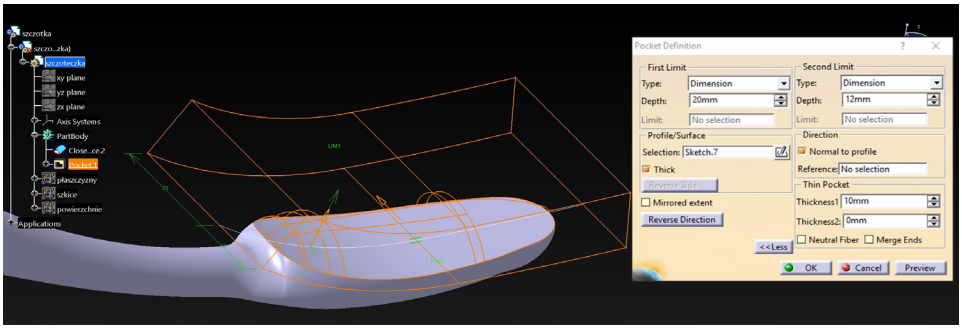
Rys. 4.2.1. Model bryłowy szczoteczki

Otrzymany obiekt bryłowy został poddany dalszym modyfikacjom. W pierwszej kolejności na płaszczyźnie *yz* stworzono szkic zaprezentowany na rysunku 4.2.2.



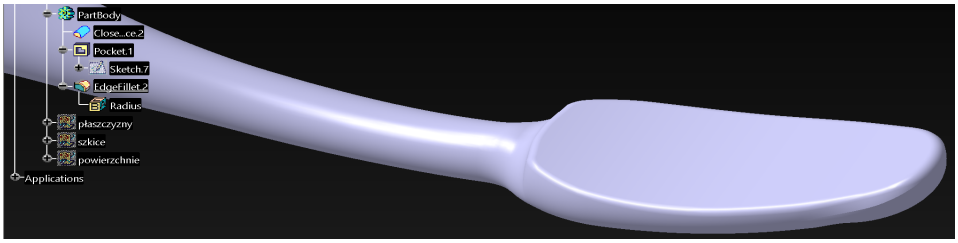
Rys. 4.2.2. Zarys wycięcia

Na podstawie przygotowanego zarysu wykonano wycięcie za pomocą narzędzia *Pocket*, z zaznaczoną opcją *Thick* i kierunkiem zgodnie z rysunkiem 4.2.3.



Rys. 4.2.3. Wycięcie typu *Pocket*

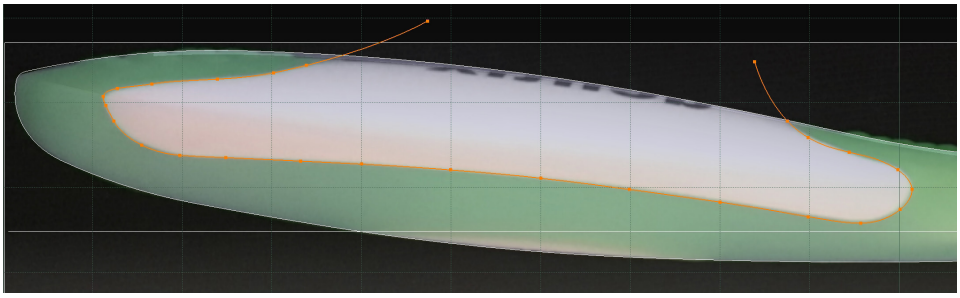
W wyniku wycięcia powstały ostre krawędzie, które przy użyciu narzędzia *Edge Filet* zostały zaokrąglone, co zaprezentowano na rysunku 4.2.4.



Rys. 4.2.4. Efekt zastosowania narzędzia *Edge Filet*

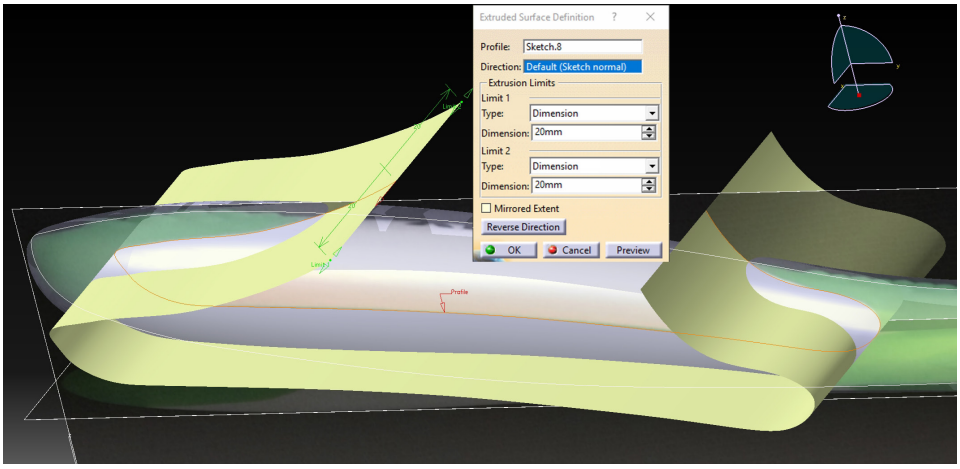
4.2.1. Cechy szczegółowe obiektu

Ten etap modelowania dotyczył odwzorowania detali szczoteczki, takich jak elementy gumowe, włókna i wypustki. W celu stworzenia elementów gumowych należało zmienić przezroczystość modelu bryłowego na 25%. Tak przygotowany obiekt posłużył do wykonania zarysu szczegółu w środowisku szkicownika, co zaprezentowano na rysunku 4.2.5. Szkic umieszczony został w sekcji geometrycznej o nazwie *szkice*.



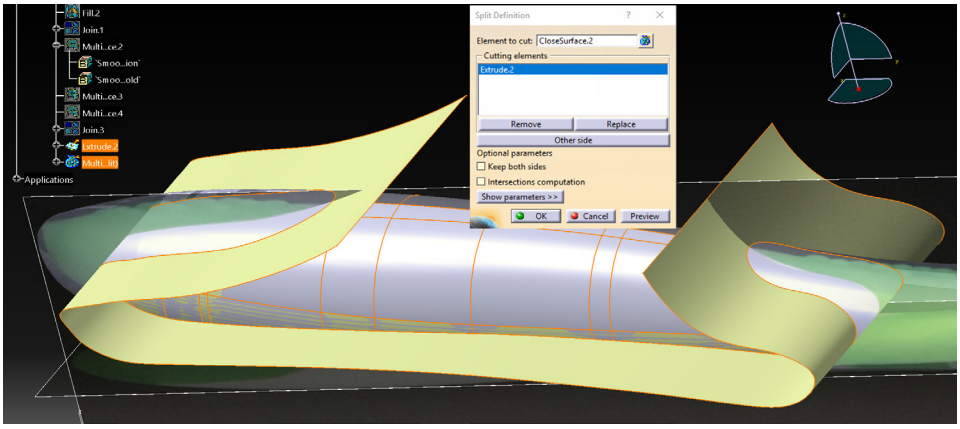
Rys. 4.2.5. Zarys elementu gumowego

Na podstawie szkicu wykonano wyciągnięcie przy wykorzystaniu narzędzia *Extrude* , tak jak przedstawiono to na rysunku 4.2.6. Polecenie wyciągnięcia umieszczono w sekcji geometrycznej *powierzchnie*.



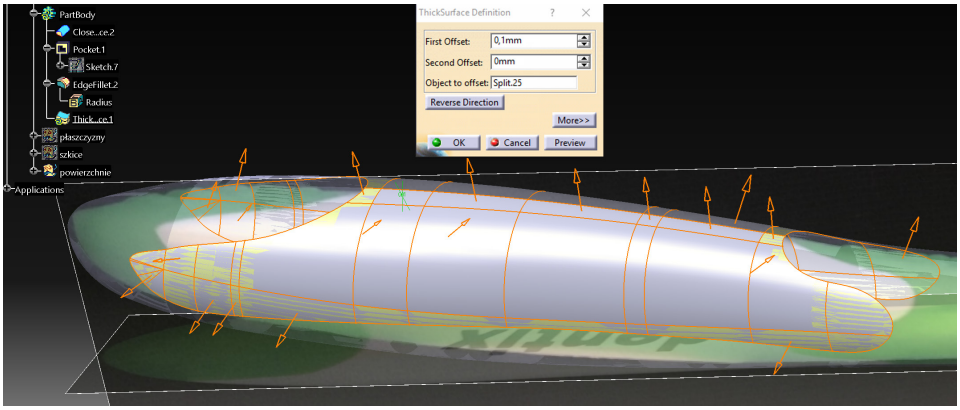
Rys. 4.2.6. Powierzchnia przecięcia typu *Extrude*

Przygotowana w ten sposób geometria pomocnicza posłużyła do podziału obiektu za pomocą powierzchni. Zadanie wykonano przy użyciu narzędzia *Split* i zdefiniowano je zgodnie z rysunkiem 4.2.7. W wyniku takiego działania otrzymano nową powierzchnię leżącą w miejscu białego gumowego elementu szczoteczki.



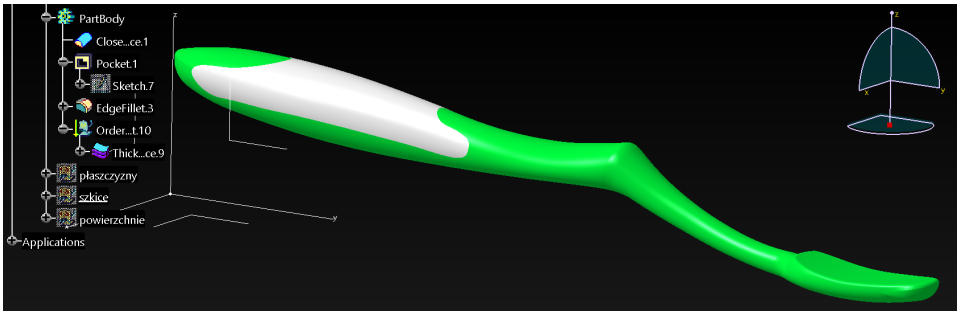
Rys. 4.2.7. Powierzchnia elementu gumowego

Obszary gumowe w rzeczywistej szczoteczce charakteryzuje pogrubienie względem pozostałej jej części. W celu odwzorowania takiej cechy w modelu wirtualnym użyto narzędzia *ThickSurface* i nadano wykonanej powierzchni grubości zgodne z rysunkiem 4.2.8.



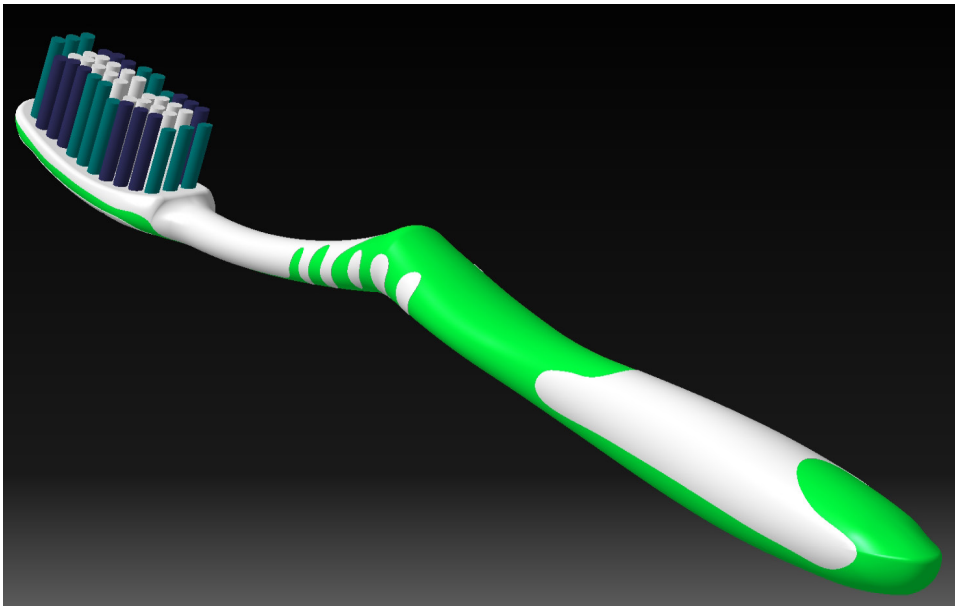
Rys. 4.2.8. Model bryłowy elementu gumowego

W wyniku przeprowadzonych czynności otrzymano obiekt bryłowy szczoteczki składający się z dwóch części. Model szczoteczki z częścią gumową w postaci cienkościennej bryły zaprezentowano na rysunku 4.2.9.



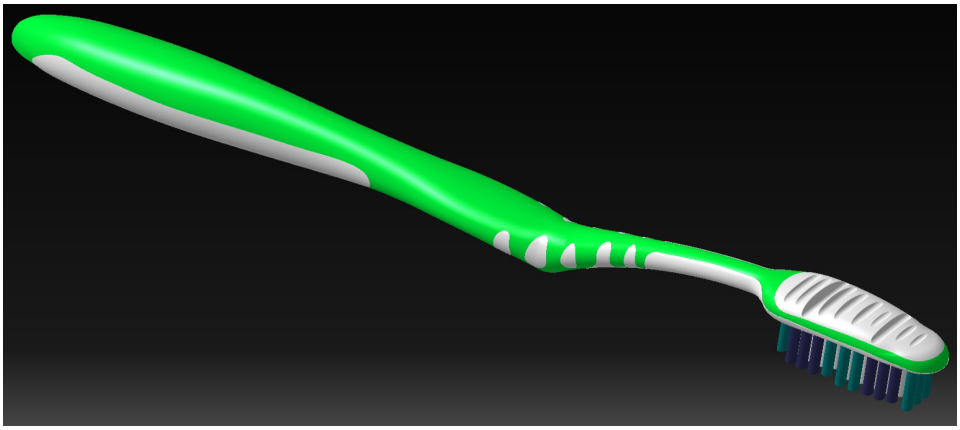
Rys. 4.2.9. Szczoteczka z elementem gumowym

Analogicznie przygotowano pozostałe elementy gumowe szczoteczki. Włókna zostały stworzone przez wyciągnięcie okręgów wykonanych w oparciu o zdjęcie górnej części szczoteczki. Na rysunku 4.2.10 zaprezentowano rezultat zrealizowanych czynnościprojektowych.



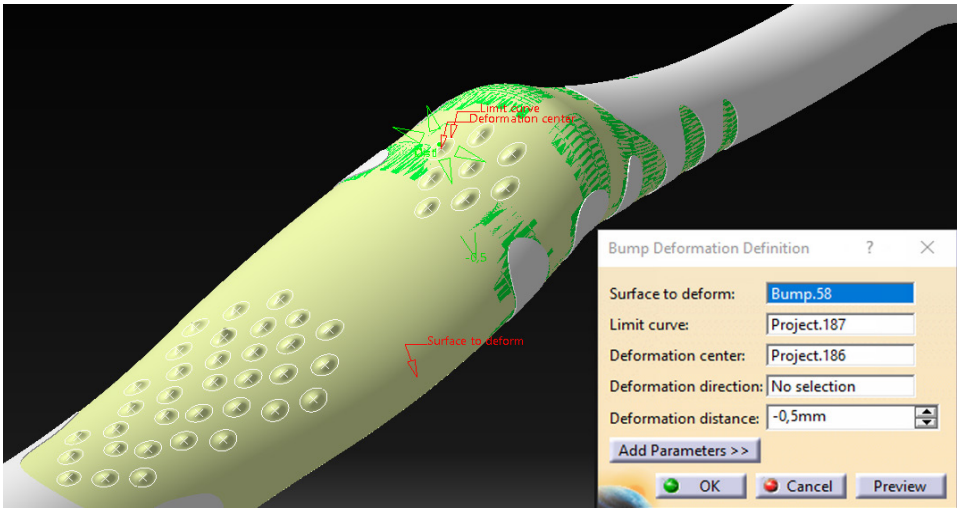
Rys. 4.2.10. Model szczoteczki z włóknami

Stworzono pozostałe detale modelu, w celu pełnego odwzorowania obiektu rzeczywistej szczoteczki. Wykorzystano do tego omówione dotąd techniki projektowania hybrydowego. Na rysunku 4.2.11 przedstawiono wręby w dolnej części główki szczoteczki.



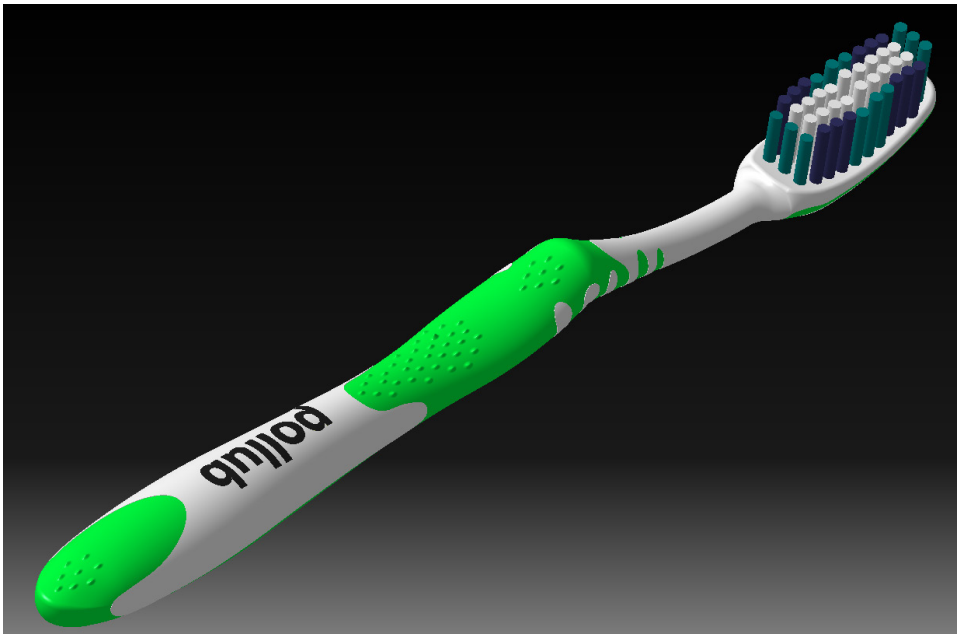
Rys. 4.2.11. Model szczoteczki z wrębami

Szczoteczka posiadała detal w postaci eliptycznych wypustek. W celu ich odwzorowania należało wykonać adekwatny do zdjęć szkic elips z wyznaczonymi środkami, które zrzutowano na powierzchnie modelowanego obiektu. Tak przygotowana geometria posłużyła do wykonania wypustek przy wykorzystaniu narzędzia *Bump* . Wygląd okna polecenia *Bump* zaprezentowano na rysunku 4.2.12.

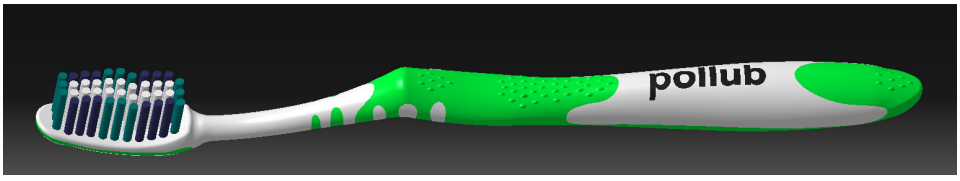


Rys. 4.2.12. Efekt zastosowania narzędzia *Bump* do wykonania wypustek

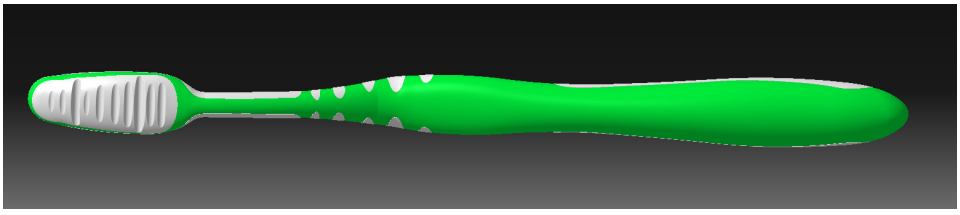
Finalny obiekt 3D szczoteczki stworzony techniką modelowania hybrydowego zaprezentowano na rysunkach 4.2.13–4.2.15.



Rys. 4.2.13. Finalny model szczoteczki



Rys. 4.2.14. Widok szczoteczki z widocznymi detalami



Rys. 4.2.15. Dolna strona szczoteczki

5. Podsumowanie

Treści zawarte w podręczniku opisują wybrane techniki projektowania hybrydowego łączącego metody modelowania powierzchniowego oraz bryłowego. Podręcznik podzielono na trzy główne rozdziały prezentujące projekty zaawansowanych geometrycznie wirtualnych obiektów 3D.

W ramach projektu otwieracza przedstawiono metodę weryfikacji geometrii elementarnej, polegającą na analizowaniu rozkładu krzywizny poszczególnych krzywych. Takie podejście umożliwia sprawdzenie jakości wykonywanych elementów i ich bezinwazyjne skorygowanie w procesie modelowania powierzchniowego. Należy dodać, że błędy popełnione podczas wykonywania geometrii elementarnej są przenoszone na powierzchnie, a potem na finalny model. Naprawa jakości takiego obiektu jest problematyczna oraz czasochłonna i może nie przynieść żądanego efektu.

Projekt obudowy suszarki opisuje zaawansowaną technikę modelowania hybrydowego. W ramach tego rozdziału przedstawiono praktyczne zastosowanie szeregu narzędzi systemu *CATIA V5,* umożliwiających wykonywanie zaawansowanych modeli *CAD* o zastosowaniu mechaniczno-estetycznym.

Ostatni przedstawiony w podręczniku projekt omawia technikę modelowania w oparciu o zdjęcia rzeczywistego obiektu. Takie podejście stanowi pewnego rodzaju inżynierię odwrotną, ponieważ model wirtualny powstaje na podstawie wprowadzonych informacji charakteryzujących realny przedmiot. W tym rozdziale opisano technikę modelowania hybrydowego umożliwiającą odwzorowanie rzeczywistego obiektu szczoteczki poprzez wykorzystanie jej zdjęć, które zaimportowano do środowiska systemu *CATIA V5*.

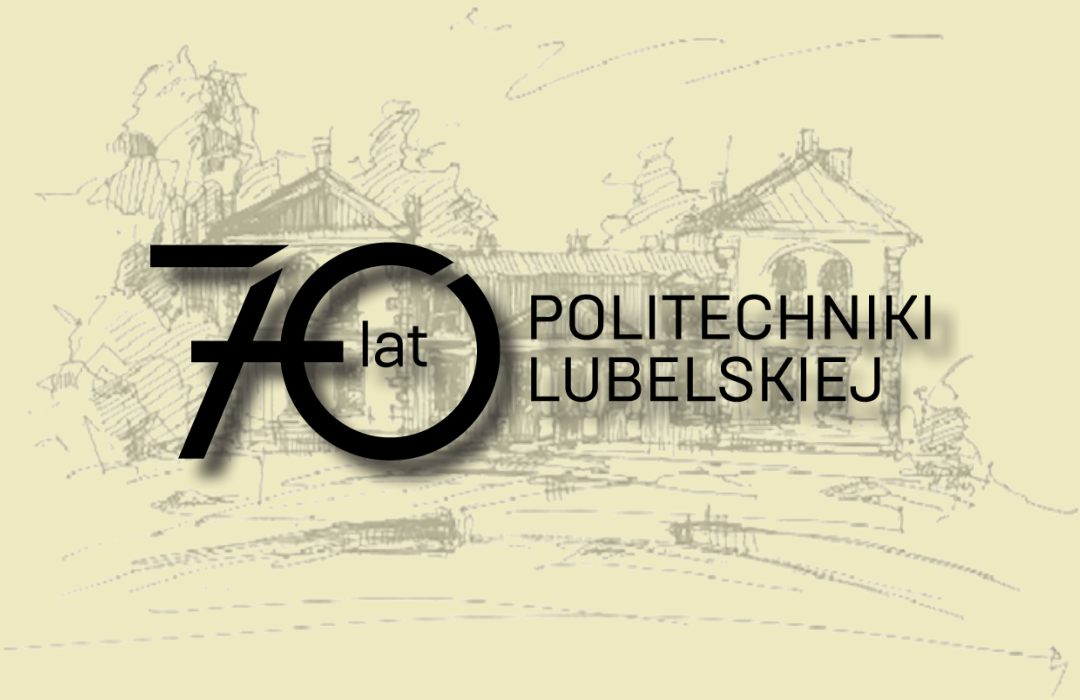
Proces modelowania w oparciu o komputerowe wspomaganie projektowania przedstawiono w formie przykładów ćwiczeniowych. Każdy z nich stanowi algorytm opisujący kompletny proces modelowania i może być odwzorowany przez czytelnika. Należy podkreślić, że treści zawarte w podręczniku stanowią rozszerzenie techniki modelowania hybrydowego. Skierowane są one do odbiorcy posiadającego podstawowe umiejętności wykorzystania modułów: powierzchniowego i bryłowego systemu *CATIA V5* w procesie projektowania obiektów 3D o zastosowaniu estetycznym i mechaniczno-estetycznym.

Literatura

1. Skarka W., Mazurek A.: *Podstawy modelowania i zapisu konstrukcji*, Wydawnictwo Helion, Gliwice 2005.
2. Sydor M.: *Wprowadzenie do CAD: podstawy komputerowo wspomaganego projektowania*, Wydawnictwo PWN, Warszawa 2009.
3. Śliwa Z.: *Modelowanie bryłowe części maszyn przy użyciu modułu Part Design systemu Catia V5*, Wydawnictwo Instytut Technologii i Eksploatacji, Radom 2004.
4. Wełyczko A.: *Catia V5. Przykłady efektywnego wykorzystania systemu w projektowaniu mechanicznym*, Wydawnictwo Helion, Gliwice 2005.
5. Wełyczko A.: *CATIA V5. Sztuka modelowania powierzchniowego*, Wydawnictwo Helion, Gliwice 2010.
6. Wyleżoł M.: *Catia. Modelowanie bryłowe. Przykłady i ćwiczenia*, Wydawnictwo Helion, Gliwice 2002.
7. Wyleżoł M.: *CATIA. Podstawy modelowania powierzchniowego i hybrydowego*, Wydawnictwo Helion, Gliwice 2003.
8. Wyleżoł M.: *Modelowanie powierzchniowe i hybrydowe w systemie Catia v.5*, Wydawnictwo Helion, Gliwice 2003.
9. Wysmulski P.: *Podstawy projektowania powierzchniowego w systemie CATIA V5*, Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2021.
10. Wysmulski P.: *Metodyka modelowania powierzchniowego w systemie CATIA V5*, Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2022.

POLITECHNIKA LUBELSKA

PODRĘCZNIKI



ISBN 978-83-7947-560-5