



Paweł Wysmulski

Metodyka modelowania powierzchniowego w systemie CATIA V5



P
O
D
R
Ę
C
Z
N
I
K
I

Metodyka modelowania powierzchniowego w systemie CATIA V5

Podręczniki – Politechnika Lubelska



POLITECHNIKA
LUBELSKA
WYDZIAŁ
MECHANICZNY

Paweł Wysmulski

Metodyka modelowania powierzchniowego w systemie CATIA V5



POLITECHNIKA
LUBELSKA
WYDAWNICTWO

Lublin 2022

Recenzenci:

dr hab. inż. Jakub Gajewski, prof. uczelni, Politechnika Lubelska

dr inż. Adrian Gliszczyński, Politechnika Łódzka

Publikacja wydana za zgodą Rektora Politechniki Lubelskiej

© Copyright by Politechnika Lubelska 2022

ISBN: 978-83-7947-510-0

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

Druk: Soft Vision Mariusz Rajski
www.printone.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


1. WSTĘP	7
CZĘŚĆ I METODYKA PROJEKTOWANIA POWIERZCHNIOWEGO	11
2. MODEL WSPORNIKA	13
3. MODEL RURY ELASTYCZNEJ	19
4. MODEL KRZYŻAKA	29
5. MODEL POKRĘTŁA	43
CZĘŚĆ II PROJEKTOWANIE MODELI HYBRYDOWYCH	55
6. MODEL KOLEKTORA	57
6.1. Model powierzchniowy kolektora	57
6.1.1. Geometria podstawowa modelu kolektora	58
6.1.2. Powierzchnia modelu kolektora	62
6.2. Model hybrydowy kolektora	68
7. MODEL FLAKONU OZDOBNEGO	75
7.1. Model powierzchniowy flakonu ozdobnego	75
7.1.1. Geometria podstawowa modelu butelki	76
7.1.2. Geometria podstawowa modelu wieczka	82
7.1.3. Powierzchnia modelu butelki	85
7.1.4. Powierzchnia modelu wieczka	93
7.2. Model hybrydowy flakonu ozdobnego	97
8. ZAKOŃCZENIE	113
LITERATURA	115




1. WSTĘP

Projektowanie wspomagane komputerowo (*computer aided design*, CAD) opiera się na wykorzystaniu specjalistycznego oprogramowania komputerowego w procesie projektowania technicznego [1–9]. Wirtualne odwzorowanie wyrobu polega na wykonaniu modelu komputerowego konstrukcji, na podstawie którego opracowywana jest jego cyfrowa dokumentacja techniczna. Współczesne systemy CAD oferują szerokie możliwości projektowe, w ramach jednego oprogramowania możliwe jest wykonanie modelu składającego się m.in. z części bryłowych, cienkościennych giętych z blachy czy elementów opisywanych za pomocą powierzchni (modelowanie powierzchniowe).

Modelowanie powierzchniowe polega na wirtualnym projektowaniu definiującym geometrię na podstawie jej powierzchni. W niniejszym podręczniku zajęto się opisem metodyki modelowania powierzchniowego przy wykorzystaniu systemu CAD – *CATIA V5* firmy *Dassault Systèmes*.

Proces projektowania hybrydowego polega na równoległym wykorzystaniu dwóch metod modelowania 3D: techniki modelowania powierzchniowego [5, 7, 8] oraz techniki modelowania bryłowego [1–4, 6]. Metody te posiadają swoje ograniczenia. Technika projektowania bryłowego znajduje odpowiednie zastosowanie w procesie modelowania obiektów charakteryzujących się płaskimi ścianami oraz kształtami powstałymi poprzez obrót zarysów 2D. Modelowanie powierzchniowe najlepiej sprawdza się podczas definiowania poszczególnych ścian obiektu o skomplikowanej geometrii przestrzennej. Umiejętne wykorzystanie tych technik umożliwia wykonywanie modeli o zaawansowanych kształtach, których geometria nie jest możliwa do uzyskania w efekcie użycia jednej z wymienionych metod modelowania.

W systemie *CATIA V5*  proces modelowania hybrydowego możliwy jest przy zastosowaniu modułów:

- *Generative Shape Design*  – moduł powierzchniowy,
- *Part Design*  – moduł bryłowy,
- *FreeStyle*  – moduł służący do dynamicznego projektowania wszystkich typów elementów powierzchni (omówiony w pracy w sposób szczegółowy ze względu na złożoność narzędzi oferowanych w ramach modułu).

Na rysunku 1.1. przedstawiono w sposób graficzny wykorzystanie metody modelowania hybrydowego w procesie projektowania wspomagane komputerowo.



Rys. 1.1. Modelowanie hybrydowe

W pierwszej części podręcznika przedstawiono metodykę projektowania powierzchniowego przy wykorzystaniu systemu *CAD – CATIA V5*. Istota modelowania powierzchniowego polega na umiejętności odpowiedniego wykonywania geometrii podstawowej, przy wykorzystaniu której generowane są powierzchniowe obiekty 3D. Należy dodać, że błędy popełnione na etapie wykonywania elementarnych elementów: linii, zarysów, sekcji itp. przenoszone są na elementy powierzchniowe, a następnie na finalne modele 3D. Tak wykonane obiekty często posiadają niepożądane defekty w postaci nieciągłości geometrii (np. szczeliny). Błędy tego typu są naprawialne w późniejszym etapie modelowania, mogą być jedynie poddane próbie maskowania narzędziami służącymi do doskonalenia topologii modeli CAD. Z tego względu zaleca się analizowanie i odpowiednie modelowanie geometrii podstawowej celem uniknięcia jej niepożądanych nieciągłości.

Metodę projektowania powierzchniowego zaprezentowano na przykładach prostych modeli 3D takich jak: wspornik, rura elastyczna, krzyżak oraz pokrętło. Każdy model opisany został w formie algorytmu modelowania pod kątem użytych technik oraz narzędzi niezbędnych do jego wykonania.

Druga część podręcznika poświęcona została procesowi modelowania hybrydowego. Skupia się ona przede wszystkim na przedstawieniu metody równoległego wykorzystania modułów: powierzchniowego oraz bryłowego w procesie modelowania 3D. W tej części podręcznika omówiono również nowe techniki, wprowadzając nieznanne dotąd narzędzia w ramach modelowania powierzchniowego. Treści przedstawione w tej części pracy sformułowane są w ten sposób, by wprowadzać czytelnika stopniowo w coraz bardziej zaawansowane metody modelowania CAD.

Proces modelowania hybrydowego przedstawiony został na podstawie praktycznych projektów: kolektora oraz flakonu ozdobnego. Wymienione modele charakteryzują się zaawansowaną geometrią przestrzenną. W związku z tym do ich zamodelowania konieczne było wykorzystanie metody modelowania powierzchniowego oraz bryłowego.

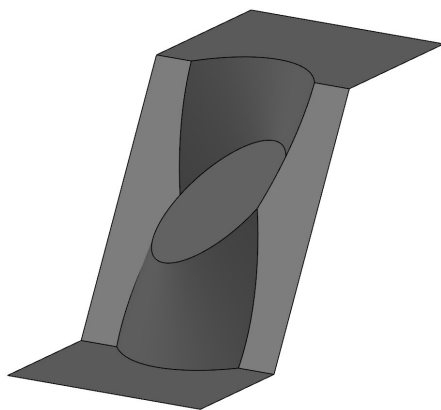
Niniejszy podręcznik akademicki stanowi kontynuację pozycji literaturowej pod tytułem *Podstawy projektowania powierzchniowego w systemie CATIA V5* [9]. Z tego względu w treści pracy pominięto opis elementarnych zagadnień związanych z modelowaniem powierzchniowym. Zaleca się, by poznanie treści niniejszego podręcznika poprzedzone było lekturą powyższej wymienionej pozycji [9].

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.

CZEŚĆ I
METODYKA PROJEKTOWANIA
POWIERZCHNIOWEGO

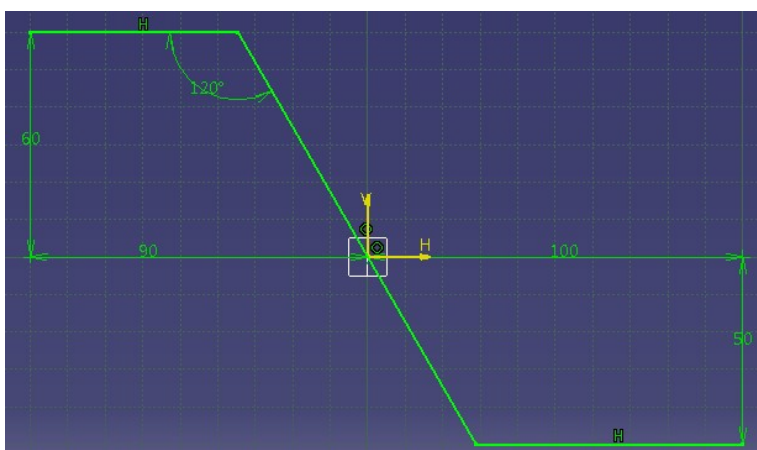
2. MODEL WSPORNIKA

W tym rozdziale przedstawiony zostanie proces modelowania powierzchniowego wspornika. Model wykonany będzie na podstawie zarysu, który wycięty zostanie w kierunku normalnym do sekcji. Następnie, w połowie wysokości wspornika na płaszczyźnie pod kątem do podstawy, zamodelowana będzie powierzchnia w kształcie elipsy. Posłuży ona do wykonania „gniazda” w powierzchni podstawowej wspornika. Model wspornika zaprezentowano na rysunku 2.1.




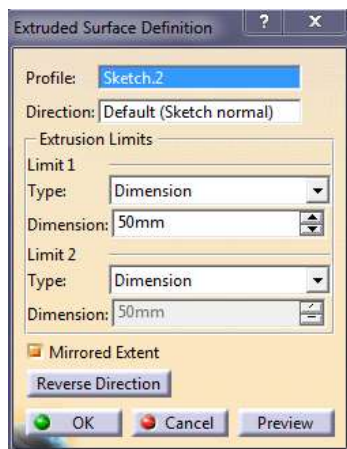
Rys. 2.1. Model powierzchniowy wspornika

Na wstępie narysowano szkic na jednej z płaszczyzn systemowych, który zaprezentowano na rysunku 2.2.



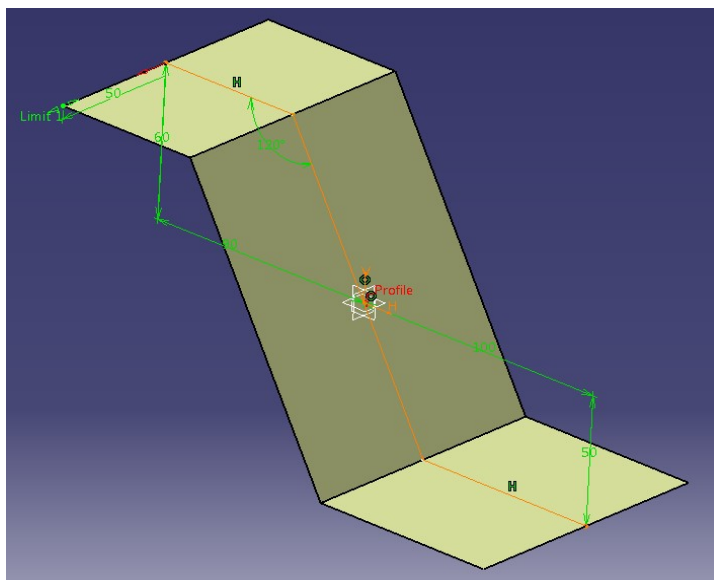
Rys. 2.2. Szkic wspornika

Na podstawie wykonanego szkicu zdefiniowano wyciągnięcie w kierunku normalnym do płaszczyzny rysunku. W tym celu wybrano narzędzie *Extrude* , następnie wyznaczono parametry okna *Extrude Surface Definition* zgodnie z rysunkiem 2.3.



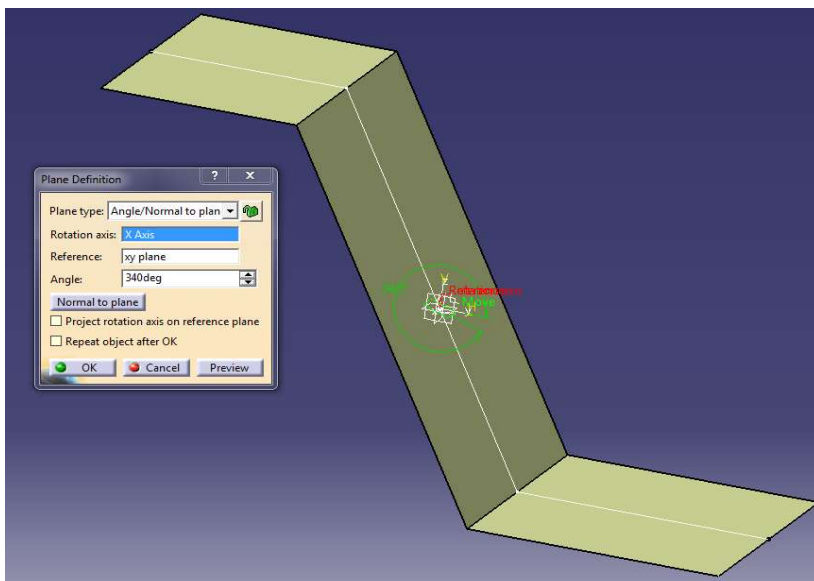
Rys. 2.3. Zdefiniowane okno wyciągnięcia

Efekt w postaci uzyskanego modelu powierzchniowego zaprezentowano na rysunku 2.4.



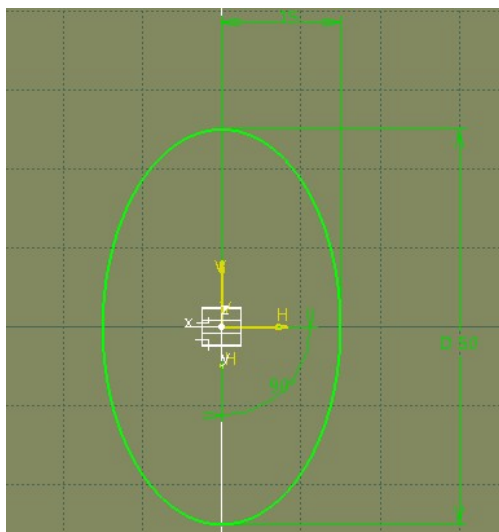
Rys. 2.4. Efekt zdefiniowanego narzędzia *Extrude*

Następnie wykonano płaszczyznę pomocniczą typu *Angle/Normal to Plane* pod kątem 340° do płaszczyzny referencyjnej *xy* zgodnie z rysunkiem 2.5.




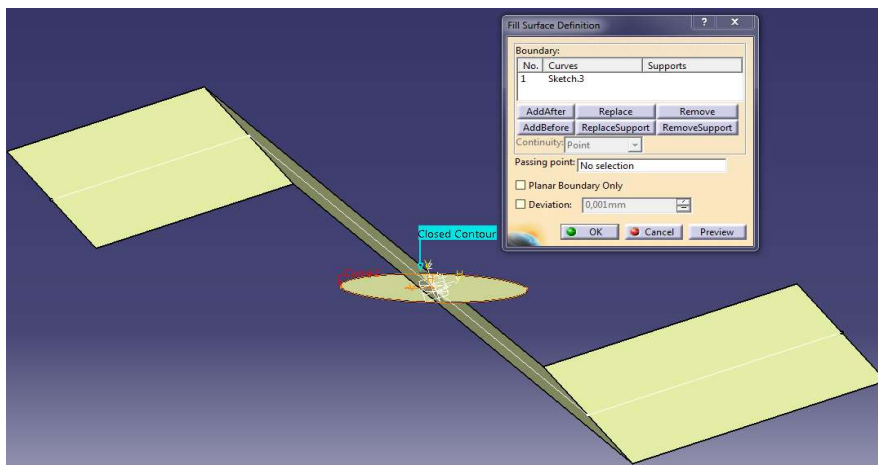
Rys. 2.5. Płaszczyzna pomocnicza wykonana pod zdefiniowanym kątem

Na otrzymanej płaszczyźnie wykonano kolejny szkic zawierający geometrię zaprezentowaną na rysunku 2.6.




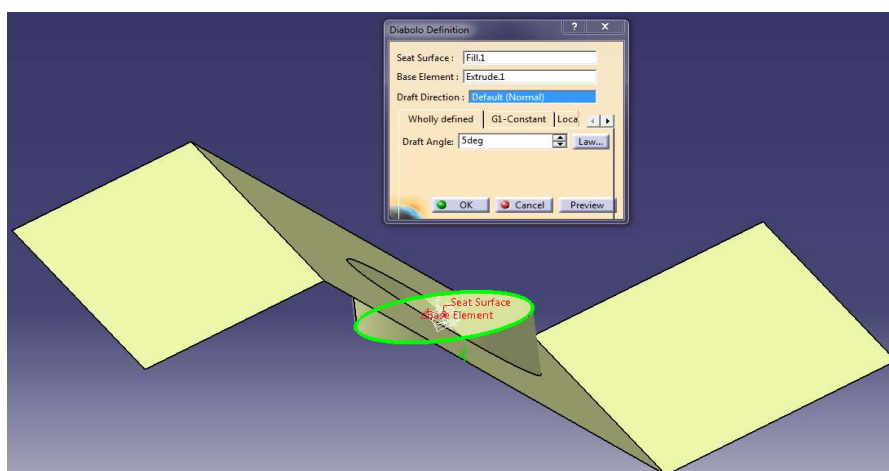
Rys. 2.6. Szkic na wprowadzonej płaszczyźnie pomocniczej

W oparciu o wykonany szkic zdefiniowano kolejną powierzchnię. W tym celu użyto narzędzia *Fill*  i utworzono nową powierzchnię zgodnie z rysunkiem 2.7.

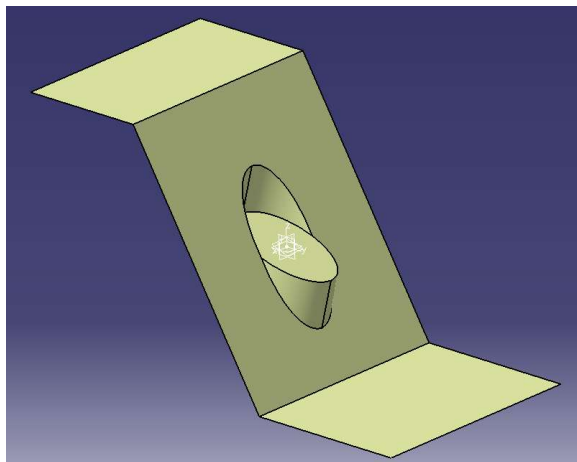


Rys. 2.7. Efekt wykorzystania narzędzia *Fill*

Narzędzie *Diabolo Definition*  umożliwia zamodelowanie „gniazda” na powierzchni podstawowej. W tym celu wybrano polecenie *Diabolo Definition* i utworzono nową powierzchnię w oparciu o wprowadzone parametry okna zgodnie z rysunkiem 2.8. Na rysunku 2.9. (patrz rys. na s.17) zaprezentowano używany model powierzchniowy.

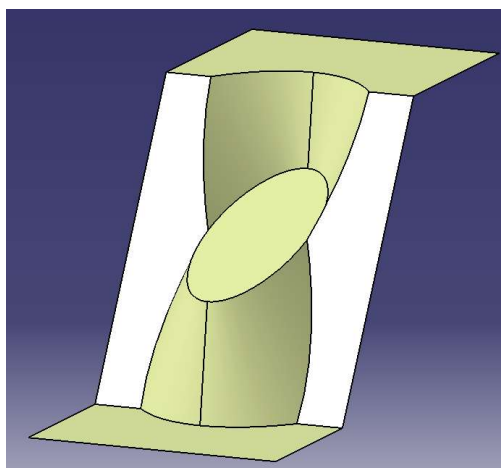


Rys. 2.8. Efekt zdefiniowanego narzędzia *Diabolo Definition*



Rys. 2.9. Powierzchnia wspornika

W celu otrzymania powierzchni przedstawionej na rysunku 2.10. należało samodzielnie przekształcić wykonany model poprzez zmodyfikowanie powierzchni „gniazda” (wskazówka: zmieniono wymiary szkicu, następnie edytowano polecenie *Diabolo Definition* i wstawiono wartość *Draft Angle* 30°).

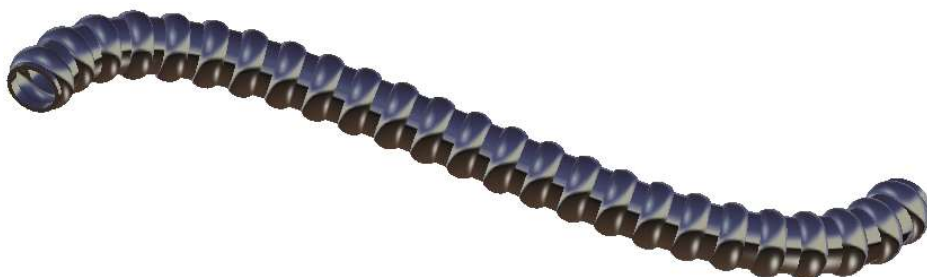


Rys. 2.10. Finalny model powierzchniowy wspornika


Na podstawie projektu wspornika przedstawiono metodę wykonywania powierzchni typu: występy, wytłoczenia, których ściany mogą być generowane pod różnymi kątami do powierzchni bazowej. Obiekty tego typu mogą być wykorzystywane do wykonywania elementów usztywniających struktury cienkościenne w procesie modelowania CAD.

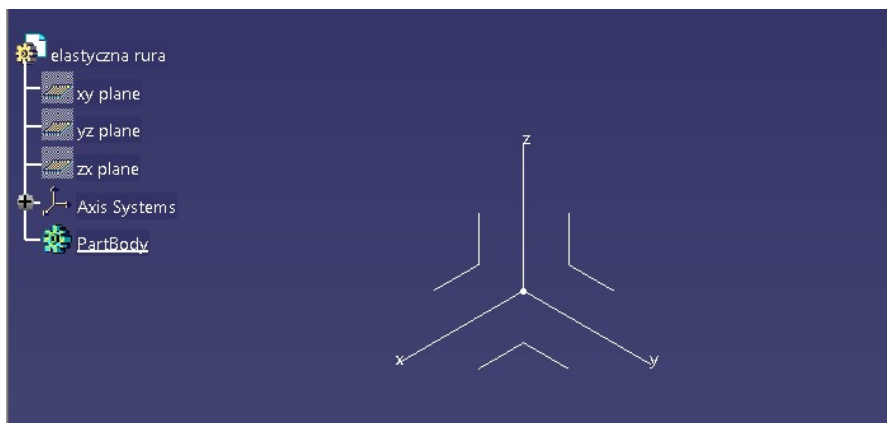
3. MODEL RURY ELASTYCZNEJ

W tym rozdziale zaprezentowana zostanie metodyka projektowania modelu rury elastycznej. Model powstanie na podstawie wyciągnięcia po krzywej powierzchni opisanej za pomocą reguły. Na wstępie zdefiniowana będzie prowadnica rury. W kolejnym kroku opisana zostanie reguła zawierająca kształt i średnicę rury. W oparciu o powyższe czynności wygenerowana będzie powierzchnia modelu. Modyfikowanie kształtu prowadnicy prowadzi do analogicznej zmiany geometrii rury. Model rury elastycznej przedstawiono na rysunku 3.1.




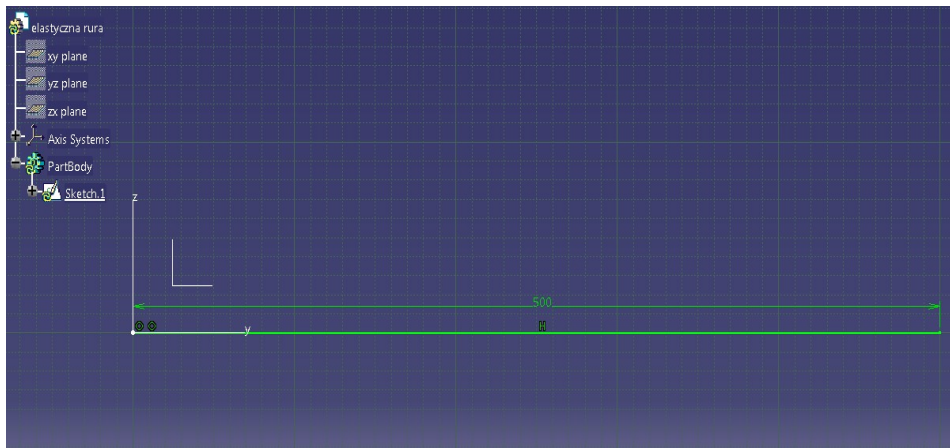
Rys. 3.1. Model powierzchniowy rury elastycznej

W celu poprawnego zdefiniowania osi wprowadzono kartezjański układ współrzędnych przy użyciu narzędzia *Axis Systems* . Następnie ukryto różne płaszczyzny, otrzymując postać układu przedstawioną na rysunku 3.2.



Rys. 3.2. Kartezjański układ współrzędnych

Następnie wybrano płaszczyznę *yz*. Na wskazanej płaszczyźnie naszkicowano odcinek linii przy użyciu funkcji *Line* , rozpoczynając od punktu początkowego układu współrzędnych, co przedstawia rysunek 3.3.



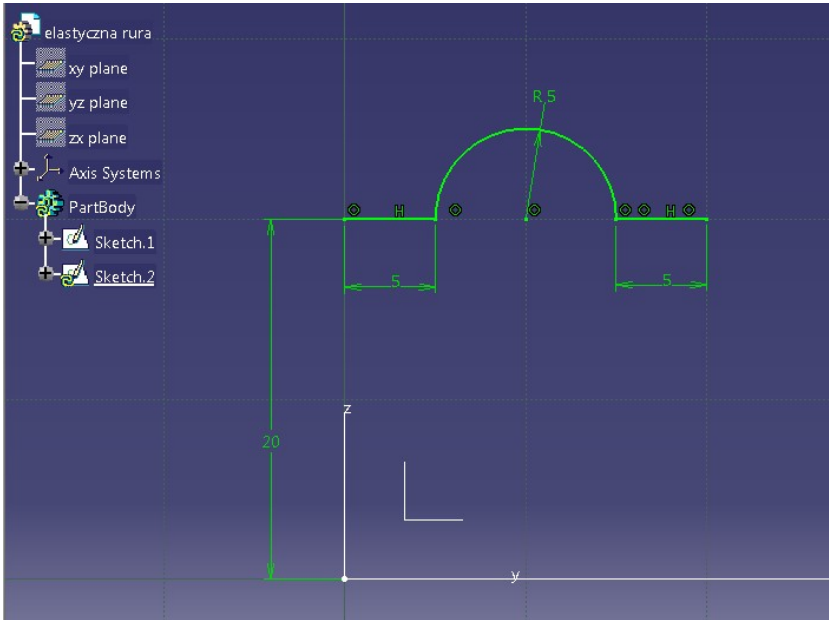
Rys. 3.3. Szkic odcinka linii

Kolejno wykonano drugi szkic na płaszczyźnie *yz* zaprezentowany na rysunku 3.4.




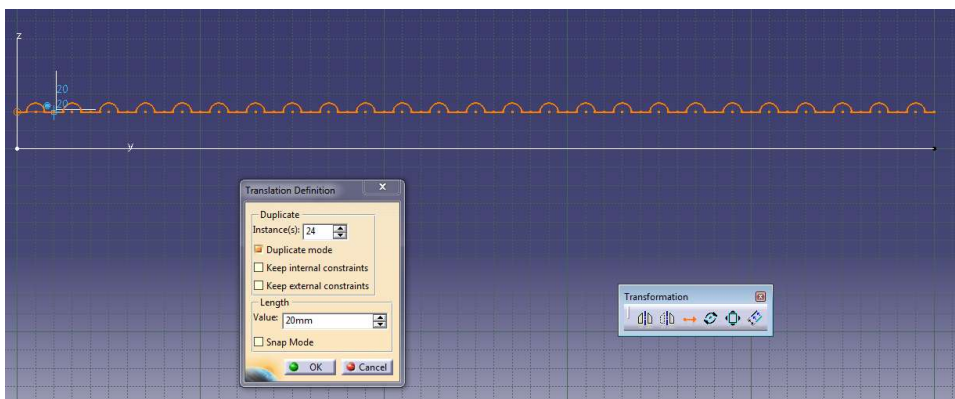
Rys. 3.4. Widok z perspektywy płaszczyzny *yz*

Na wskazanej płaszczyźnie narysowano zarys profilu rury tak, jak zaprezentowano na rysunku 3.5. (patrz rys. na s. 21). Podczas wykonywania szkicu należało zwrócić uwagę na zachowanie wszystkich wyszczególnionych więzów konstrukcyjnych oraz wymiarów.

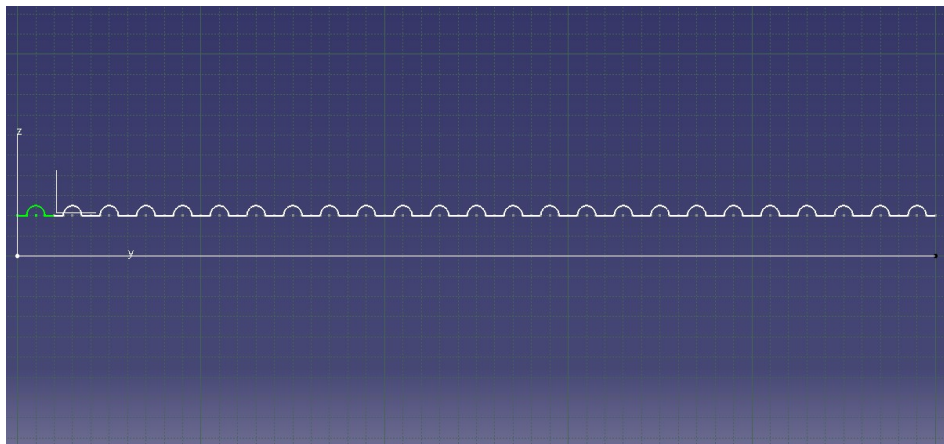


Rys. 3.5. Szkic profilu rury


Pozostając w szkicowniku powielono wykonany profil rury. W tym celu wybrano narzędzie *Translate* . Zaznaczono profil rury, następnie wybrano punkt, od którego rozpoczęło się powielanie (lewy skrajny punkt szkicu). Po wskazaniu punktu zdefiniowano liczbę powieleń zgodnie z rysunkiem 3.6. Później kursor myszy ustawiono w skrajnym prawym punkcie szkicu oraz zatwierdzono polecenie lewym przyciskiem myszy. W efekcie otrzymano szkic przedstawiony na rysunku 3.7. (patrz rys. na s. 22), następnie zamknięto środowisko szkicownika.

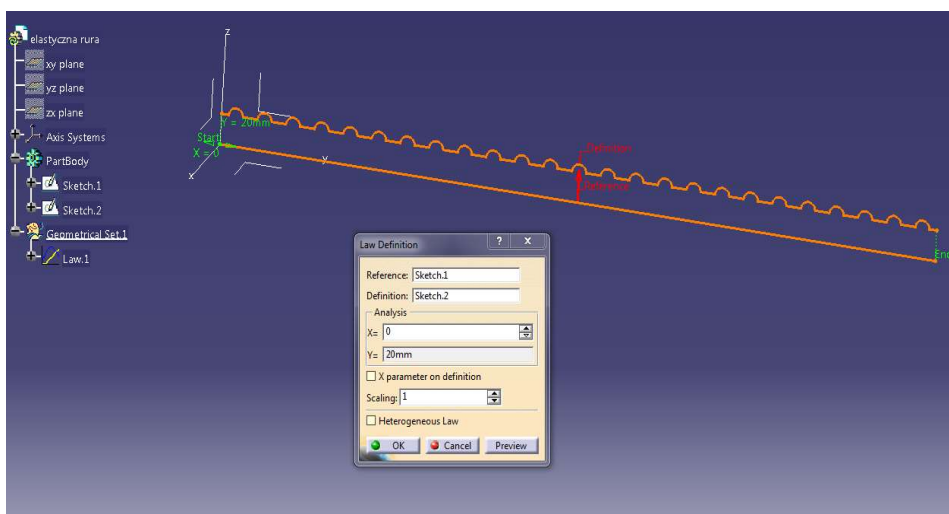



Rys. 3.6. Efekt zdefiniowania narzędzia *Translate*

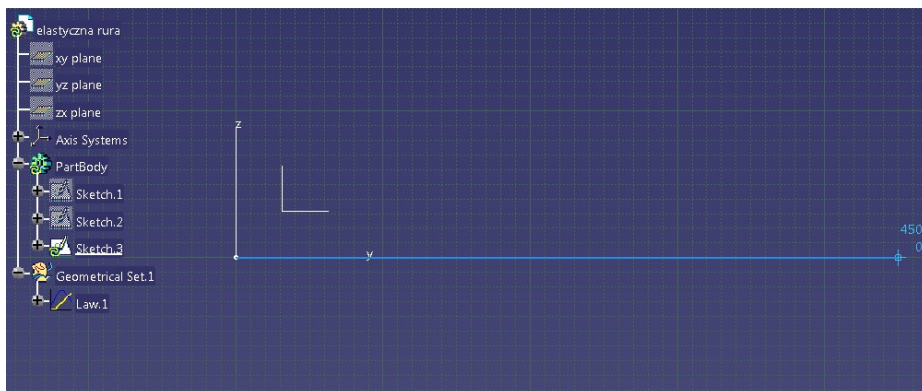


Rys. 3.7. Szkic otrzymany w skutek powielenia profilu


W kolejnym kroku wybrano narzędzie *Law*  (*Insert/Law*) oraz wskazano wykonane szkice. Pozostałe parametry okna *Law Definition* wprowadzono zgodnie z rysunkiem 3.8.

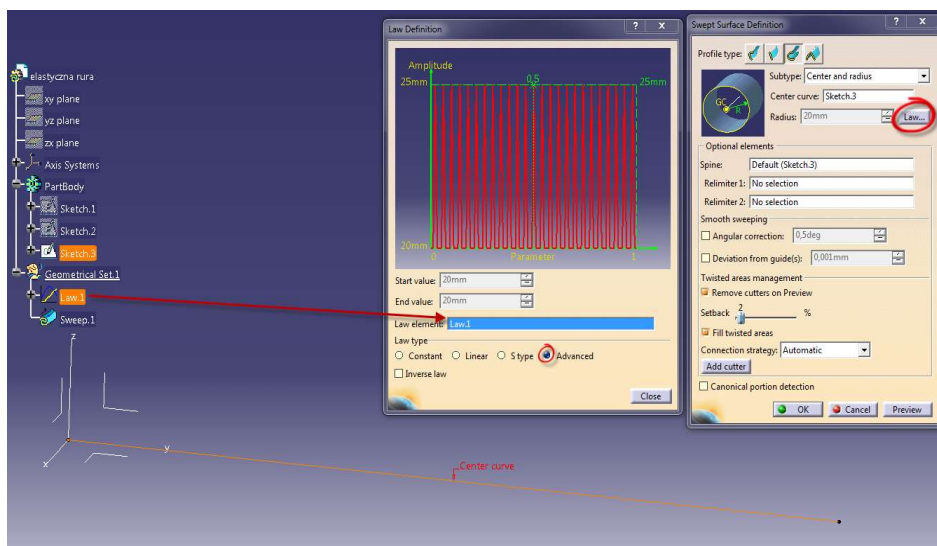
Rys. 3.8. Zastosowanie narzędzia *Law*

Po ukryciu rysunków *Sketch.1* oraz *Sketch.2* wykonano szkic na płaszczyźnie *yz*. Przy wykorzystaniu funkcji *Spline*  utworzono szkic pokazany na rysunku 3.9. (patrz rys. na s. 23). Przybliżona długość odcinka linii wynosiła 450 mm. Następnie opuszczono środowisko szkicownika.

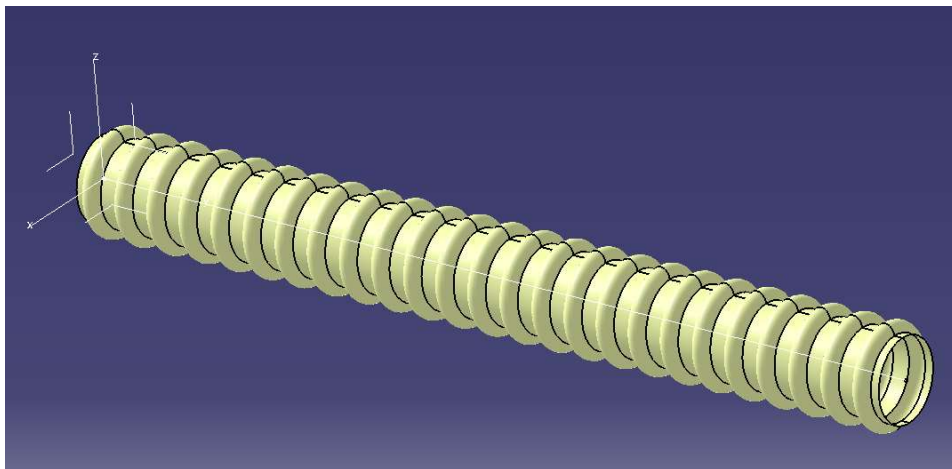


Rys. 3.9. Szkic osi rury

Po wybraniu narzędzia *Swept*  wykorzystano opcję *Center and radius*, w której włączono funkcję *Law*. W oknie *Law Definition* wskazano opcję *Advanced*, a następnie w pasku *Law element* zaznaczono z drzewa opcję *Law.1* tak, jak zaprezentowano na rysunku 3.10.

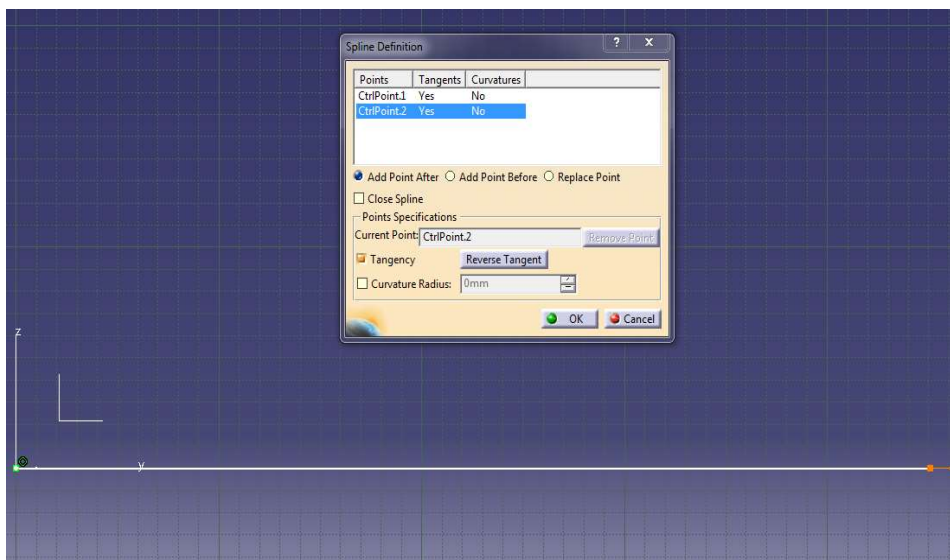
Rys. 3.10. Modyfikacja reguły *Law 1*

W rezultacie otrzymano powierzchnię obrotową (rurę) przedstawioną na rysunku 3.11.

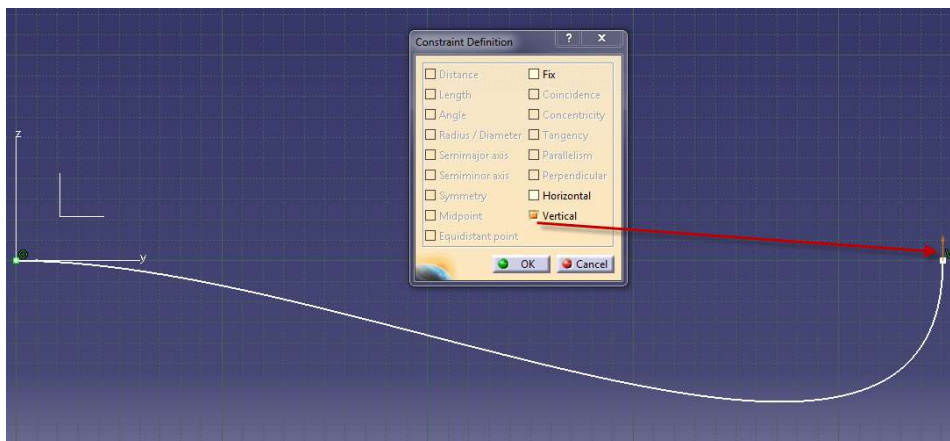


Rys. 3.11. Powierzchnia rury

W celu zmodyfikowania otrzymanego modelu wybrano *Sketch.3*. W środowisku szkicownika edytowano linię *Spline* (prostą wewnątrz rury) poprzez jej dwukrotne kliknięcie. W oknie *Spline Definition* dla obu punktów zaznaczono funkcję *Tangency*, co zostało przedstawione na rysunku 3.12.

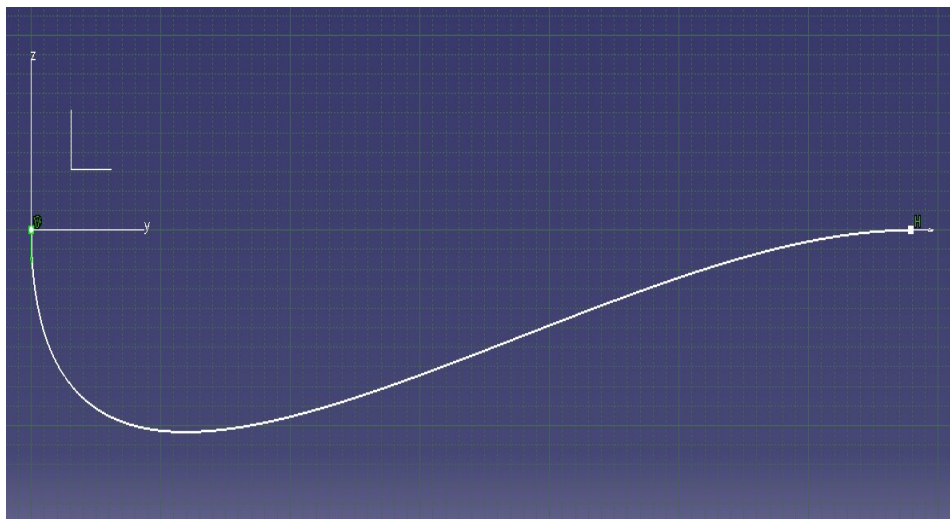
Rys. 3.12. Modyfikacja punktów konstrukcyjnych linii typu *Spline*

Następnie zaznaczono wektor w punkcie końcowym linii *Spline* i w oknie nadawania relacji *Constraints Define* wybrano *Vertical* tak, jak zaprezentowano na rysunku 3.13.



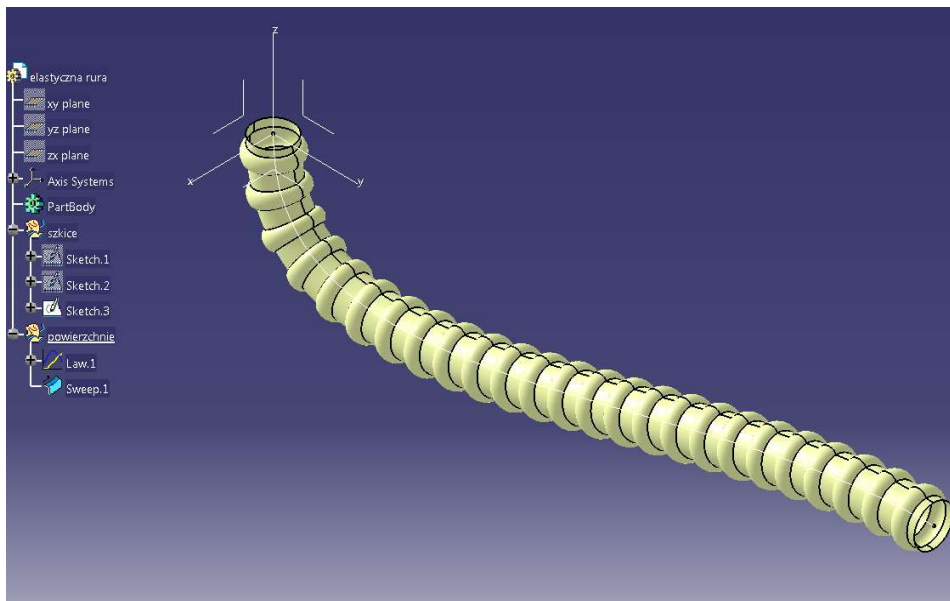
Rys. 3.13. Nadanie relacji kierunku pionowego wektorowi należącemu do linii

Możliwa jest dynamiczna modyfikacja kształtu rury poprzez zmianę pozycji skrajnych punktów, co zaprezentowano na rysunku 3.14. Istnieje również możliwość zmiany relacji konstrukcyjnych wektorów, co odbywa się w oknie dialogowym *Constraints Define*.



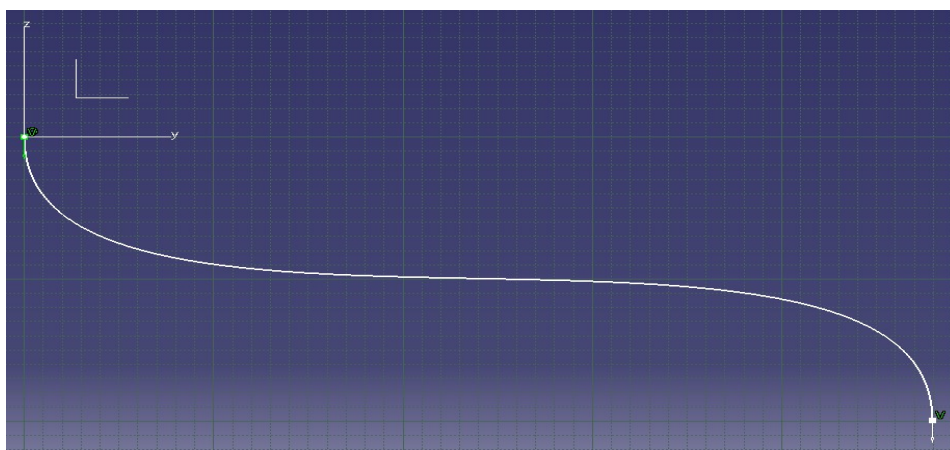
Rys. 3.14. Zmiana więzów geometrycznych linii

Po opuszczeniu szkicownika otrzymano powierzchnię wygiętej rury (w przypadku, gdy model podświetlony jest na czerwono należy wykonać odświeżenie modelu: *Update – Ctrl+U*). Wygenerowany model powierzchniowy rury zaprezentowano na rysunku 3.15.



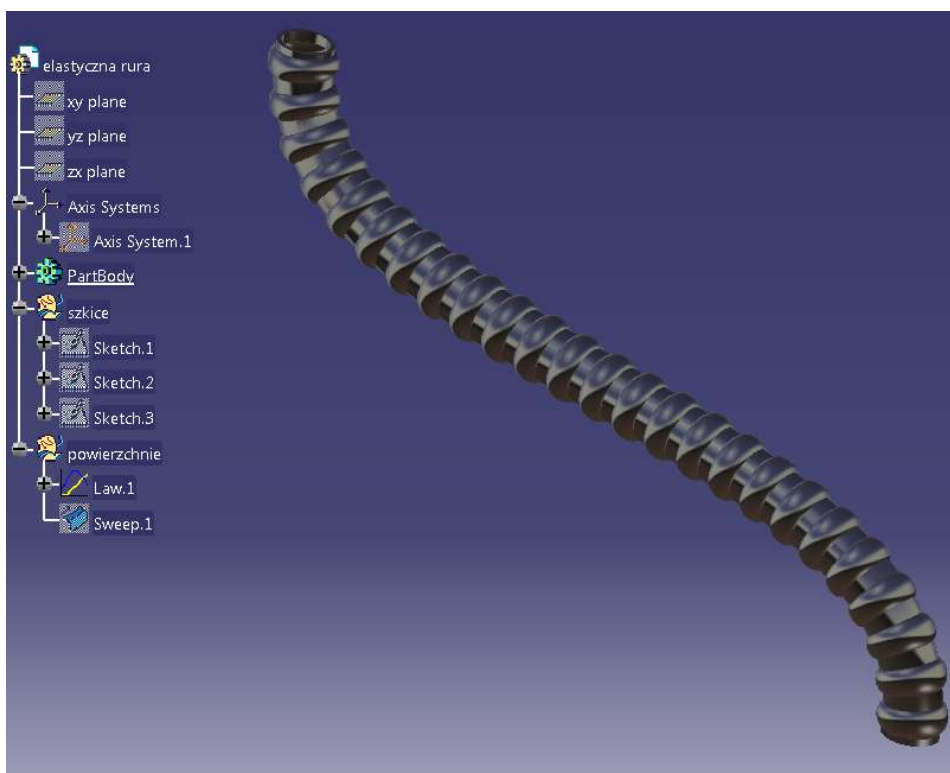
Rys. 3.15. Model wygiętej rury

W celu otrzymania ostatecznego kształtu rury zmodyfikowano linię typu *Spline* tak, jak przedstawiono na rysunku 3.16.



Rys. 3.16. Modyfikacja linii typu *Spline*

Poprawnie wykonany model rury elastycznej oraz szysk drzewa zawierające historię wykorzystanych operacji przedstawiono na rysunku 3.17.

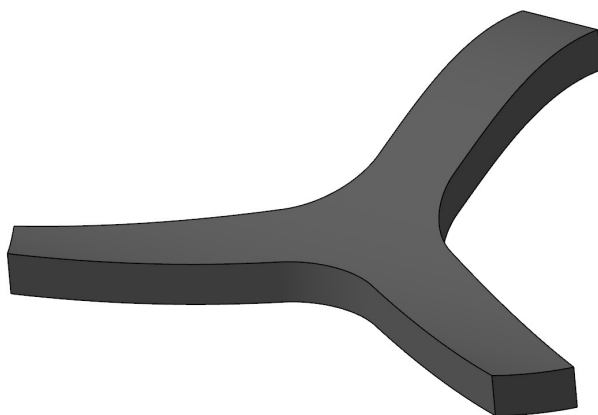


Rys. 3.17. Model powierzchniowy rury elastycznej

Na podstawie projektu rury elastycznej przedstawiono metodę wykonywania powierzchni w oparciu o regułę określającą kształt modelu. Podejście to pozwala na narzucenie zdefiniowanej reguły na krzywą przestrzenną, w celu wygenerowania powierzchni charakteryzującej się powtarzającym kształtem. Za pomocą tej metody możliwe jest modelowanie przykładowo: elastycznych przewodów, rur, pancerzy.

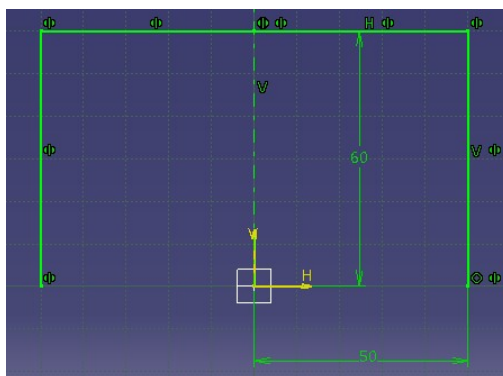
4. MODEL KRZYŻAKA

W tym rozdziale przedstawiony będzie proces modelowania powierzchniowego krzyżaka trójramiennego. Model powstanie na podstawie złożonej geometrii przestrzennej, która zostanie rzutowana na zwichrowaną powierzchnię referencyjną. W końcowym etapie powierzchnia będzie zamknięta i scalona. Takie podejście możliwe stanie się dzięki wykorzystaniu modułu powierzchniowego systemu *Catia V5*. Model krzyżaka trójramiennego przedstawiono na rysunku 4.1.




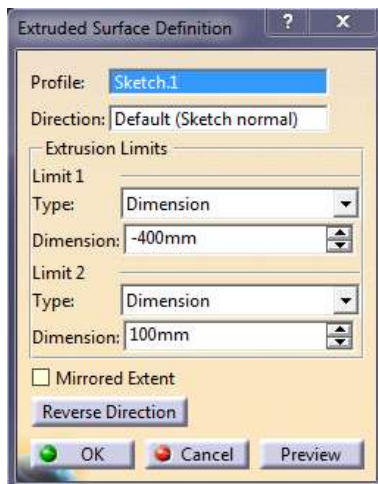
Rys. 4.1. Model powierzchniowy krzyżaka

Modelowanie krzyżaka rozpoczęto od wykonania szkicu zarysu pojedynczego ramienia. W tym celu wybrano płaszczyznę szkicowania i narysowano profil przedstawiony na rysunku 4.2.



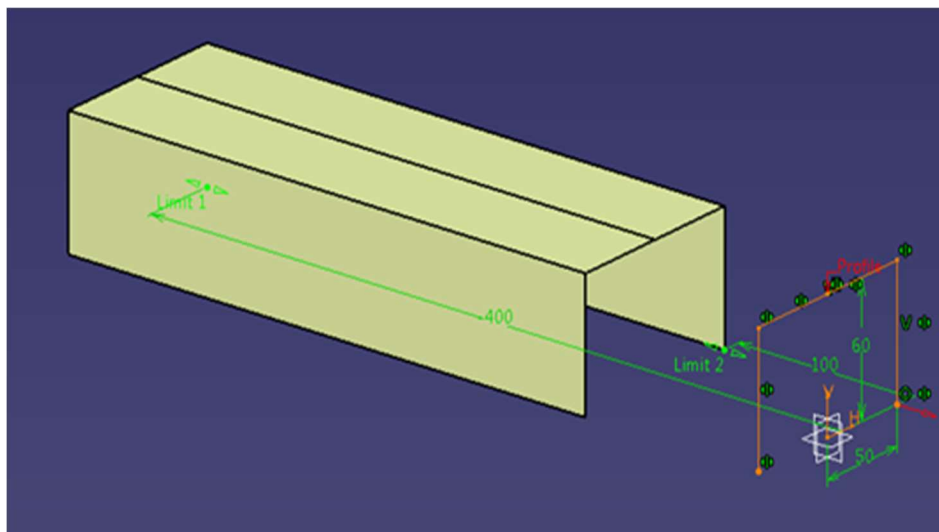
Rys. 4.2. Zarys ramienia krzyżaka

Następnie wykonano wyciągnięcie narysowanego szkicu. W tym celu wybrano narzędzie *Extrude*  oraz zdefiniowano parametry okna dialogowego zgodnie z rysunkiem 4.3.




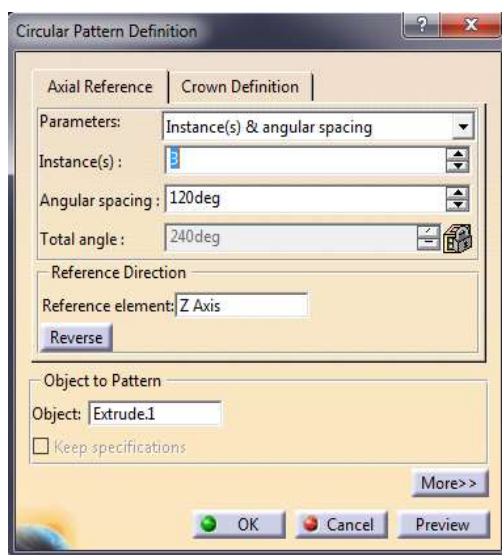
Rys. 4.3. Zdefiniowane okno wyciągnięcia 1

Model powierzchni ramienia krzyżaka otrzymany przez wyciągnięcie zaprezentowano na rysunku 4.4.

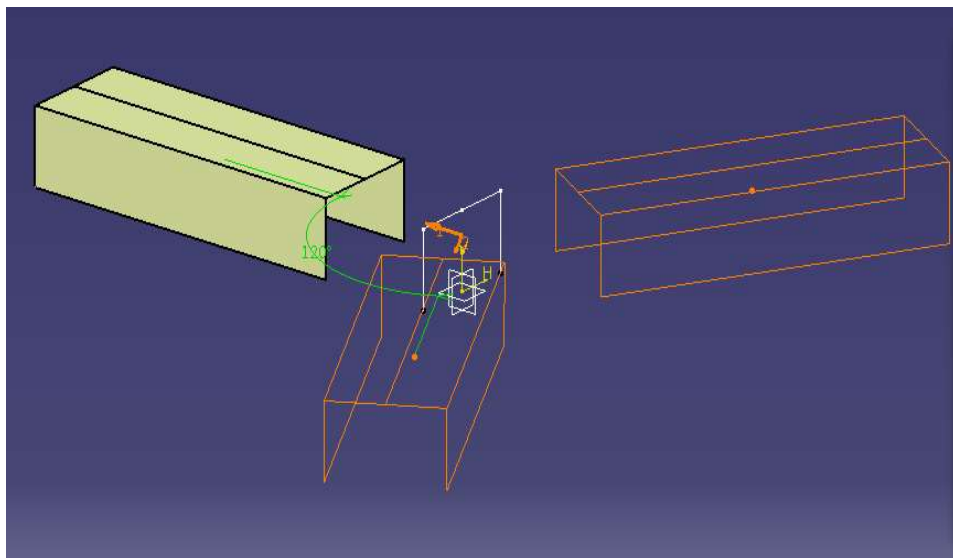


Rys. 4.4. Model powierzchni uzyskany poprzez wyciągnięcie

W kolejnym kroku wykonano powielenie powierzchni ramienia wzdłuż okręgu. Po wybraniu narzędzia *Circular Pattern*  zdefiniowano parametry okna dialogowego, co zaprezentowano na rysunku 4.5. Podgląd edytowanego szyku przedstawiono na rysunku 4.6.

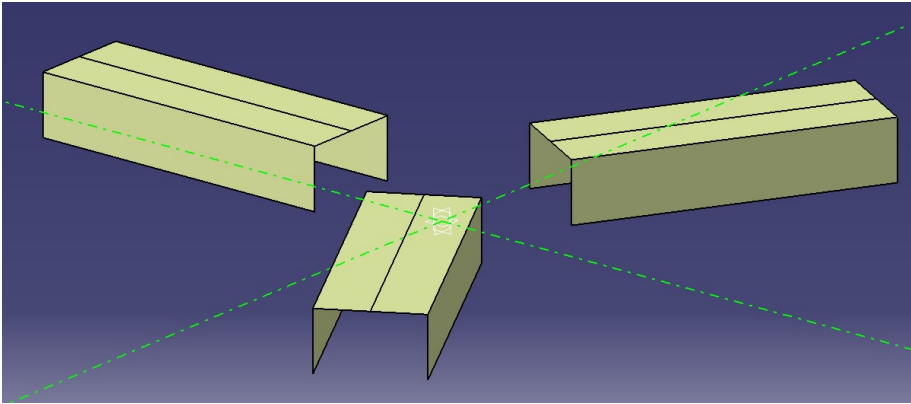


Rys. 4.5. Zdefiniowane okno *Circular Pattern*




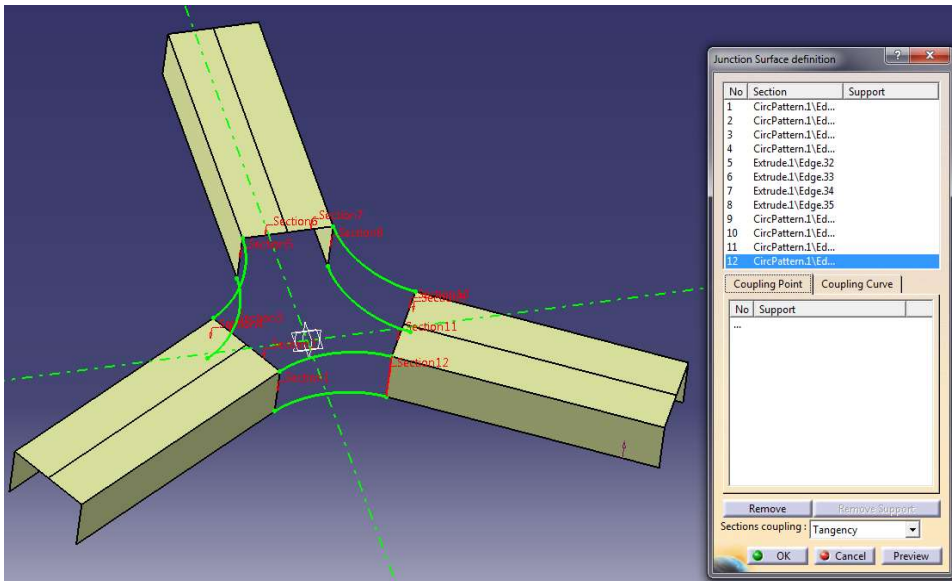
Rys. 4.6. Wynik zastosowania szyku kołowego

W efekcie otrzymano rozmieszczone względem siebie pod kątem 120° trzy niezależne powierzchnie, które zostały zaprezentowane na rysunku 4.7.



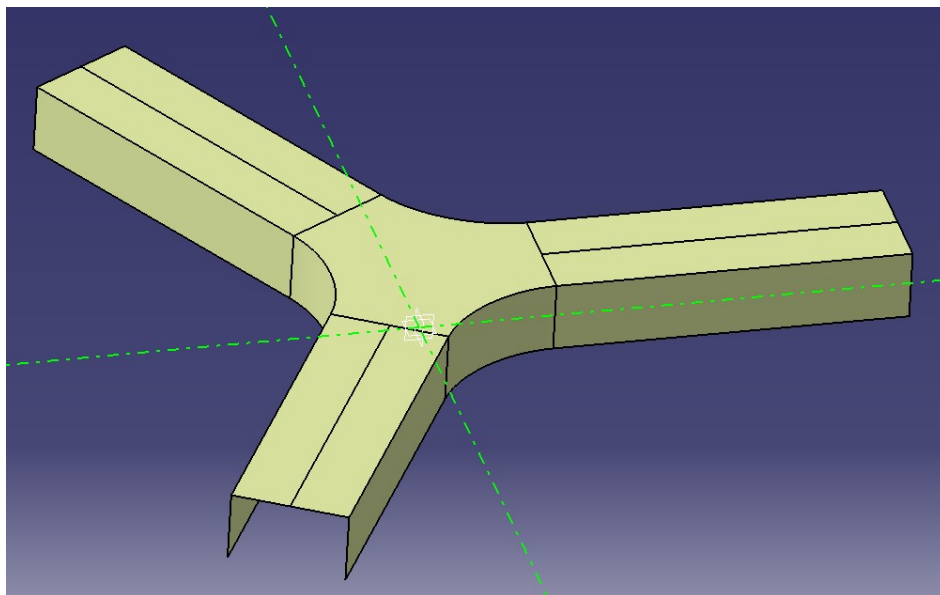
Rys. 4.7. Trzy ramienia krzyżaka

Polecenie *Junction*  służy do generowania powierzchni styku między istniejącymi powierzchniami według zadanej klasy ciągłości. W celu połączenia wykonanych ramion krzyżaka wykorzystano narzędzie *Junction*, następnie wskazano kolejno wszystkie krawędzie profili końcowych tak, jak przedstawia to rysunek 4.8.



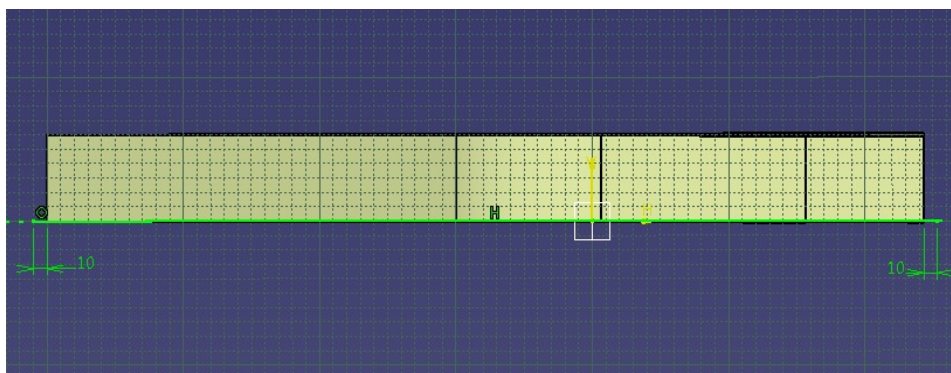
Rys. 4.8. Zdefiniowane narzędzie *Junction*

Efekt wykonanych operacji stanowi powierzchnia krzyżaka trójramiennego ukazana na rysunku 4.9.




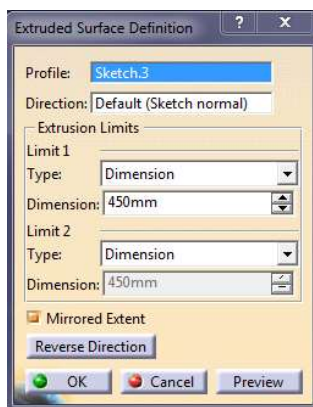
Rys. 4.9. Połączone ramiona krzyżaka

Następnie należy zdefiniować powierzchnię, na której będzie leżał krzyżak. W tym celu wybrano szkicownik i wykonano linię zarysu powierzchni stykającą się z dolną krawędzią modelu zgodnie z rysunkiem 4.10.



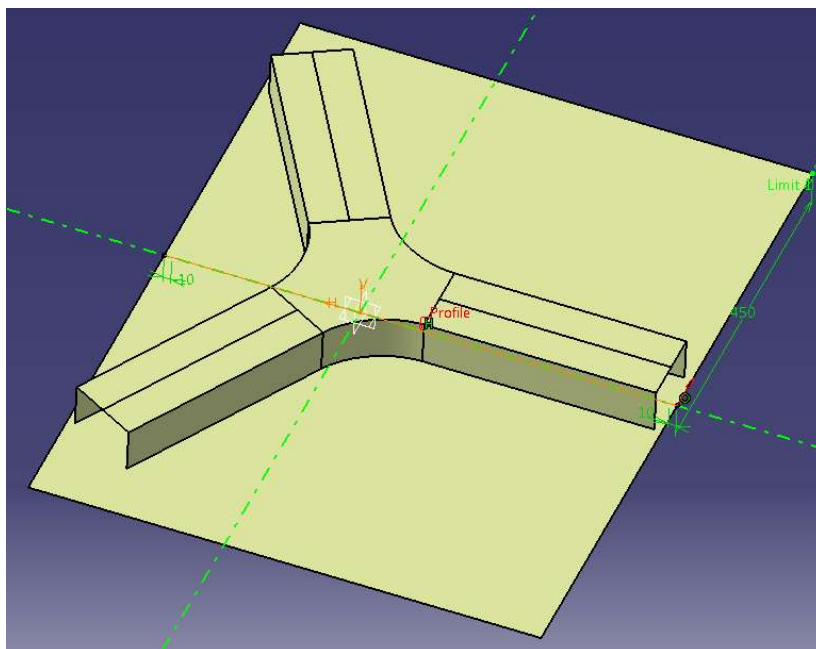
Rys. 4.10. Szkic linii przylegającej do powierzchni krzyżaka

Po wybraniu narzędzia *Extrude*  wykonano wyciągnięcie narysowanego szkicu zgodnie z parametrami okna dialogowego przedstawionego na rysunku 4.11.



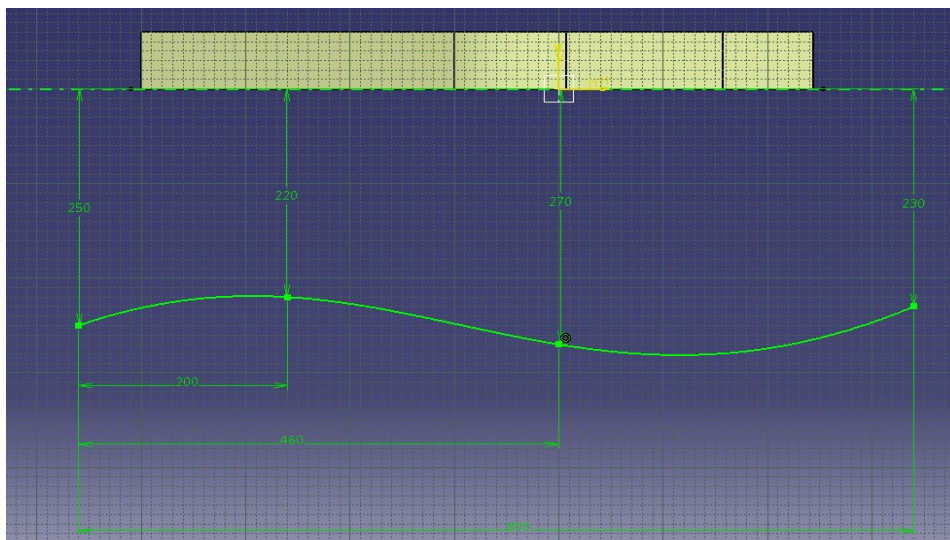
Rys. 4.11. Zdefiniowane okno wyciągnięcia 2

W efekcie otrzymano powierzchnię, na której położony jest krzyżak, co prezentuje rysunek 4.12.



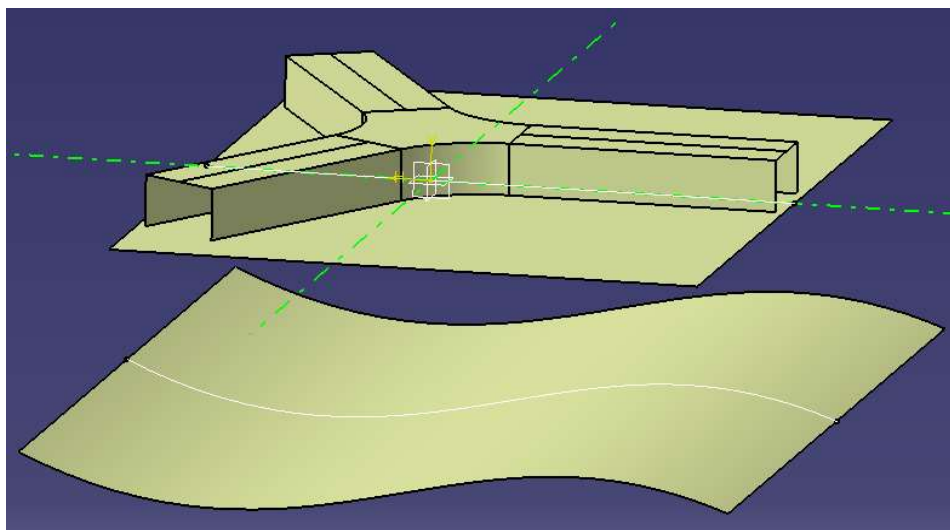
Rys. 4.12. Efekt wyciągnięcia 2

Następnie wykonano kolejny szkic. Wybrano odpowiednią płaszczyznę w środowisku szkicownika. Narysowano linię typu *Spline* z uwzględnieniem zadanych więzów konstrukcyjnych i wymiarowych zgodnie z rysunkiem 4.13.




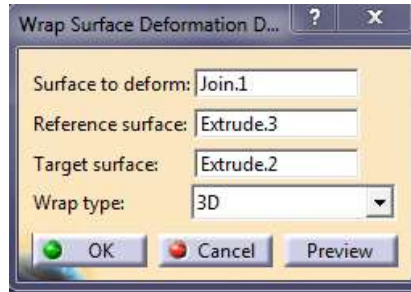
Rys. 4.13. Szkic powierzchni rzutowania

Opuszczono szkicownik i wykonano wyciągnięcie narysowanego szkicu tak, jak to zaprezentowano na rysunku 4.14.



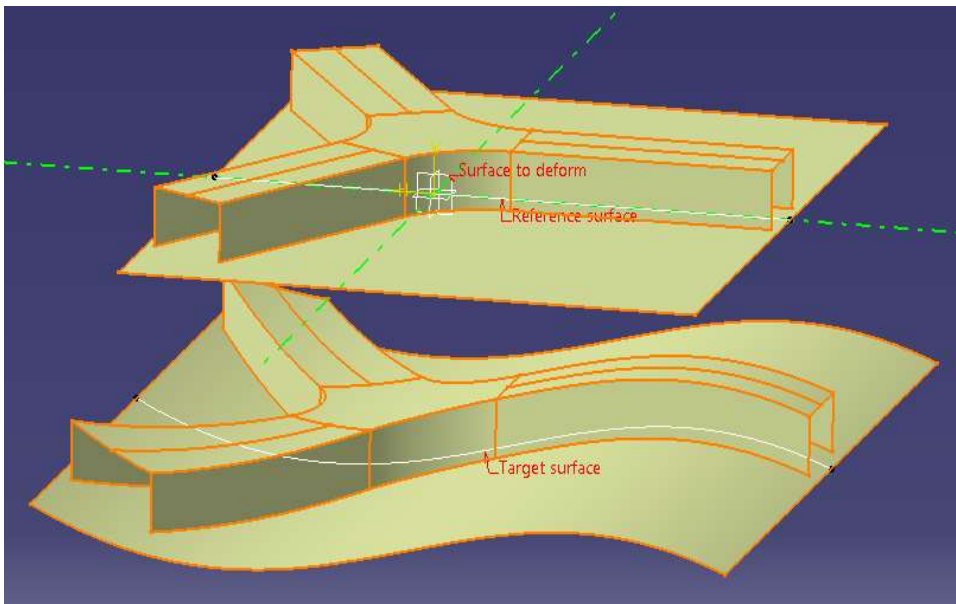
Rys. 4.14. Powierzchnia rzutowania otrzymana po wyciągnięciu szkicu

Narzędzie *Wrap Surface*  służy do rzutowania powierzchni bazowej (geometrii przestrzennej) na wskazaną powierzchnię odniesienia. Wykorzystano to narzędzie do rzutowania powierzchni krzyżaka na powierzchnię zwichrowaną. W tym celu wybrano narzędzie *Wrap Surface* i zdefiniowano okno dialogowe zgodnie z rysunkiem 4.15.



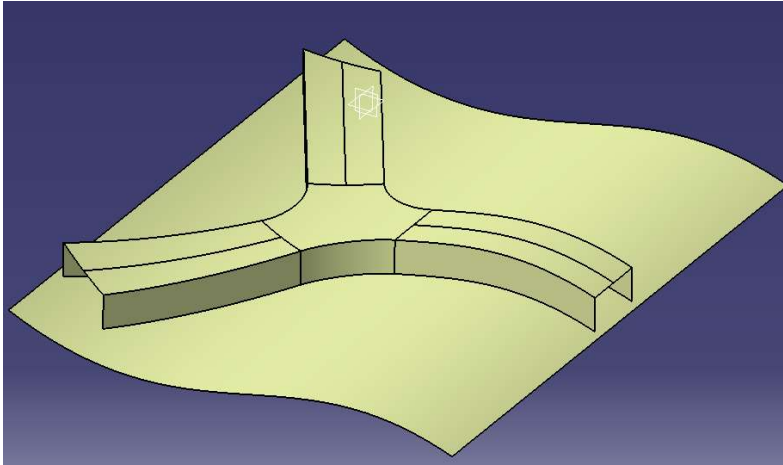
Rys. 4.15. Zdefiniowane okno *Wrap Surface*

Podgląd zdefiniowanej powierzchni typu *Wrap Surface* zaprezentowano na rysunku 4.16.




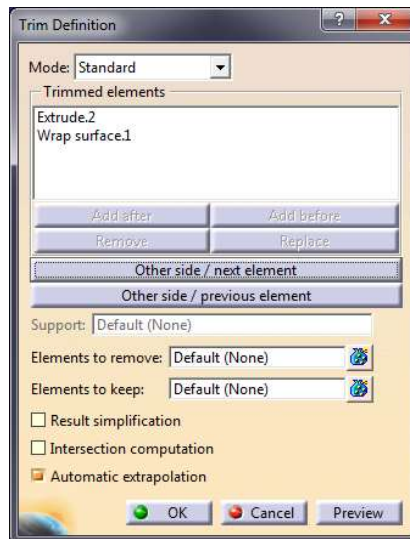
Rys. 4.16. Definicja narzędzia *Wrap Surface*

W efekcie otrzymano powierzchnię krzyżaka, która została zrzutowana na nową powierzchnię przy uwzględnieniu jej kształtu – rysunek 4.17.



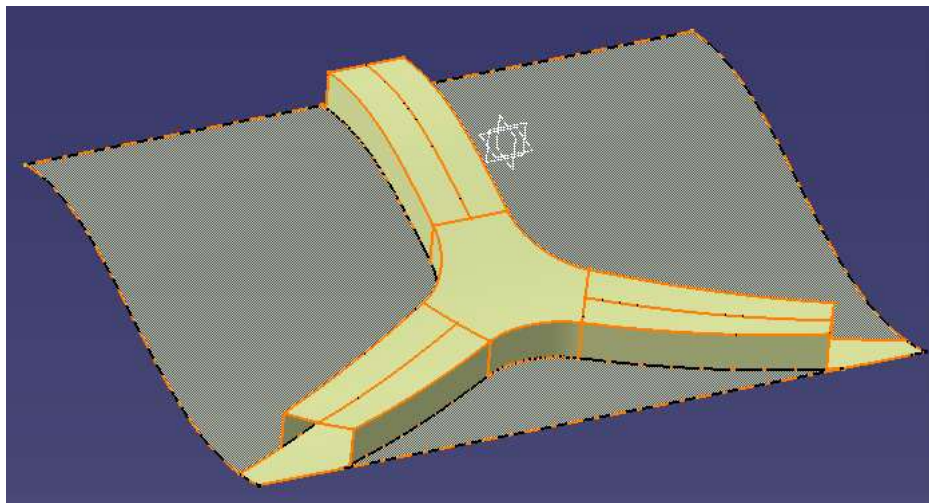
Rys. 4.17. Zrzutowana powierzchnia krzyżaka

Wykorzystanie narzędzia *Trim*  umożliwia przycięcie wskazanych powierzchni. W tym kroku docięto powierzchnię referencyjną geometrii krzyżaka poprzez wybranie narzędzia *Trim* oraz zdefiniowano parametry okna dialogowego zgodnie z rysunkiem 4.18.



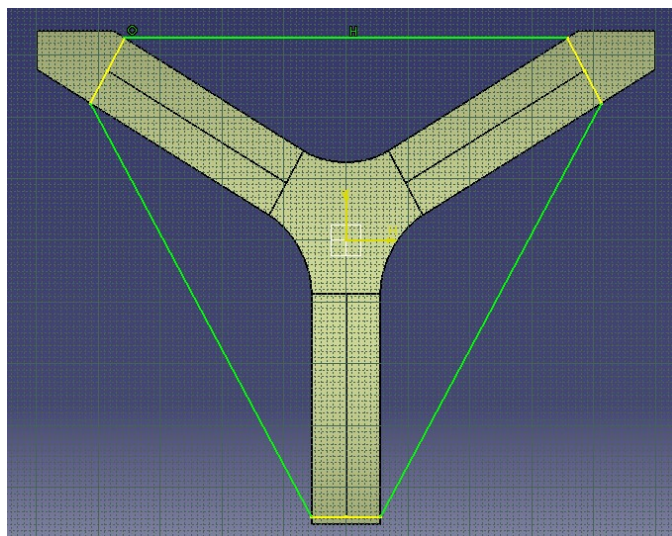
Rys. 4.18. Zdefiniowane okno *Trim*

Podgląd operacji przycięcia zaprezentowano na rysunku 4.19.




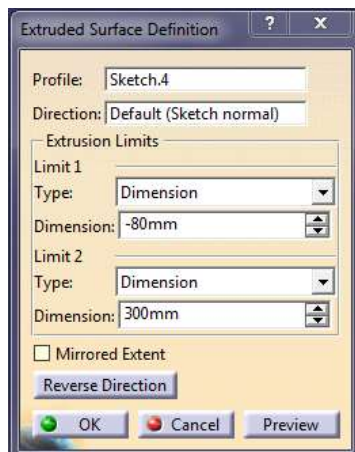
Rys. 4.19. Efekt wykorzystania narzędzia *Trim*

W następnym kroku narysowano szkic naroży na odpowiedniej płaszczyźnie zgodnie z rysunkiem 4.20. Wybrano płaszczyznę rysowania w szkicowniku, następnie opracowano zarys przedstawiony na rysunku 4.20. (żółte linie szkicu wykonane zostały jako rzut istniejącej geometrii 3D, przy użyciu narzędzia *Project 3D Elements*).



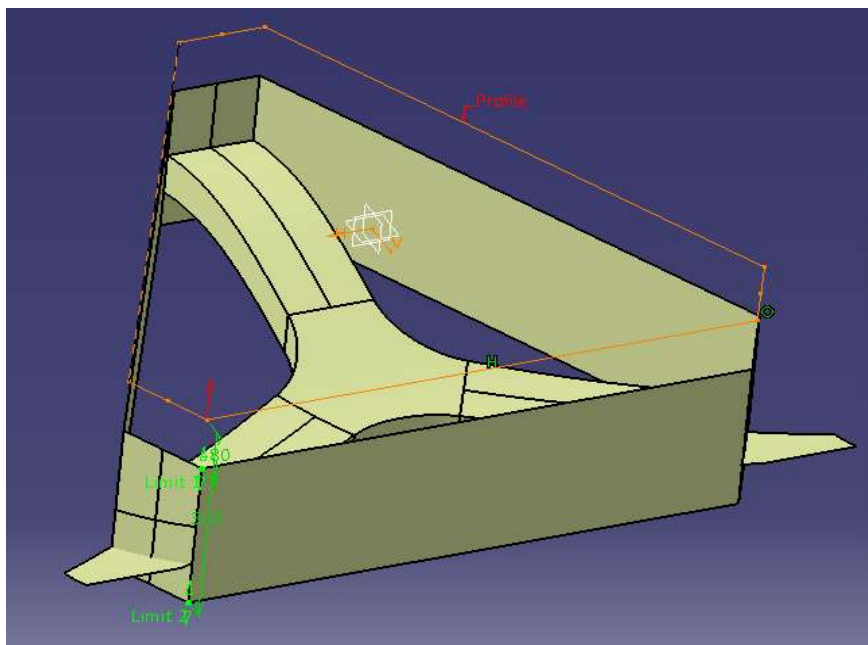
Rys. 4.20. Zarys powierzchni zamykającej

Następnie wybrano narzędzie *Extrude*  i wykonano wyciągnięcie szkicu w oparciu o zdefiniowane parametry okna dialogowego przedstawionego na rysunku 4.21.




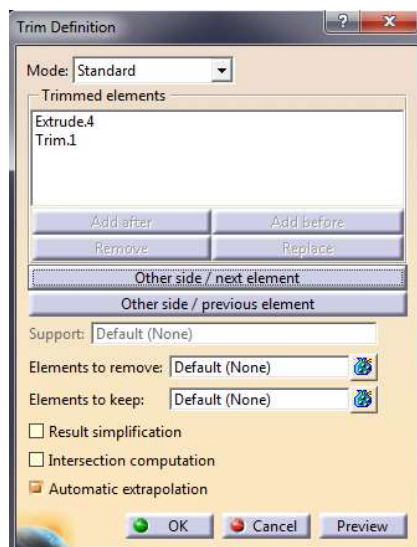
Rys. 4.21. Zdefiniowane okno wyciągnięcia powierzchni zamykającej

Podgląd wyciągnięcia przedstawia rysunek 4.22.

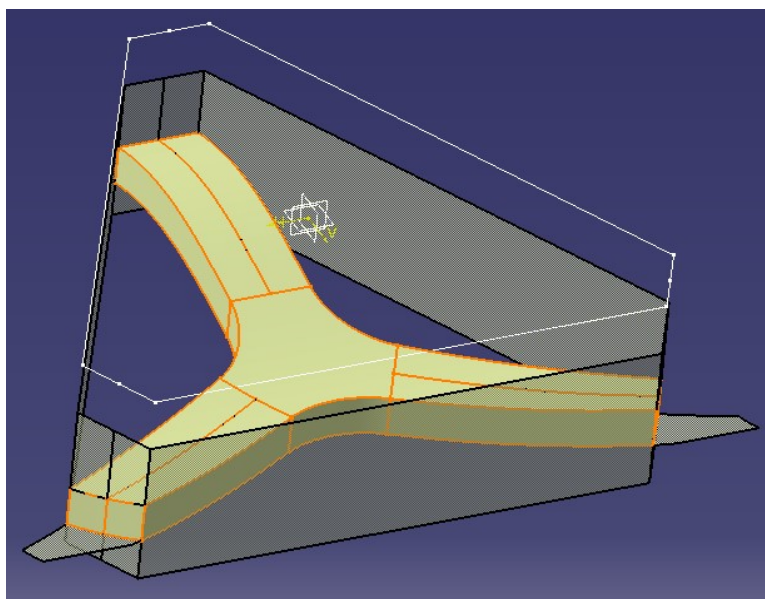


Rys. 4.22. Efekt zdefiniowanego wyciągnięcia powierzchni zamykającej

Przy wykorzystaniu narzędzia *Trim*  zdefiniowano okno dialogowe zgodnie z rysunkiem 4.23. Na rysunku 4.24. przedstawiono efekt wykonanego docięcia za pomocą funkcji *Trim*.

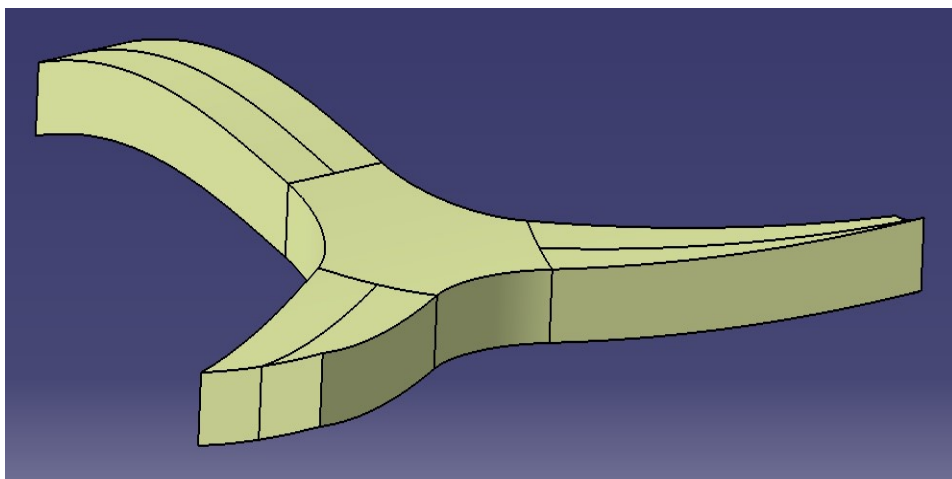


Rys. 4.23. Zdefiniowane okno *Trim*



Rys. 4.24. Efekt zdefiniowanego narzędzia *Trim*

Należy dodać, że zastosowanie narzędzia *Trim* umożliwiło poza docięciem powierzchni również ich scalenie. Dzięki temu w tym kroku nie było konieczne łączenie wykonanych powierzchni narzędziem *Join*. Końcowy efekt wykonanych zadań procesu modelowania powierzchni zamkniętej krzyżaka trójramiennego zaprezentowano na rysunku 4.25.



Rys. 4.25. Model powierzchniowy krzyżaka

Projekt krzyżaka wykorzystuje metodę kreowania powierzchni poprzez rzutowanie geometrii na powierzchnię zdeformowaną. Takie podejście pozwala na szybką modyfikację stosunkowo prostej w budowie powierzchni w powierzchnię o zaawansowanej geometrii przestrzennej. Przedstawiona metoda może być wszechstronnie wykorzystywana do modelowania różnego rodzaju powierzchni poprzez rzutowanie.

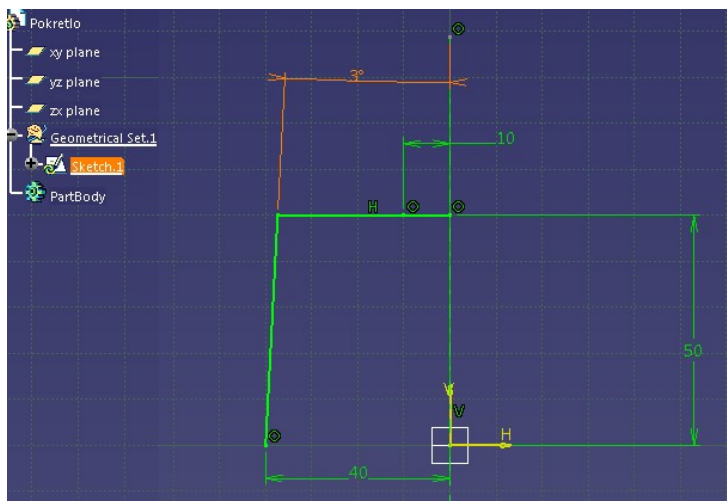
5. MODEL POKRĘTŁA

W niniejszym rozdziale przedstawiona będzie metodyka projektowania pokrętła. Model opracowany zostanie na podstawie powierzchni otrzymanej w wyniku podziału powierzchni obrotowej i wyciągniętej. Następnie poprzez dwa symetryczne powielenia wykonana będzie zamknięta na okręgu powierzchnia pokrętła. W końcowym etapie projektowania wycięty zostanie otwór podłużny w powierzchni czołowej modelu. Gotowy model pokrętła zaprezentowano na rysunku 5.1.



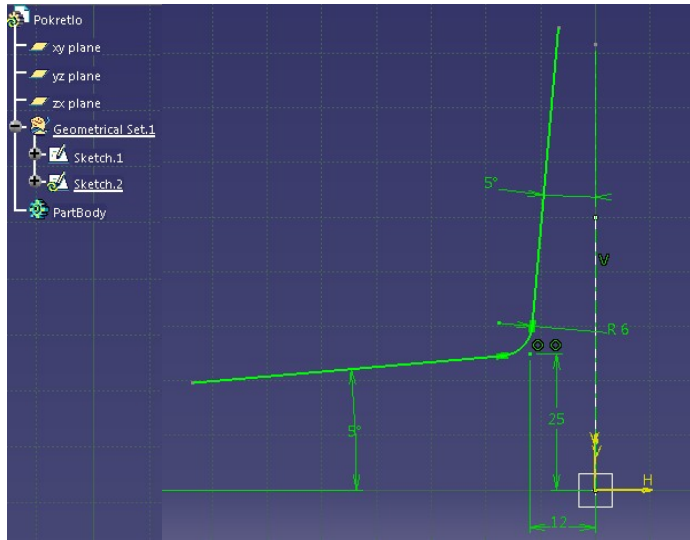
Rys. 5.1. Pokrętło regulacji temperatury

Na wstępie wykonano rysunek zawierający zarys 1/4 pokrętła. W tym celu wybrano płaszczyznę yz, a następnie środowisko szkicownika, w którym narysowano szkic przedstawiony na rysunku 5.2.




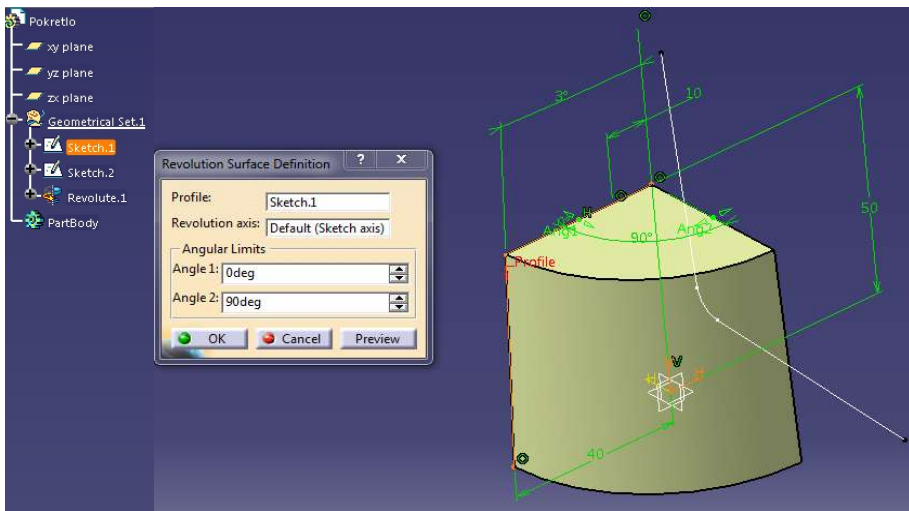
Rys. 5.2. Szkic 1

Na płaszczyźnie zx utworzono drugi rysunek (*Sketch.2*) przedstawiony na rysunku 5.3.



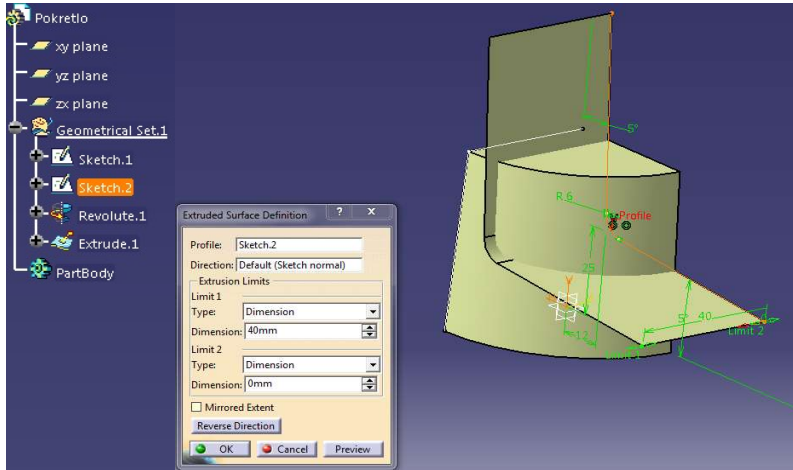
Rys. 5.3. Szkic 2

Następnie wybrano polecenie *Revolute*  i wykonano obrót szkicu *Sketch.1* o kąt 90° . Otrzymany model powierzchniowy zaprezentowano na rysunku 5.4.



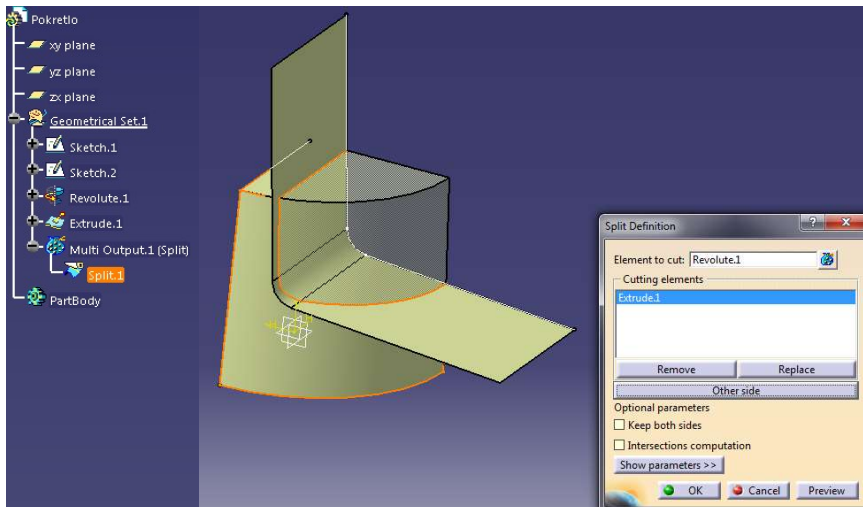
Rys. 5.4. Efekt zdefiniowanego narzędzia *Revolute*

Przy użyciu funkcji *Extrude* wyciągnięto *Sketch.2* w oparciu o dane zdefiniowane w oknie dialogowym zaprezentowanym na rysunku 5.5.



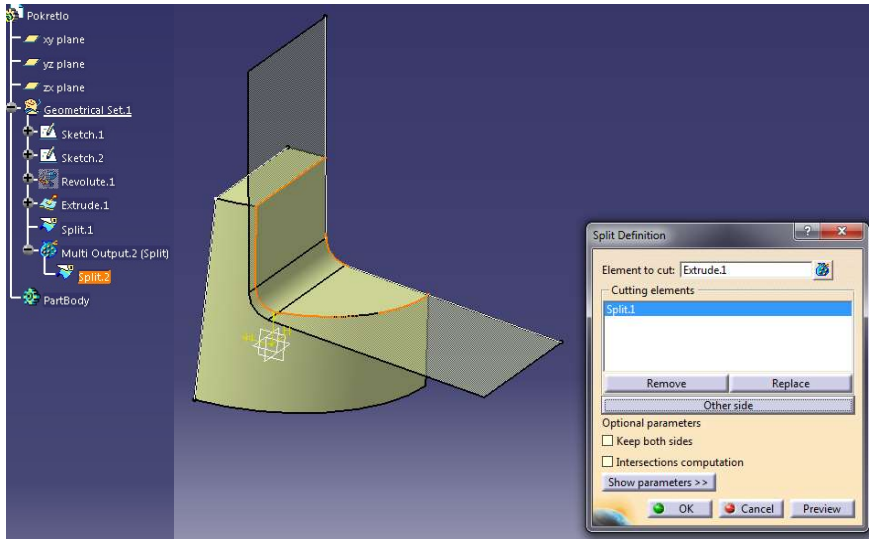
Rys. 5.5. Efekt zdefiniowanego narzędzia *Extrude*

Narzędzie *Split* służy do wykonywania podziału powierzchni bazowej inną geometrią. Wybrano polecenie *Split* i dokonano podziału powierzchni obrotowej (*Revolute.1*) za pomocą powierzchni *Extrude.1*. W celu otrzymania żądanej powierzchni zmieniono wariant rezultatu przy użyciu funkcji *Other side*, co przedstawiono na rysunku 5.6.




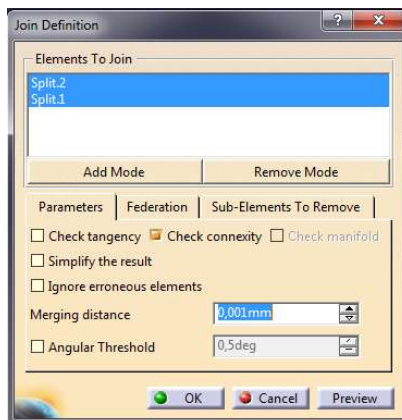
Rys. 5.6. Podział powierzchni obrotowej powierzchnią *Extrude 1*

Następnie wykonano operację docięcia powierzchni wyciągniętej *Extrude.1* elementem tnącym *Split.1*. Uzyskany efekt użycia narzędzia *Split Definition* przedstawiono na rysunku 5.7.



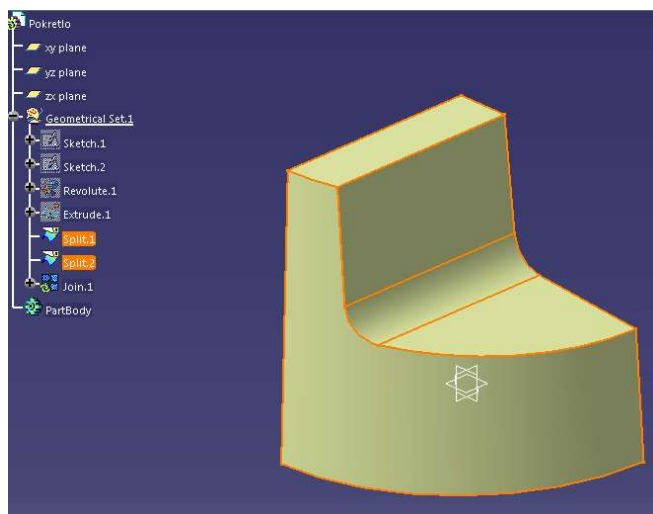
Rys. 5.7. Efekt zdefiniowanego narzędzia *Split 2*

Niezbędnym krokiem na tym etapie modelowania było połączenie opracowanych powierzchni. W celu wykonania tego zadania wybrano narzędzie *Join*  oraz wskazano w drzewie modelu dwa elementy do łączenia: *Split.1* oraz *Split.2*. Pozostałe parametry okna dialogowego pozostały takie, jak zaprezentowano na rysunku 5.8.




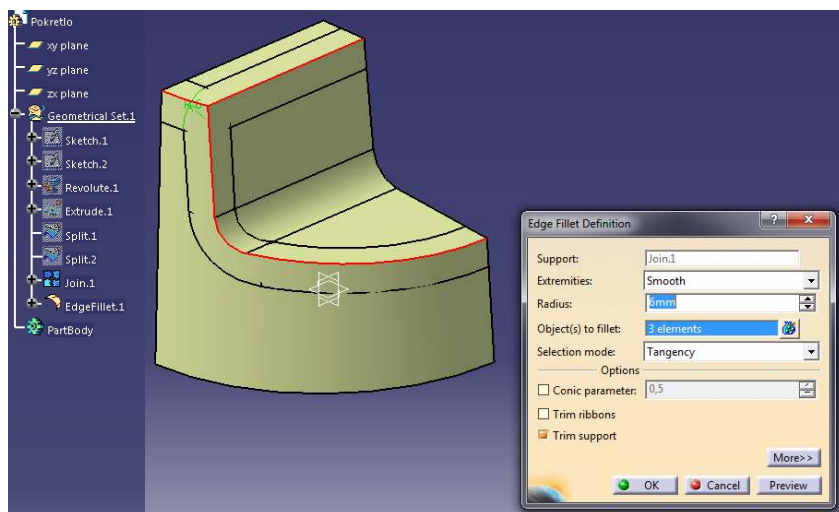
Rys. 5.8. Okno dialogowe narzędzia *Join 1*

W efekcie wykonania tego zadania otrzymano powierzchnię monolityczną przedstawioną na rysunku 5.9.




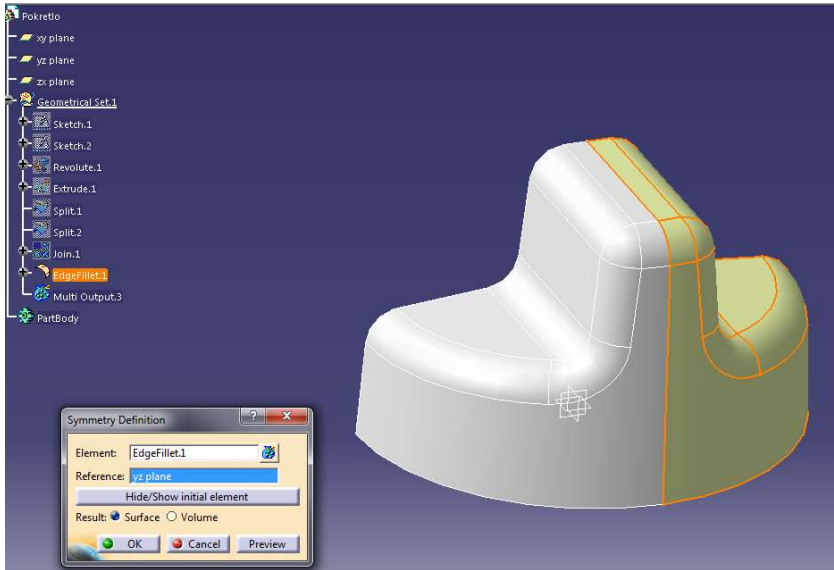
Rys. 5.9. Efekt połączenia wykonanych powierzchni

W celu zaokrąglenia ostrych krawędzi powierzchni użyto narzędzia *Edge Fillet* . Po wprowadzeniu wartości promienia zaokrąglenia 6 mm wskazano trzy kolejne krawędzie do zaokrąglenia w sposób przedstawiony na rysunku 5.10.




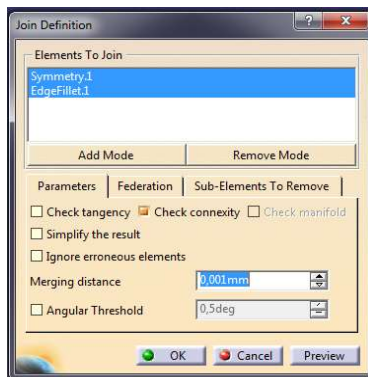
Rys. 5.10. Wykonanie zaokrąglenia ostrych krawędzi powierzchni

Po zaokrągleniu wszystkich krawędzi otrzymano gotowy model 1/4 powierzchni pokrętła. Pozostało wykonanie pozostałych części powierzchni poprzez ich symetryczne odbicia. W tym celu wybrano narzędzie *Symmetry* , następnie wykonano odbicie zaprojektowanej powierzchni monolitycznej względem *yz plane* zgodnie z rysunkiem 5.11.



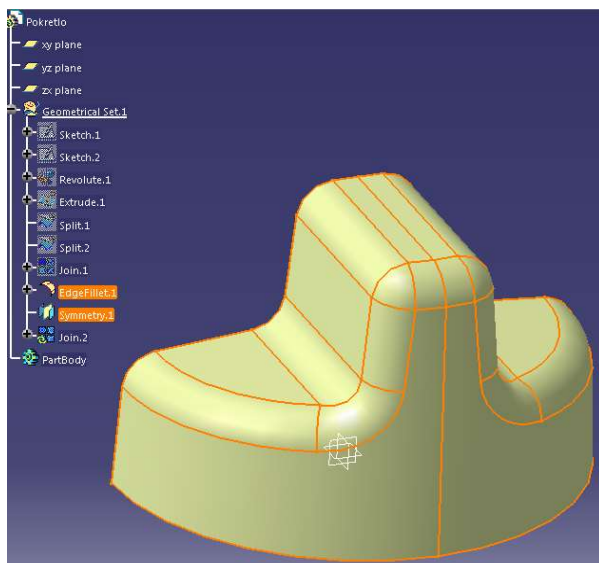
Rys. 5.11. Odbicie symetryczne wykonanej powierzchni względem płaszczyzny yz

Scalenie powierzchni uzyskano przy użyciu narzędzia *Join*  i zaznaczono wykonane powierzchnie zgodnie z parametrami okna dialogowego, przedstawionego na rysunku 5.12.




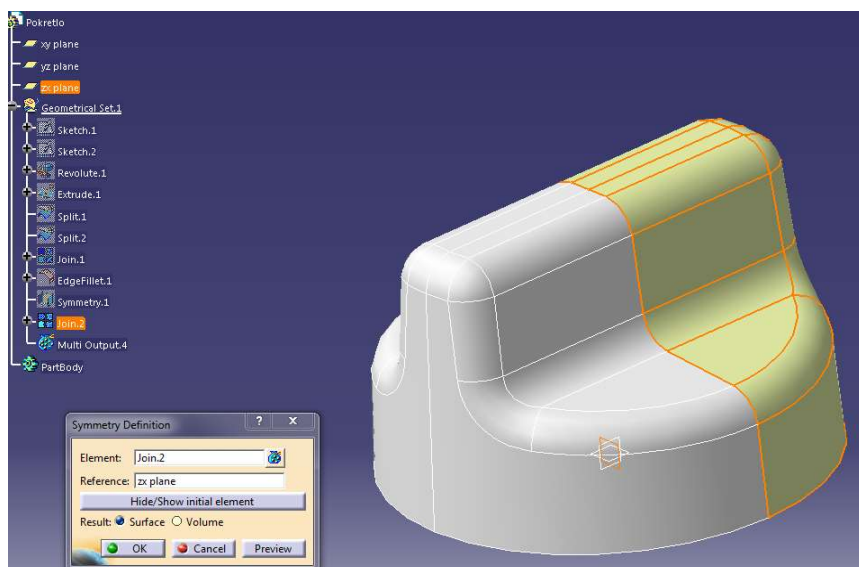
Rys. 5.12. Okno dialogowe narzędzia *Join 2*

Rezultat połączenia wykonanych powierzchni zaprezentowano na rysunku 5.13.




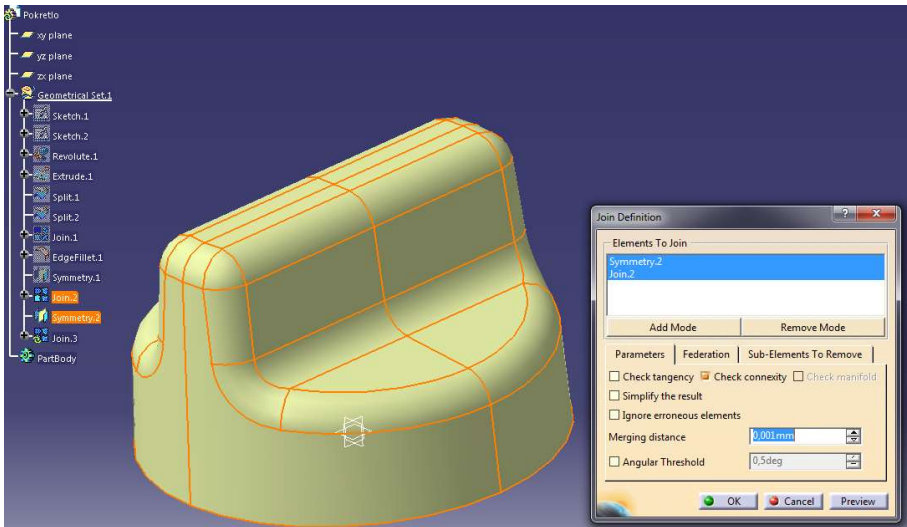
Rys. 5.13. Połączenie odbitych powierzchni

Przy wykorzystaniu polecenia *Symmetry*  wykonano odbicie symetryczne powierzchni *Join.2* względem *zx plane* zgodnie z rysunkiem 5.14.



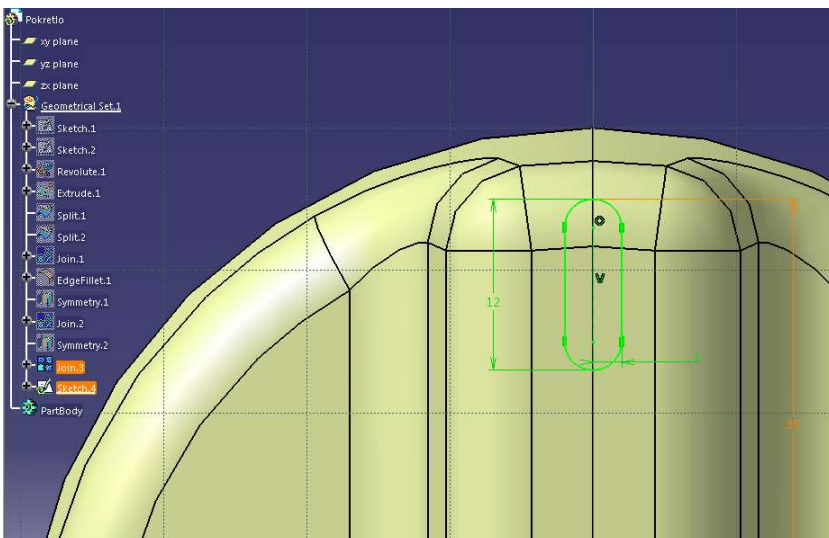
Rys. 5.14. Odbicie połączonej powierzchni względem płaszczyzny *zx*

Otrzymane powierzchnie połączono przy użyciu narzędzia *Join* , co zaprezentowano na rysunku 5.15.



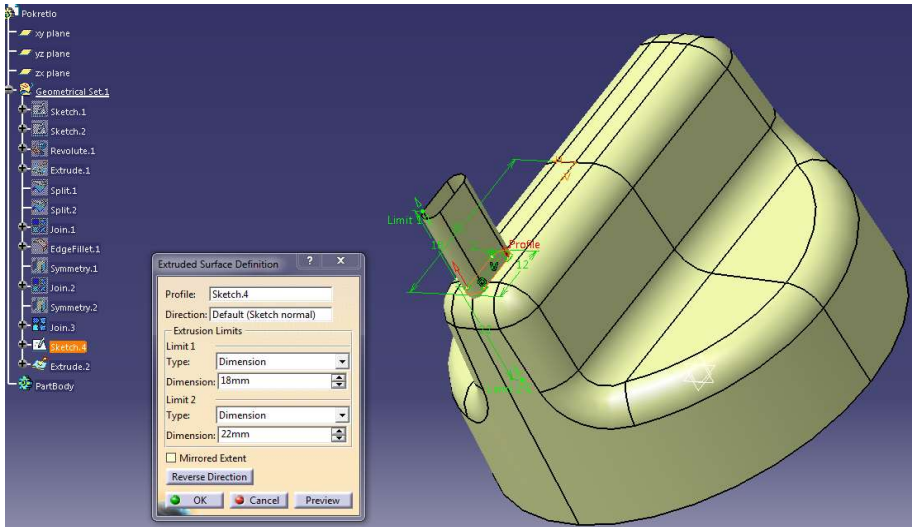
Rys. 5.15. Połączenie powierzchni operacja *Join 3*

Wykonanie wycięcia w kształcie otworu podłużnego na czołowej powierzchni pokręta kończy proces modelowania. W tym celu wskazano górną powierzchnię pokręta i w środowisku szkicownika narysowano zarys zgodnie z rysunkiem 5.16.



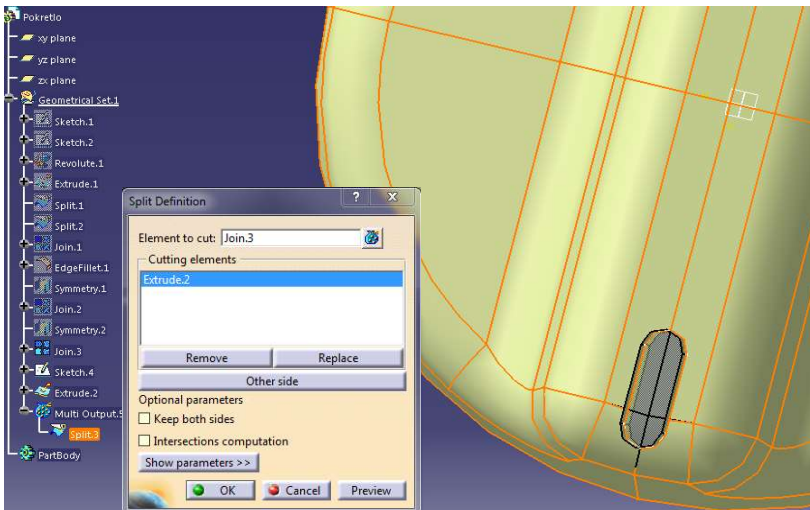
Rys. 5.16. Szkic wycięcia

Przy wykorzystaniu polecenia *Extrude* wykonano wyciągnięcie szkicu *Sketch.4*, wprowadzając parametry zgodnie z rysunkiem 5.17.




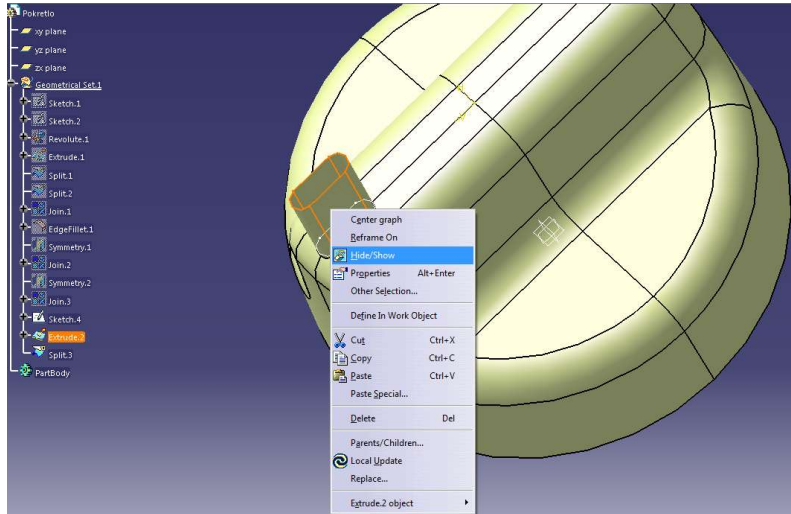
Rys. 5.17. Wyciągnięcie szkicu 4

Następnie zamodelowano otwór podłużny w górnej części pokrętła przy wykorzystaniu powierzchni wyciągniętej. W tym celu wybrano narzędzie *Split* i zdefiniowano parametry okna dialogowego zgodnie z rysunkiem 5.18.

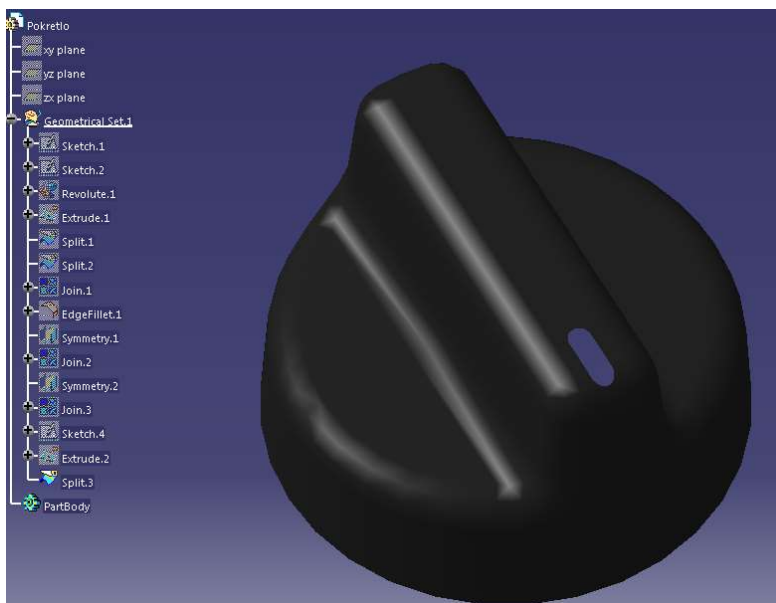


Rys. 5.18. Wycięcie otworu podłużnego


Następnie ukryto powierzchnię, w oparciu o którą wykonano wycięcie. W tym celu w drzewie modelu wskazano operację *Extrude.2* i ukryto ją poleceniem  **Hide/Show**, co przedstawia rysunek 5.19.



Rys. 5.19. Wycięcie podłużnego otworu



Rys. 5.20. Model powierzchniowy pokrętła z widocznym drzewem operacji

W efekcie przeprowadzonego procesu projektowania powierzchniowego otrzymano model pokrętła. W celu wyeksponowania walorów estetycznych modelu zmieniono tryb wyświetlania na *Shading (SHD)*  tak, jak to zaprezentowano na rysunku 5.20. (patrz rys. na s. 52).

Na podstawie projektu pokrętła przedstawiono metodę wykonywania powierzchni poprzez symetryczne kopiowanie jej części. Zaprezentowane podejście pozwala na uproszczenie struktury drzewa modelu i znaczne przyspieszenie procesu modelowania. Metoda ta wykorzystywana jest podczas wykonywania modeli charakteryzujących się przynajmniej jedną płaszczyzną symetrii.

CZĘŚĆ II
PROJEKTOWANIE MODELI HYBRYDOWYCH



6. MODEL KOLEKTORA

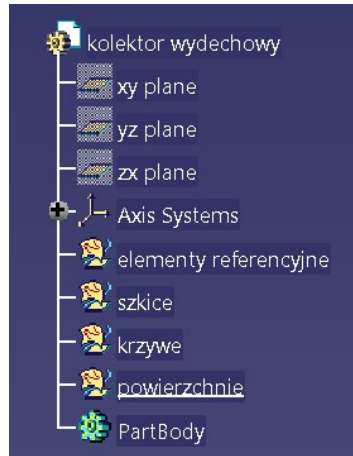
W niniejszy rozdziale przedstawiony będzie proces wirtualnego projektowania modelu kolektora wydechowego. W celu jego wykonania zastosowana zostanie metoda modelowania hybrydowego łączącego w sobie modelowanie powierzchniowe oraz bryłowe. Opracowanie modelu komputerowego rozpocznie się od wykonania zaawansowanej powierzchni układu rur. Następnie w oparciu o uzyskaną powierzchnię wygenerowany zostanie cienkościenny model bryłowy. W ostatnim etapie projektowania do modelu dodane będą kołnierze mocujące. Wynikowy model kolektora wydechowego zaprezentowano na rysunku 6.1.



Rys. 6.1. Model kolektora wydechowego

6.1. Model powierzchniowy kolektora

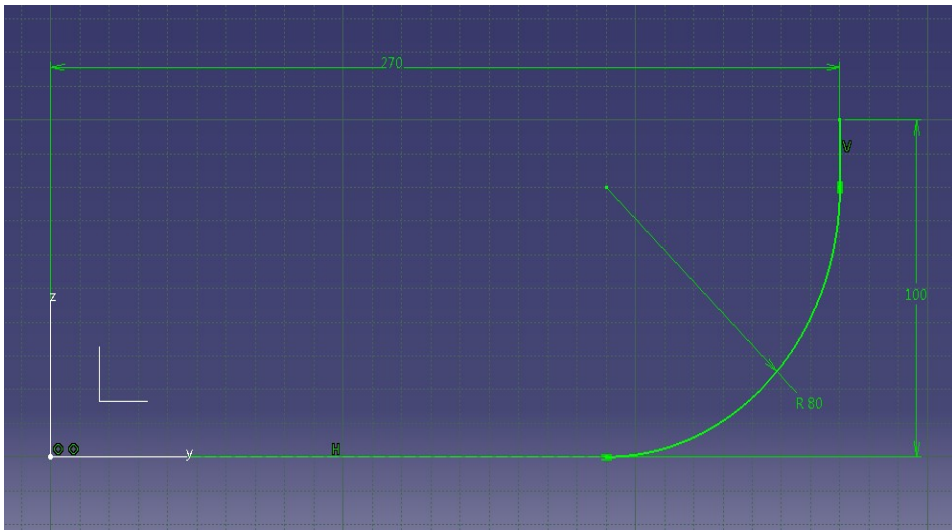
Proces modelowania kolektora rozpoczęto przy wykorzystaniu modułu powierzchniowego systemu *Catia V5*. W pierwszym kroku wykonano strukturę drzewa modelu w module *Generativ Shape Design*  poprzez rozbudowanie go o nowe sekcje geometryczne  *Geometrical Set...*. Na rysunku 6.2. (patrz rys. na s. 58) przedstawiono opracowane drzewo modelu kolektora.



Rys. 6.2. Struktura drzewa modelu

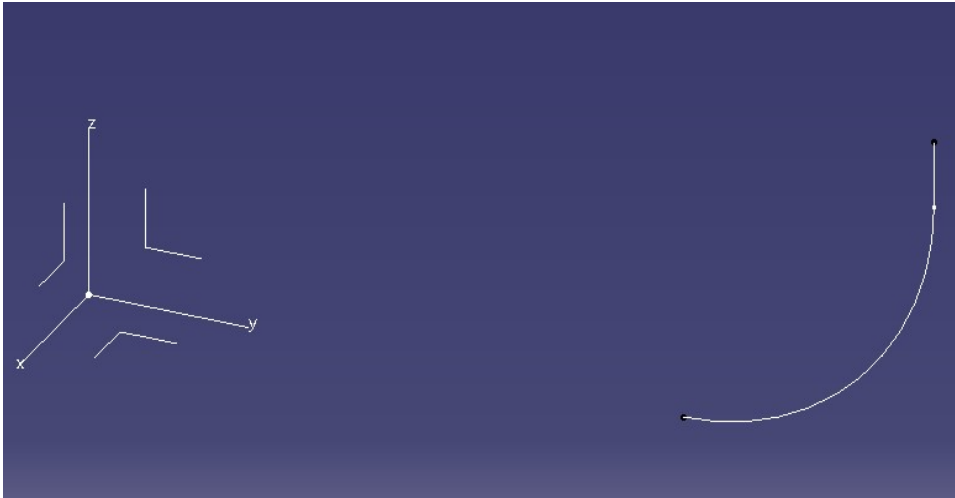
6.1.1. Geometria podstawowa modelu kolektora

Definiowanie geometrii podstawowej rozpoczęto od wykonania rysunku przewodnicy rury. W tym celu wskazano w drzewie modelu sekcję *szkice* jako obiekt pracy. Wykonano szkic na płaszczyźnie *yz* składający się z połączenia łuku i linii. Zarys połączono z osią *y* relacjami: *Coincidence* oraz *Tangency*. Wykonany szkic zaprezentowano na rysunku 6.3.




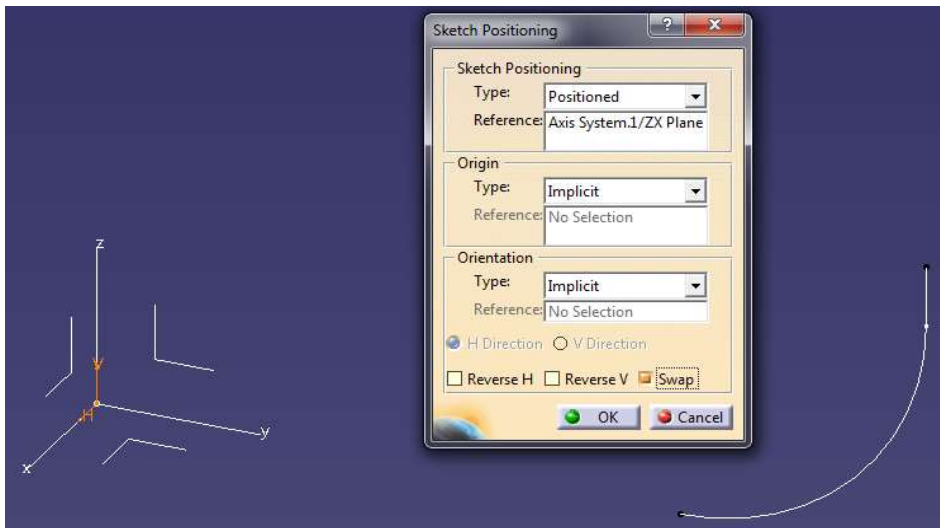
Rys. 6.3. Szkic 1

Następnie opuszczono szkicownik. Uzyskany zarys w środowisku 3D przedstawiono na rysunku 6.4.



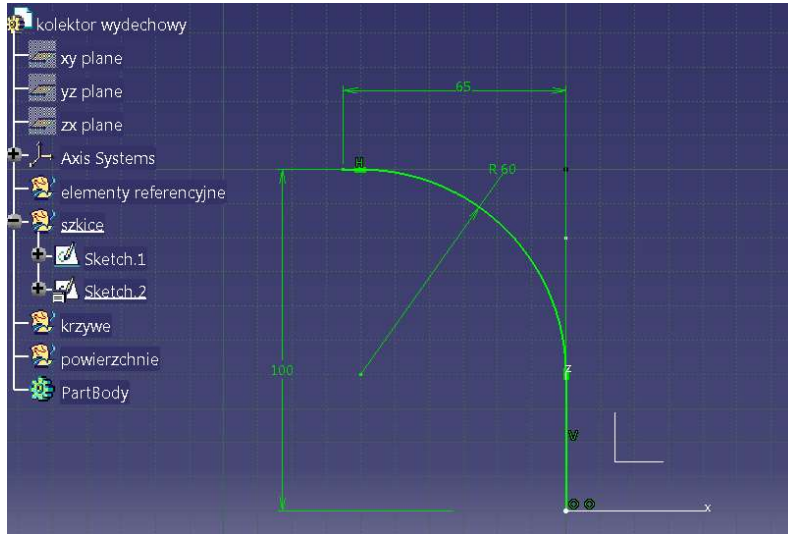
Rys. 6.4. Zarys przedstawiony w środowisku 3D programu

Następnie wybrano narzędzie *Sketch Positioning* , po wskazaniu płaszczyzny *zx* zaznaczono opcję *Swap*. Zdefiniowane okno dialogowe funkcji zaprezentowano na rysunku 6.5.



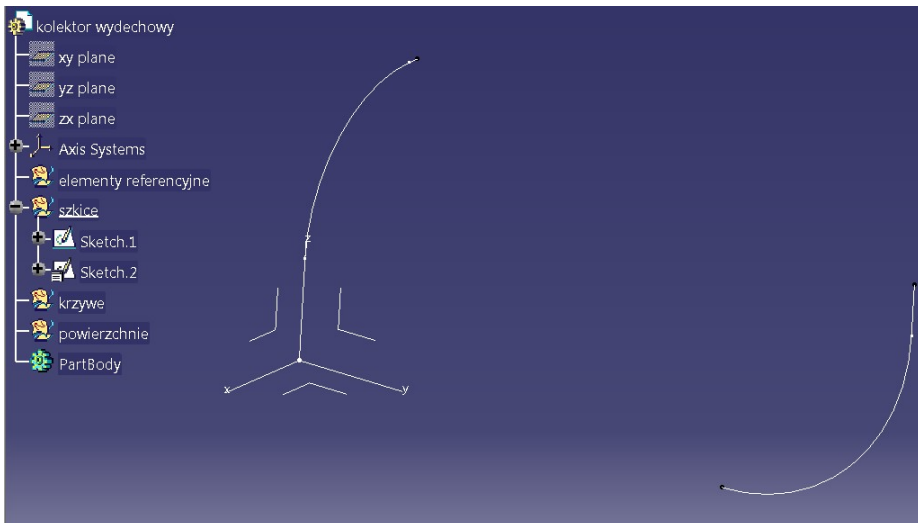
Rys. 6.5. Zdefiniowane okno *Sketch Positioning*

Wykonano kolejny szkic pokazany na rysunku 6.6. Rysowanie rozpoczęto od początku układu współrzędnych, po narysowaniu zdefiniowano niezbędne relacje konstrukcyjne oraz wymiarowe.




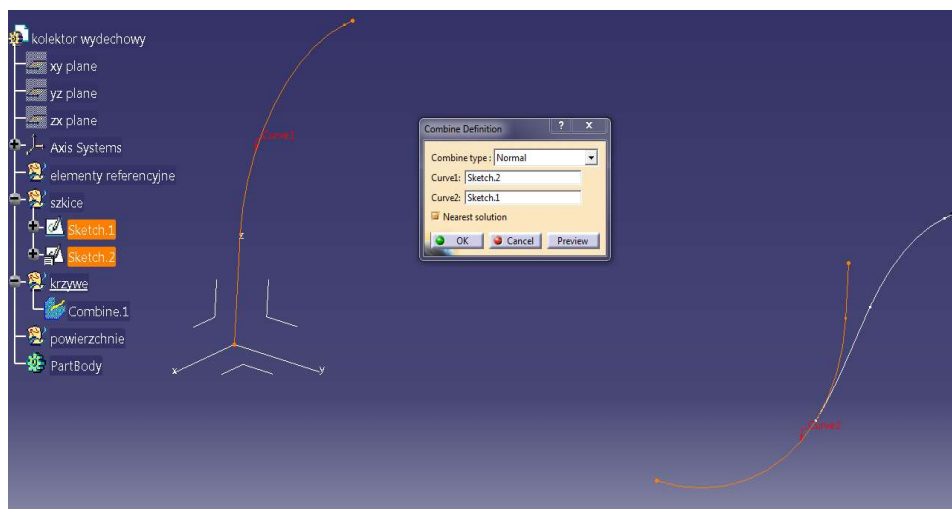
Rys. 6.6. Szkic 2

Po opuszczeniu szkicownika wykonany zarys w środowisku 3D prezentuje rysunek 6.7.



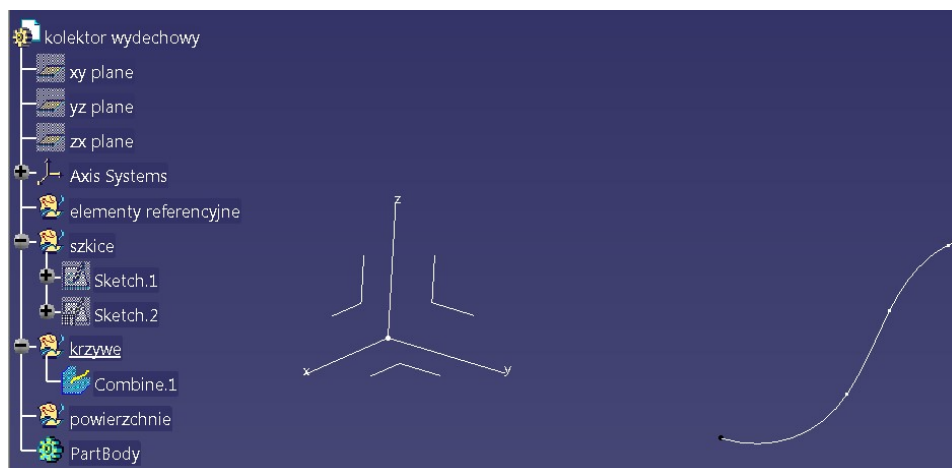
Rys. 6.7. Prezentacja wykonanych szkiców w środowisku 3D

Z dwóch wykonanych rysunków utworzono krzywą przestrzenną. Do tego zadania wybrano narzędzie *Combine*  i zaznaczono krzywe zgodnie z rysunkiem 6.8.



Rys. 6.8. Definiowanie krzywej przestrzennej narzędziem *Combine*

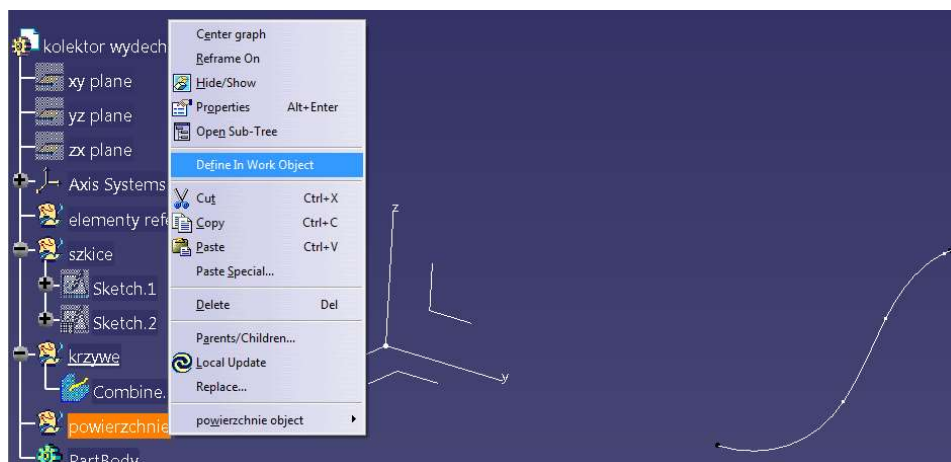
Po zatwierdzeniu wykorzystanego narzędzia otrzymano krzywą przestrzenną powstałą na podstawie dwóch linii 2D. W drzewie modelu operację *Combine.1* przeniesiono do sekcji *krzywe*, następnie zaznaczono szkice i ukryto je. Widok otrzymanej geometrii oraz drzewa modelu zaprezentowano na rysunku 6.9.




Rys. 6.9. Krzywa przestrzenna wygenerowana na podstawie dwóch płaskich zarysów

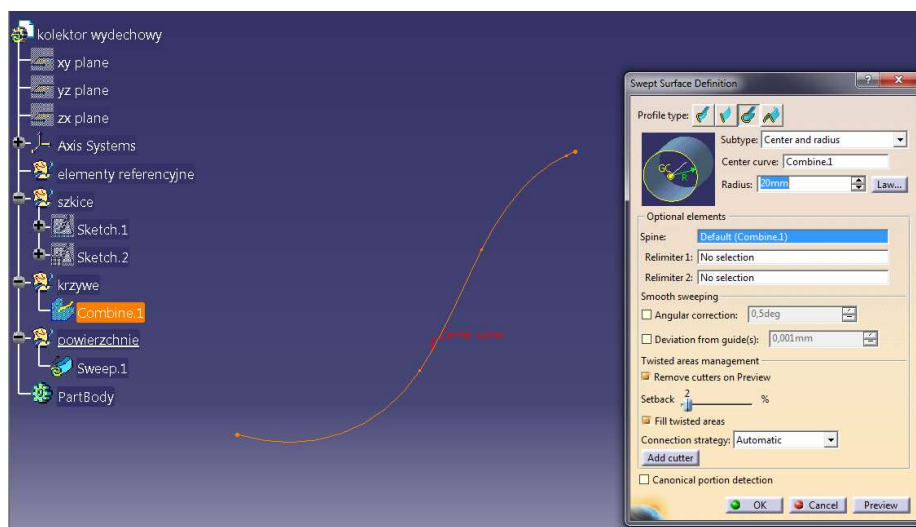
6.1.2. Powierzchnia modelu kolektora

Następny krok w procesie modelowania stanowił wygenerowanie powierzchni rury kolektora. W celu zmiany sekcji geometrycznej wskazano z menu rozwijanego opcję *Define in Work Object* i wybrano sekcję *powierzchnie*, co pokazano na rysunku 6.10.



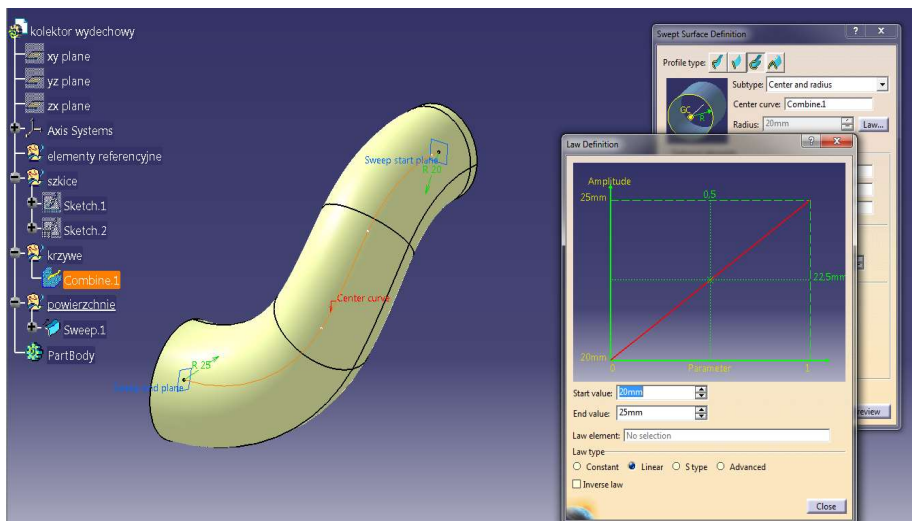
Rys. 6.10. Aktywowanie sekcji geometrycznej

W celu uzyskania powierzchni wybrano narzędzie *Swept*  oraz zdefiniowano parametry okna dialogowego zgodnie z rysunkiem 6.11.



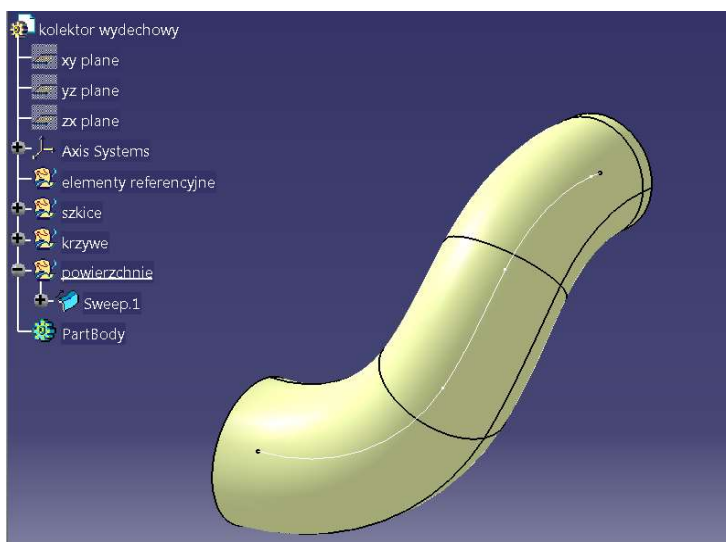
Rys. 6.11. Definiowanie powierzchni typu *Swept*

Następnie wykorzystano polecenie *Law Definition*, co spowodowało pojawienie się dodatkowego okna umożliwiającego wykorzystanie reguły modyfikującej średnice. Wprowadzono parametry okna zaprezentowane na rysunku 6.12.




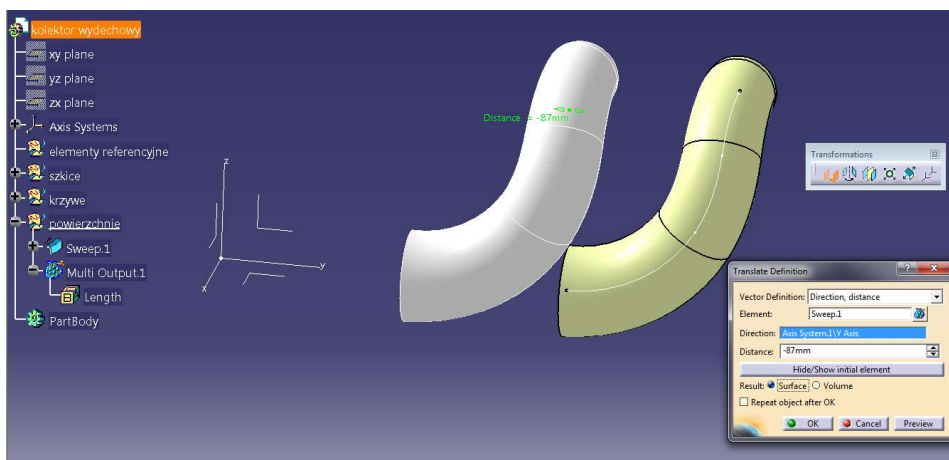
Rys. 6.12. Zastosowanie reguły rozpięcia powierzchni

Po poprawnym zdefiniowaniu polecenia i zatwierdzeniu go otrzymano model powierzchniowy przedstawiony na rysunku 6.13.



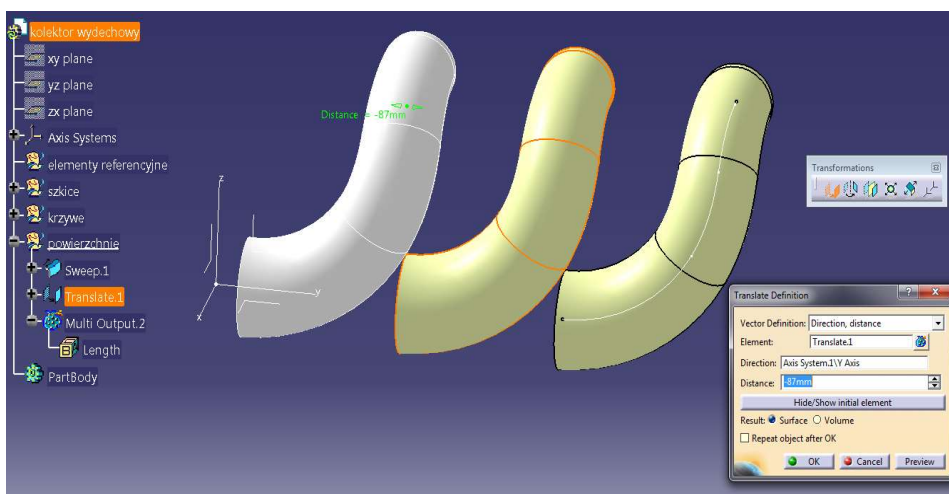
Rys. 6.13. Model powierzchniowy rury o zmiennej średnicy

Następnie wybrano narzędzie *Translate*  oraz wprowadzono parametry okna dialogowego zgodnie z rysunkiem 6.14. W wyniku otrzymano drugie „kolanko” kolektora przedstawione na poniższym rysunku. Analogicznie postąpiono w celu wykonania trzeciego „kolanka”.




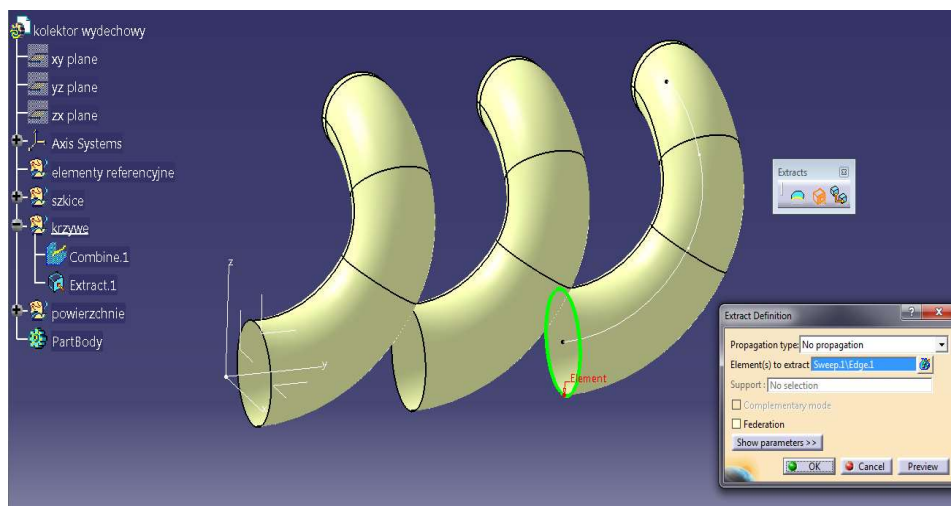
Rys. 6.14. Zastosowanie narzędzia *Translate* w celu powielenia powierzchni

Efekt powielenia trzeciego „kolanka” zaprezentowano na rysunku 6.15.




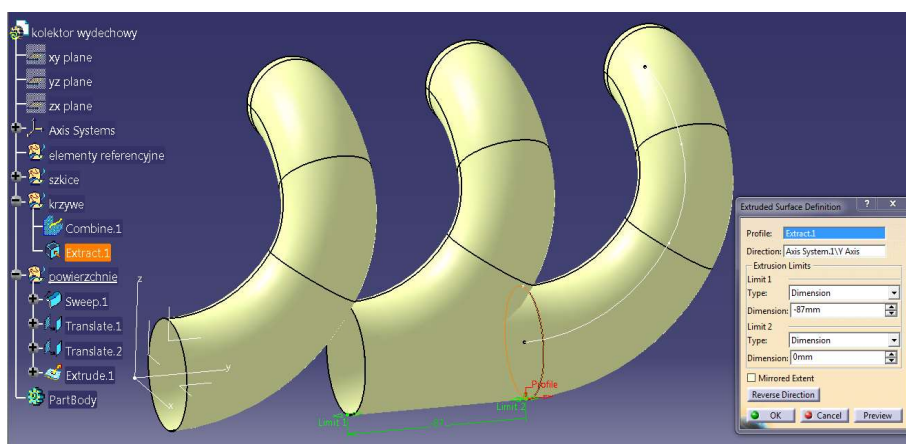
Rys. 6.15. Powielenie wykonanej powierzchni

Kolejny krok w procesie modelowania to wskazanie w drzewie historii sekcji *krzywe*. Wybrano narzędzie *Extract* , następnie zaznaczono krawędź modelu zgodnie z rysunkiem 6.16. celem wyodrębnienia jej z powierzchni. Krawędź wykorzystana zostanie w dalszym procesie modelowania.




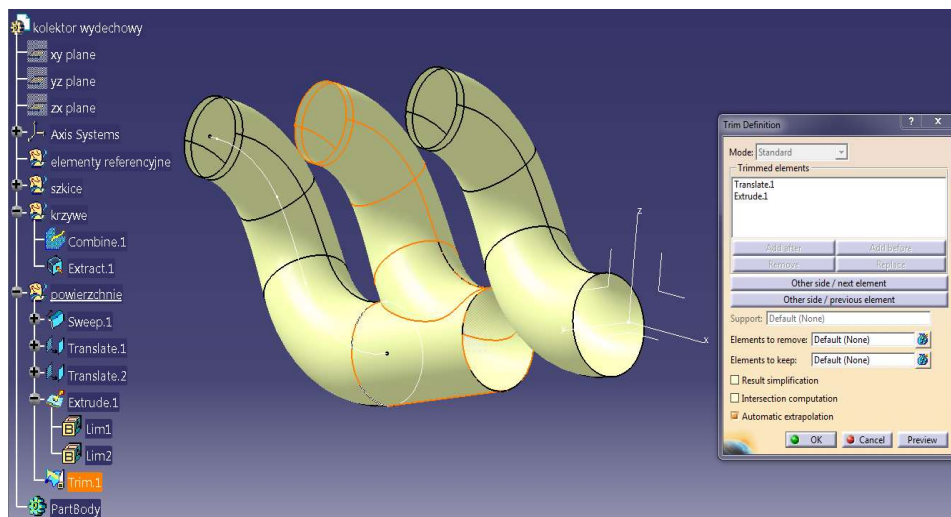
Rys. 6.16. Wyodrębnienie krawędzi powierzchni

Powrócono do sekcji *powierzchnie*. Po wybraniu narzędzia *Extrude* , wprowadzono parametry okna zaprezentowane na rysunku 6.17. Uzyskany efekt wyciągnięcia przedstawiono na poniższym rysunku.



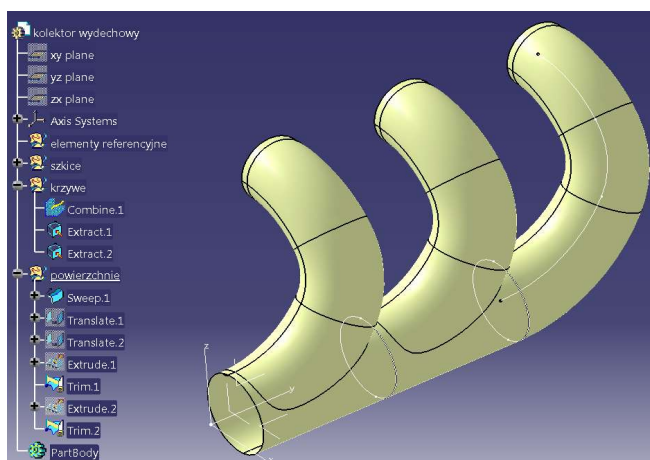
Rys. 6.17. Wyciągnięcie zarysu typu *Extract*

Wybrano narzędzie *Trim*  służące do przycinania powierzchni. Zaznaczono powierzchnię „kolanka” środkowego, następnie wykonano wyciągnięcie *Extrude.1* zgodnie z rysunkiem 6.18. W efekcie otrzymano wycięcie w miejscu styku kolanka z rurą.





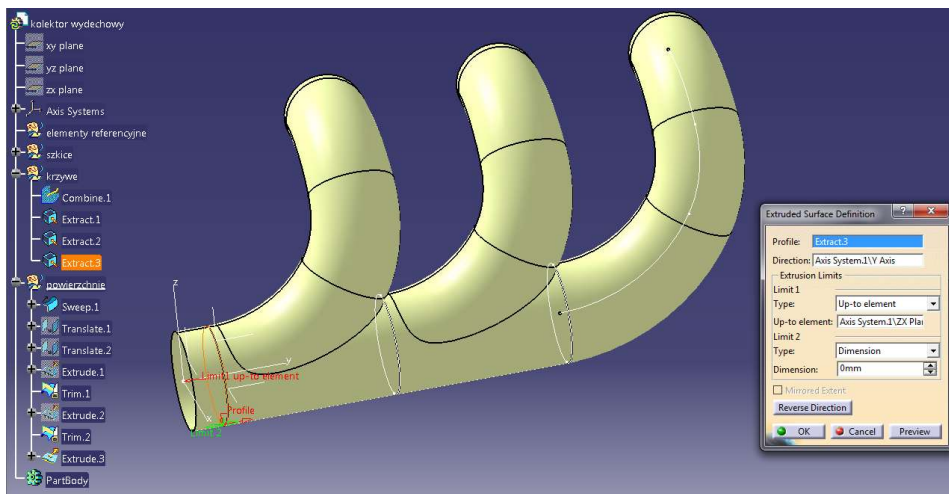
Rys. 6.18. Przycięcie wykonanych powierzchni

Powtórzono czynność w odniesieniu do ostatniego kolanka. Na rysunku 6.19. zaprezentowano uzyskany efekt w postaci wykonanego modelu powierzchniowego kolektora.



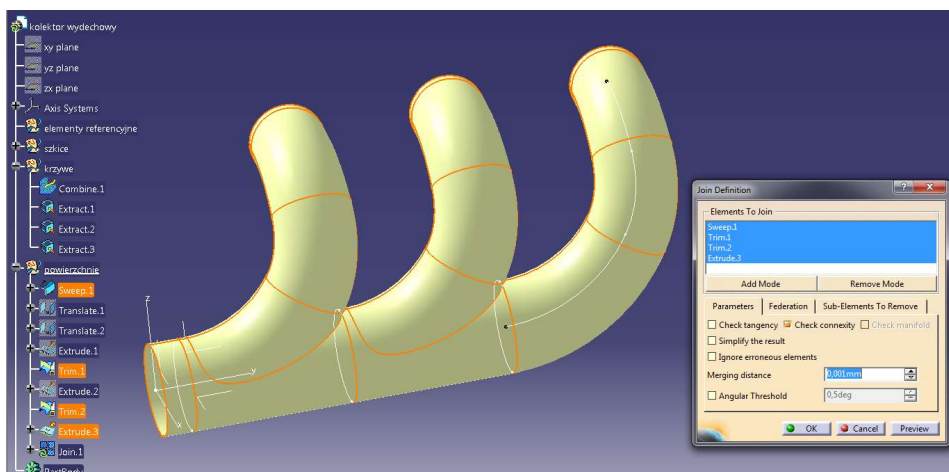
Rys. 6.19. Model powierzchniowy kolektora przed połączeniem kolanek

Następny krok procesu modelowania stanowiło wydłużenie profilu rury do płaszczyzny *zx* z wykorzystaniem narzędzia *Extract*  oraz *Extrude* , co pokazano na rysunku 6.20.



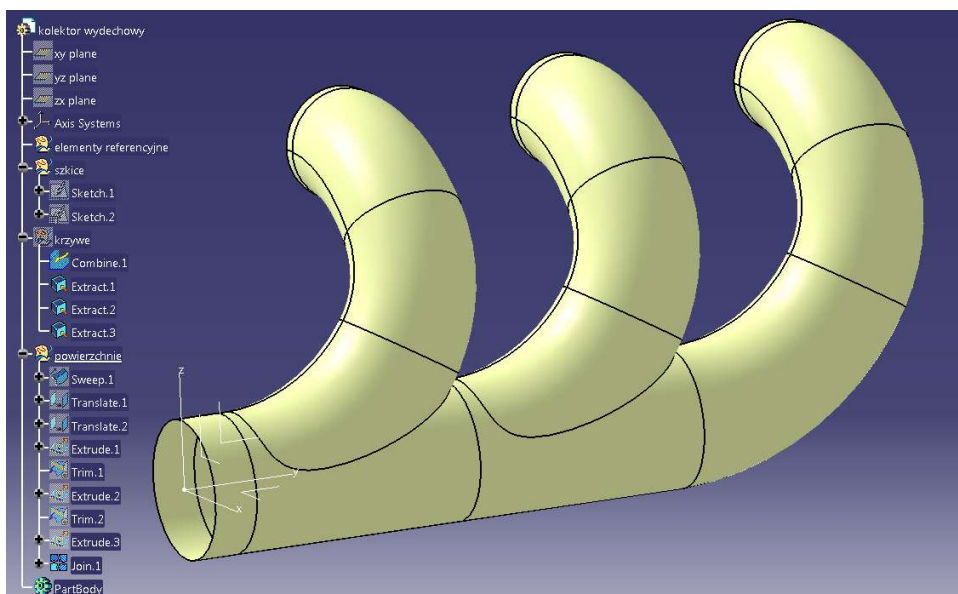
Rys. 6.20. Wydłużenie rury centralnej kolektora

Przy wykorzystaniu polecenia *Join*  połączono wykonane powierzchnie, w efekcie otrzymując model powierzchniowy pokazany na rysunku 6.21.



Rys. 6.21. Połączenie wykonanych powierzchni

Na końcu tego etapu ukryto sekcję *krzywe*, po czym sprawdzono strukturę drzewa, której wygląd powinien mieć postać przedstawioną na rysunku 6.22. W innym przypadku należałoby wykonane operacje przyporządkować odpowiednim sekcjom.




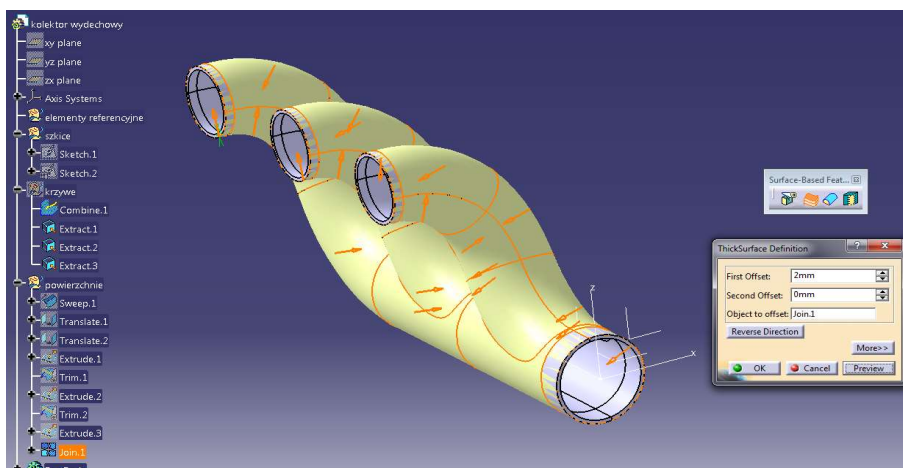
Rys. 6.22. Model powierzchniowy kolektora wydechowego

W trakcie opracowywania modelu powierzchniowego kolektora wydechowego przedstawiono metodę wykonywania krzywej przestrzennej w oparciu o dwa szkice 2D. Następnie zaprezentowano sposób generowania powierzchni o zmiennym przekroju poprzecznym opisanym za pomocą funkcji liniowej. Wykonana powierzchnia została powielona i kolejno docięta oraz połączona, w wyniku czego otrzymano model powierzchniowy kolektora.


6.2. Model hybrydowy kolektora

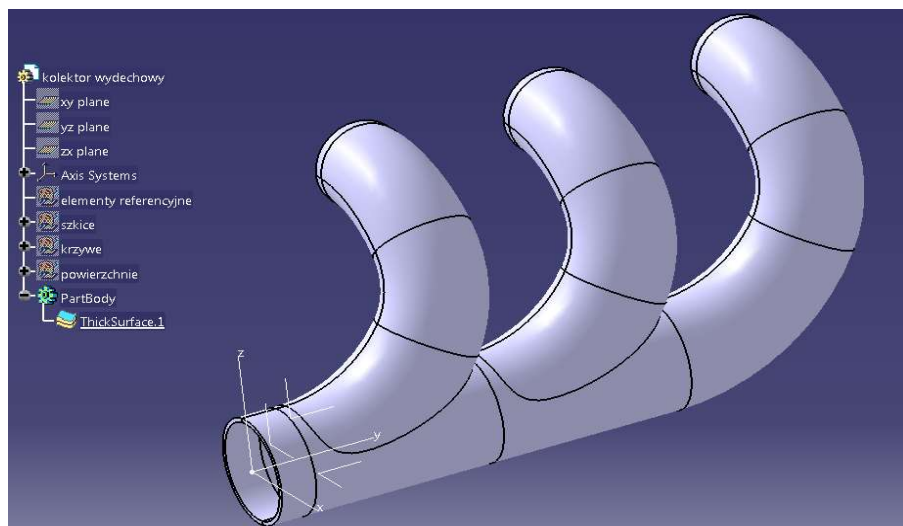
Wykorzystano moduł *Part Design*  (*Start/Mechanical Design/Part Design*) w celu nadania grubości ściankom kolektora i dorysowania kołnierza.

Do tego zadania wybrano narzędzie *Thick Surface*  (*Insert/Surface/Based Features*). Na rysunku 6.23. (patrz rys. na s. 69) zaprezentowano wprowadzone parametry okna dialogowego oraz zwrot kierunku grubości.




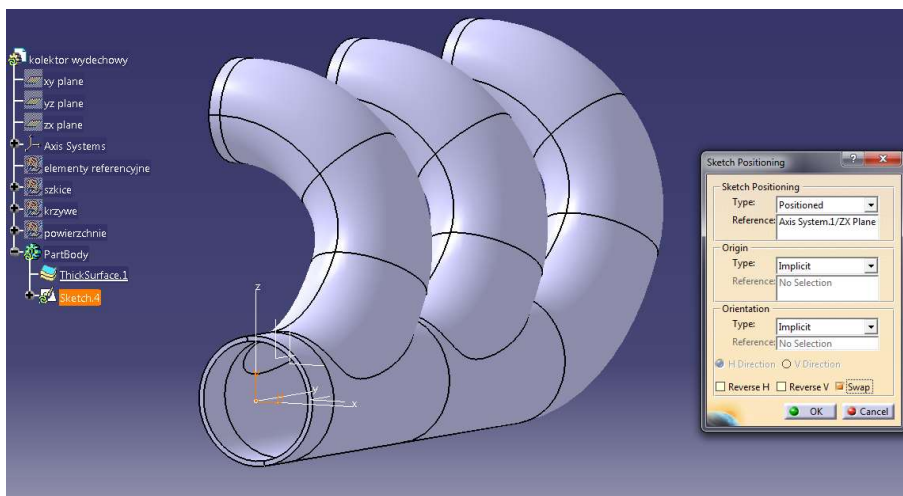
Rys. 6.23. Nadanie grubości modeli powierzchniowemu kolektorowi

Następnie ukryto sekcję *powierzchnie* poleceniem *Hide/Show* . Na rysunku 6.24. zaprezentowano otrzymany w oparciu o model powierzchniowy model bryłowy kolektora.



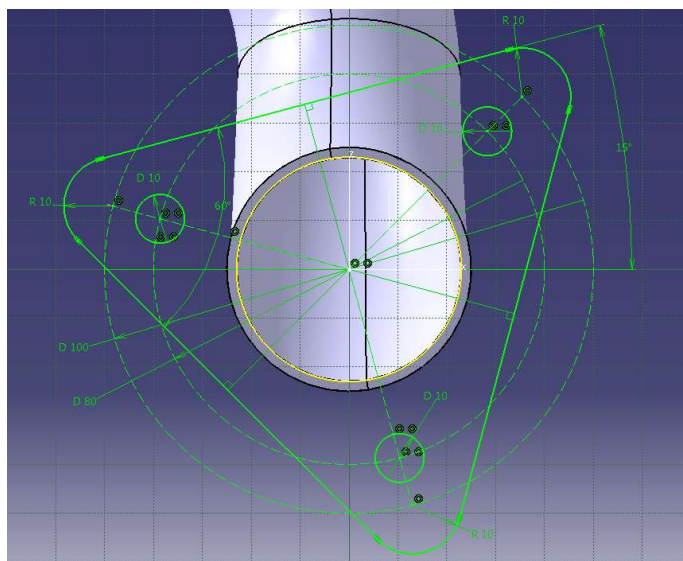
Rys. 6.24. Model bryłowy otrzymany na podstawie powierzchni

Kolejny krok w procesie projektowania bryłowego to wykonanie kołnierza kolektora. W tym celu opracowano szkic  na płaszczyźnie *zx* (przy zaznaczeniu funkcji *Swap*). Na rysunku 6.25. (patrz rys. na s. 70) przedstawiono układ współrzędnych *zx* usytuowany względem modelu kolektora.



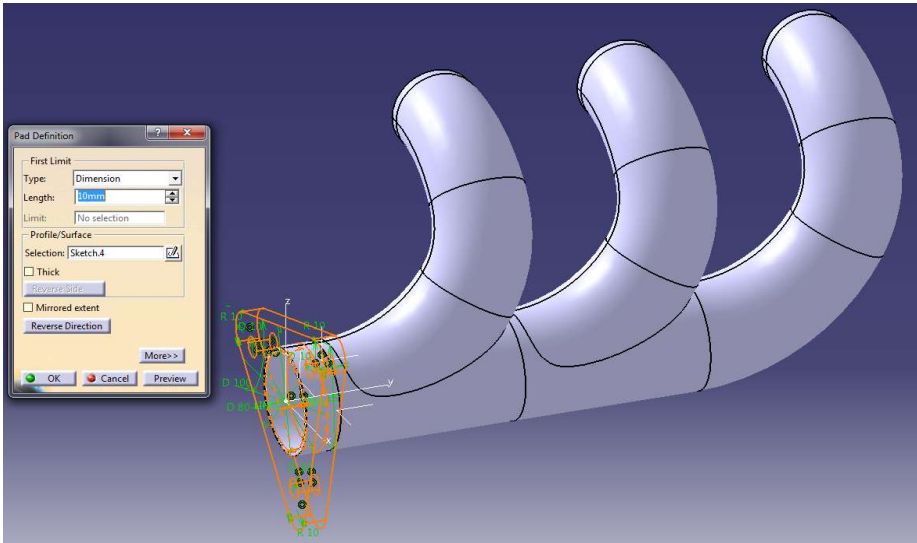
Rys. 6.25. Pozycjonowanie orientacji szkicu zarysu kołnierza

Na płaszczyźnie zx wykonano szkic, który zaprezentowano na rysunku 6.26.



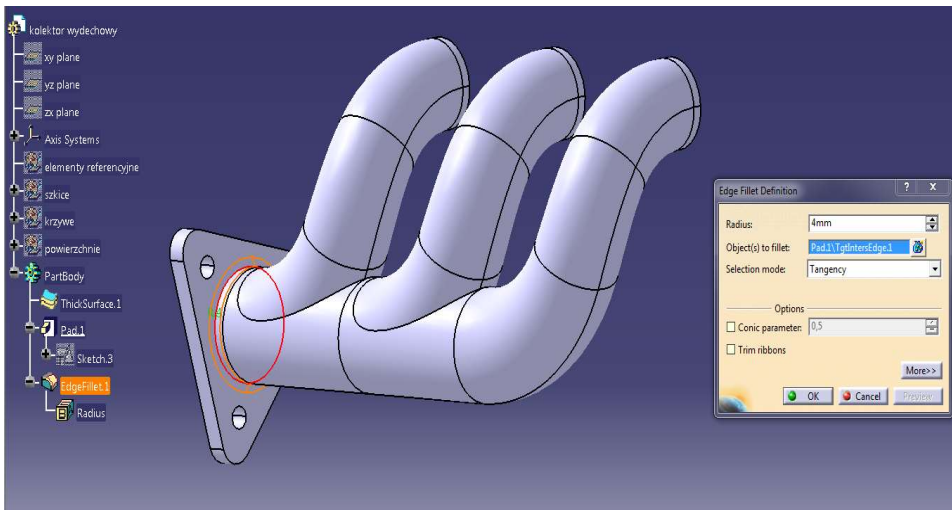
Rys. 6.26. Szkic kołnierza

W następnym kroku wyciągnięto narysowany szkic przy wykorzystaniu narzędzia *Pad*. Wprowadzone parametry okna dialogowego tej funkcji zaprezentowano na rysunku 6.27. (patrz rys. na s. 71).




Rys. 6.27. Wyciągnięcie zarysu kołnierza kolektora przy użyciu funkcji *Pad*

Wykonano zaokrąglenie krawędzi w miejscu połączenia kołnierza z rurą przy użyciu polecenia *Edge Fillet*. Dzięki temu otrzymano model kolektora pokazany na rysunku 6.28.



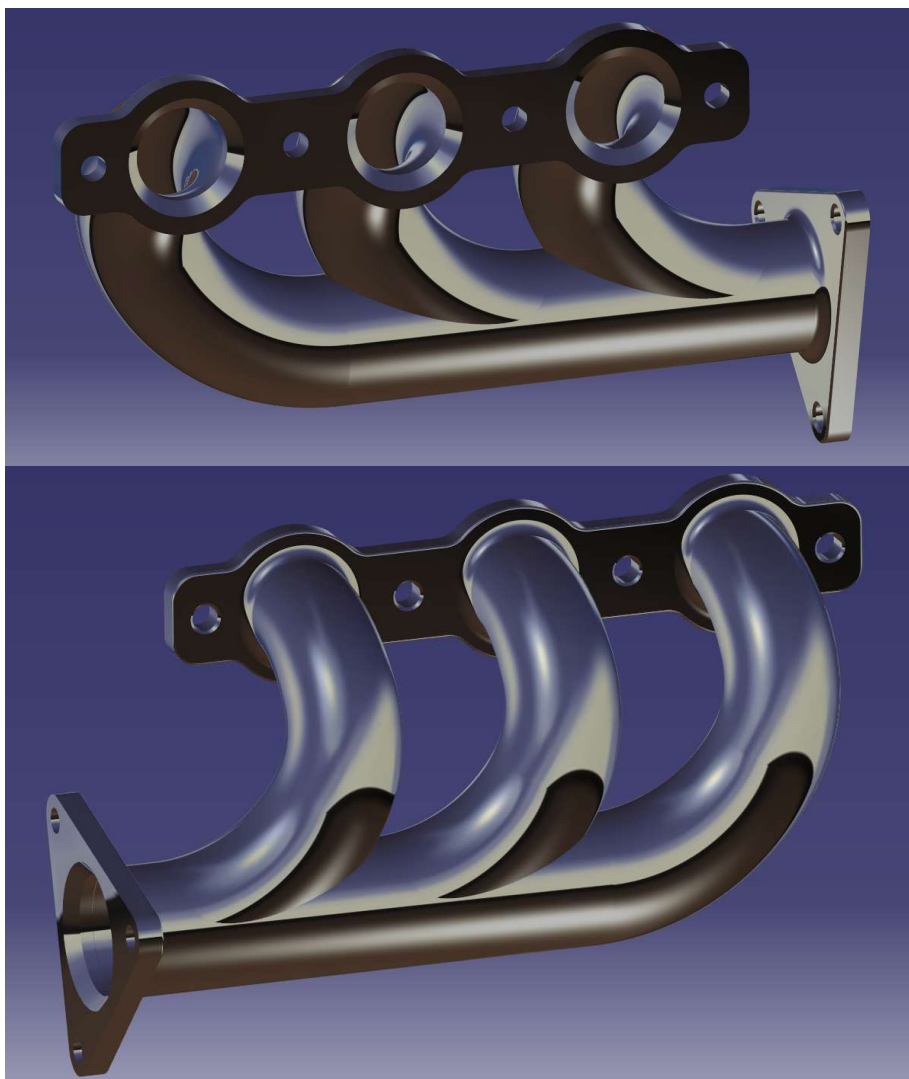
Rys. 6.28. Wykonanie zaokrąglenia w miejscu połączenia kołnierza z rurą centralną

W celu wyeksponowania walorów estetycznych modelu zmieniono tryb wyświetlania na *Shading (SHD)* . Efekt zastosowanych zmian zaprezentowano na rysunku 6.29.



Rys. 6.29. Model hybrydowy kolektora wydechowego


Opcjonalny model kolektora składający się z zestawu trzech rur oraz dwóch kołnierzy przedstawiono na rysunku 6.30. (patrz rys. na s. 73).



Rys. 6.30. Alternatywny model kolektora wydechowego zaprezentowany w środowisku SHD

W ramach projektu kolektora wydechowego zaprezentowano metodę wykonywania modelu powierzchniowego w procesie modelowania bryłowego. Opracowanie modelu hybrydowego wiązało się z zaimportowaniem wykonanej powierzchni do modułu bryłowego, gdzie została jej nadana grubość. W kolejnym etapie model został rozbudowany o dwa kołnierze. Przedstawiona metoda prezentuje sposób wykorzystanie zasobów narzędziowych niezależnych dwóch modułów systemu CAD w procesie modelowania kolektora.


7. MODEL FLAKONU OZDOBNEGO

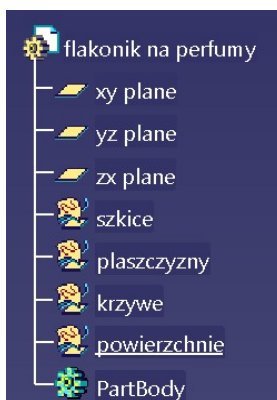
W tym rozdziale przedstawiony będzie proces modelowania hybrydowego flakonu ozdobnego. Flakon będzie się składać z dwóch części: butelki oraz wieczka. Ze względu na złożony kształt obiektu podczas procesu projektowania konieczne będzie wykorzystanie modułu powierzchniowego (*Generative Shape Design*) oraz bryłowego (*Part Design*) systemu *Catia V5* . Na rysunku 7.1. przedstawiono model flakonu ozdobnego.



Rys. 7.1. Model flakonu ozdobnego

7.1. Model powierzchniowy flakonu ozdobnego

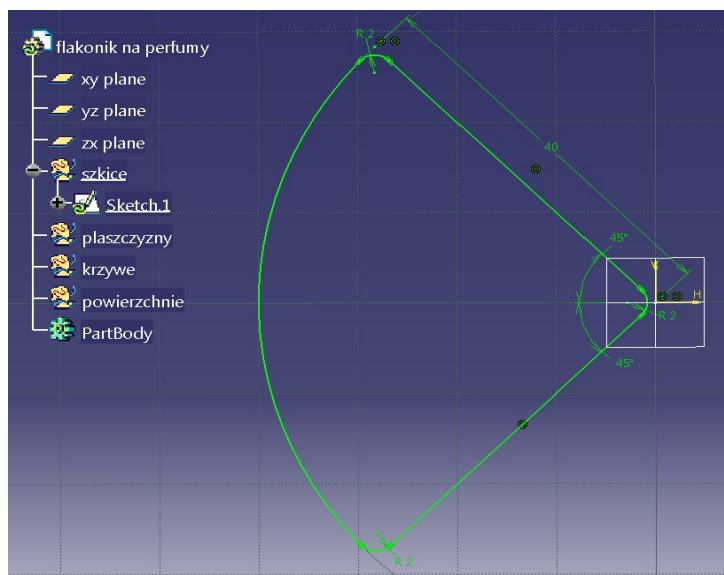
Wybrano moduł *GSD* oraz opracowano strukturę drzewa modelu. W jej ramach dodano cztery nowe sekcje geometryczne  *Geometrical Set...* i nazwano je następująco: *szkice*, *plaszczyny*, *krzywe* oraz *powierzchnie*. Strukturę wykonanego drzewa zaprezentowano na rysunku 7.2. (patrz rys. na s. 76).



Rys. 7.2. Struktura drzewa modelu

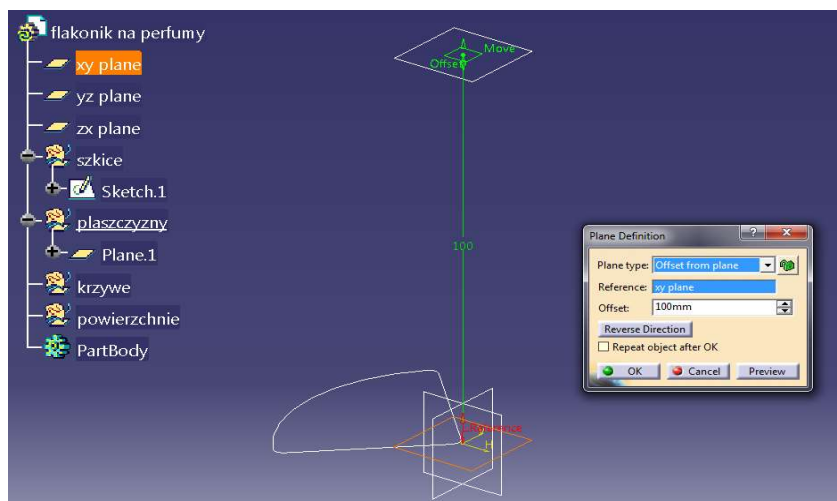
7.1.1. Geometria podstawowa modelu butelki

Zadanie projektowe rozpoczęto od wykonania pierwszego profilu. Po wybraniu sekcji *szkice* narysowano zarys na płaszczyźnie *xy*, który zaprezentowano na rysunku 7.3.



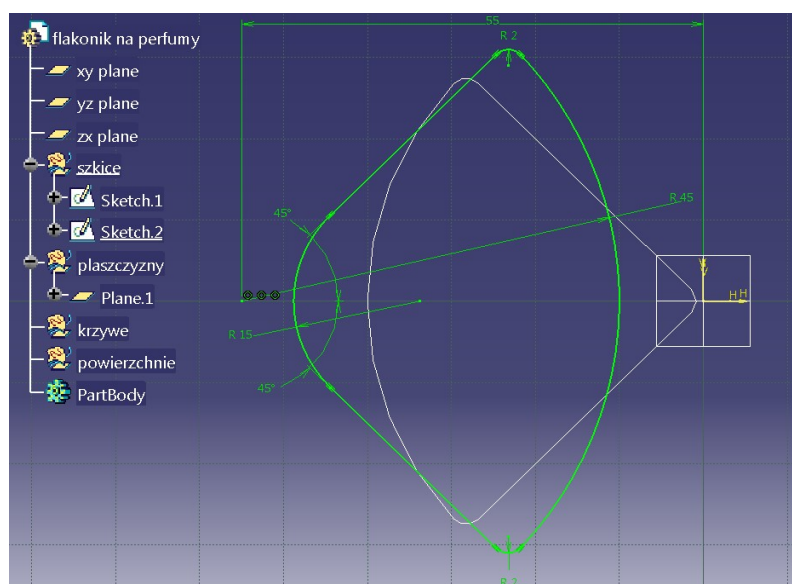
Rys. 7.3. Szkic pierwszego profilu

Wprowadzono płaszczyznę pomocniczą przemieszczoną względem płaszczyzny *xy* układu współrzędnych wzdłuż osi *Z*, o 100 mm, pokazaną na rysunku 7.4. (patrz rys. na s. 77).





Rys. 7.4. Płaszczyzna typu *Offset*

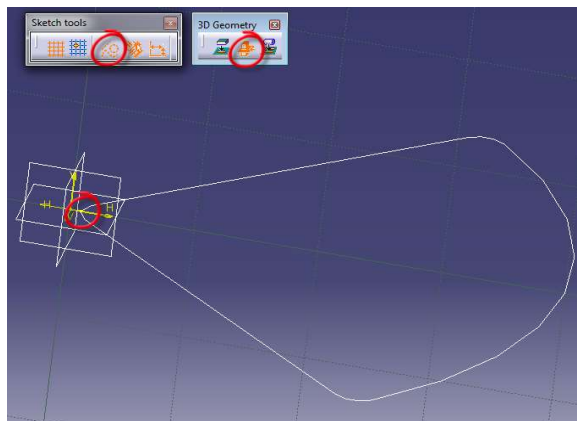
Na płaszczyźnie pomocniczej wykonano szkic (przedstawiony na Rys. 7.5.), mając na uwadze konieczność wprowadzenia odpowiednich relacji wymiarowych i geometrycznych.



Rys. 7.5. Szkic drugiego profilu

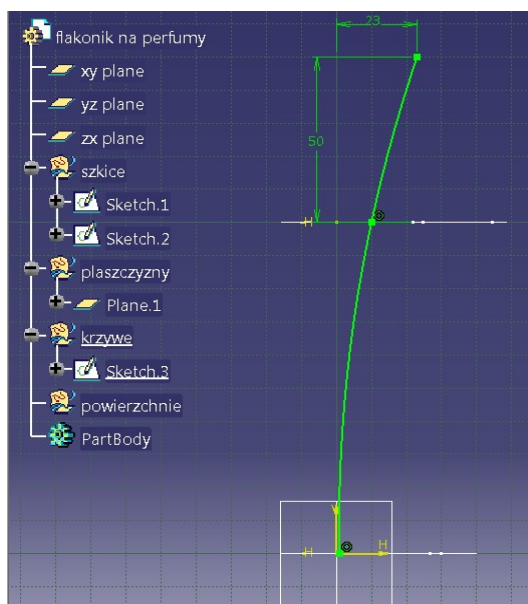
Następnie wykonano szkic na płaszczyźnie *zx*. Zawiera on odcinek linii narysowany przez punkty należące do wcześniej opracowanych sekcji. Do utworzenia

pierwszego punktu użyto narzędzia *Intersect 3D Elements*  przy wskazaniu mniejszego łuku profilu dolnego – rysunek 7.6. Później wykonany punkt zmieniono na konstrukcyjny, używając ikony  (Rys. 7.6.).



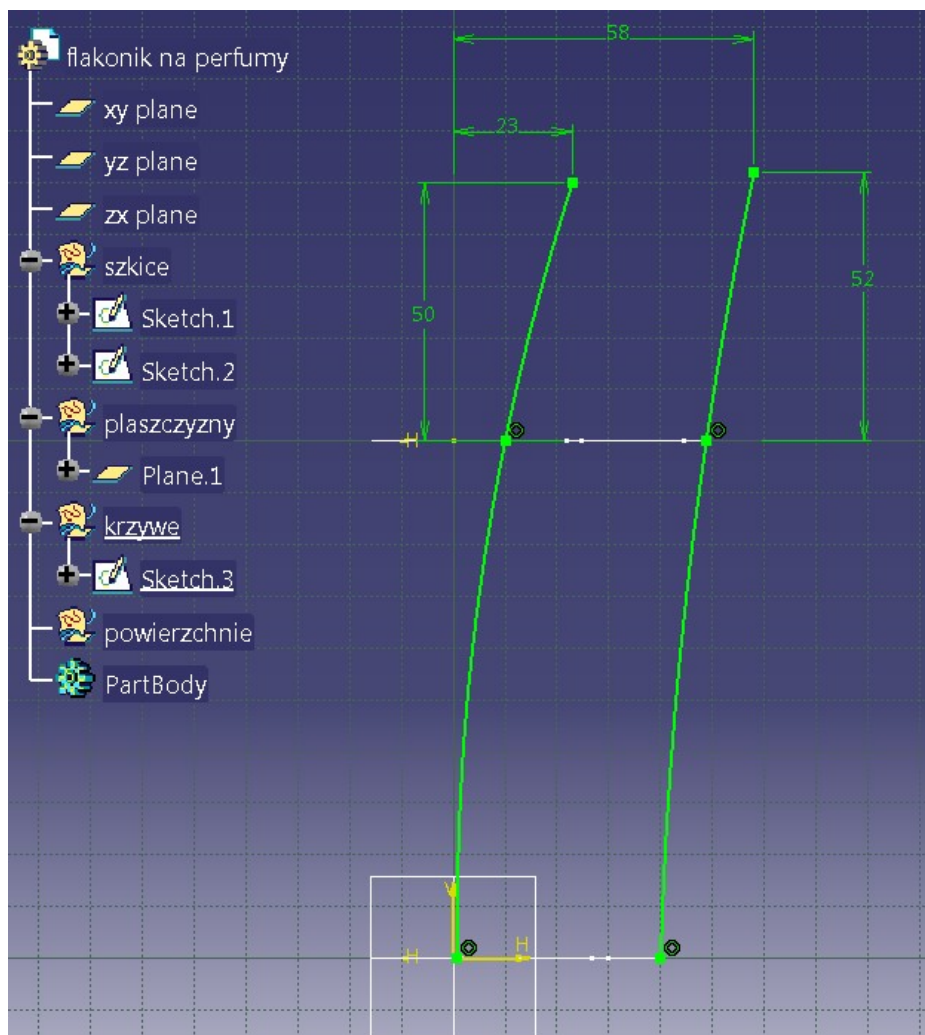
Rys. 7.6. Dolny punkt przecięcia szkicu z płaszczyzną

Powtórzono powyższą technikę w celu wyznaczenia punktu przecięcia z górnym szkicem. Następnie narysowano pierwszą linię przez wyznaczone punkty przy zachowaniu wymiarów i relacji zgodnie z rysunkiem 7.7.



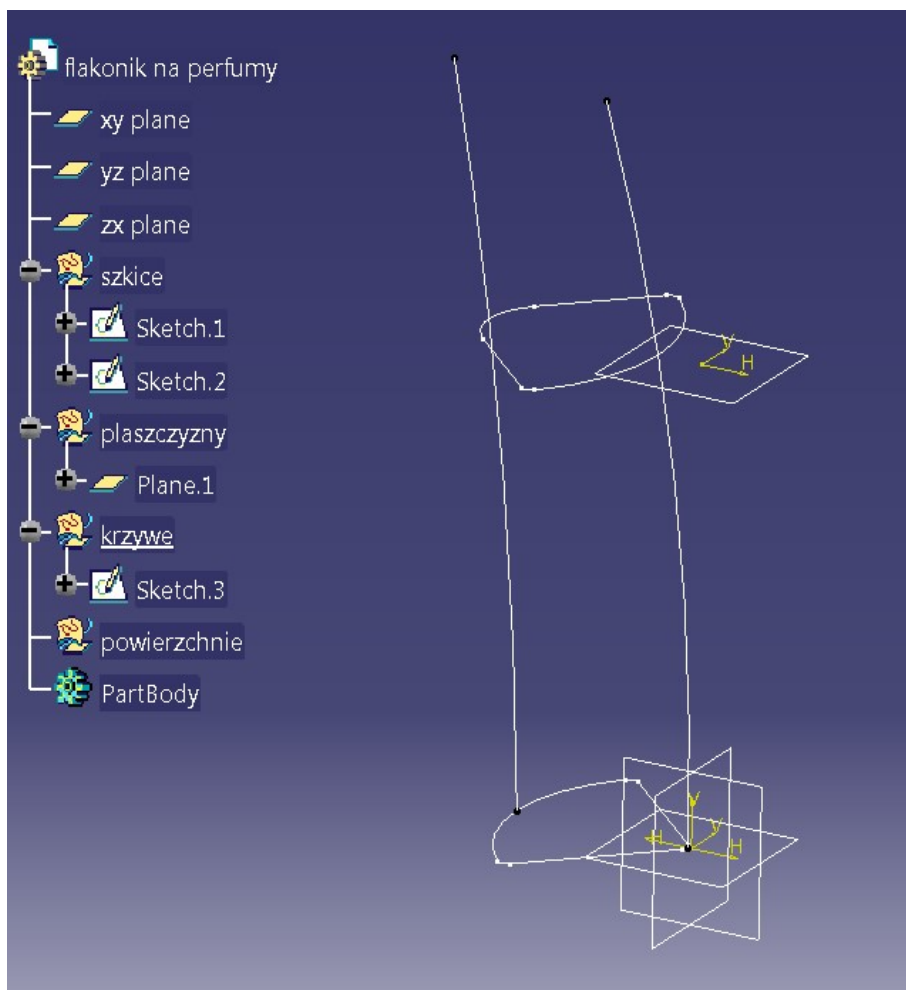
Rys. 7.7. Pierwsza linia prowadząca

Analogicznie do wcześniejszych podpunktów rozdziału wyznaczono dwa punkty i poprowadzono przez nie drugą krzywą zgodnie z rysunkiem 7.8.



Rys. 7.8. Szkic dwóch linii prowadzących


Po opuszczeniu szkicownika otrzymano obraz poprawnej struktury wykonanego drzewa historii oraz opracowanych rysunków w środowisku 3D przedstawiony na rysunku 7.9. (patrz rys. na s. 80).

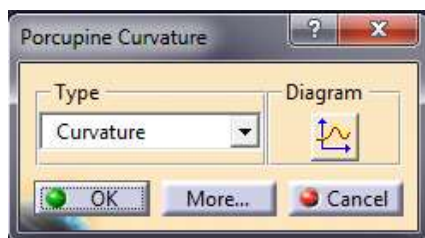


Rys. 7.9. Widok wykonanych zarysów w środowisku 3D

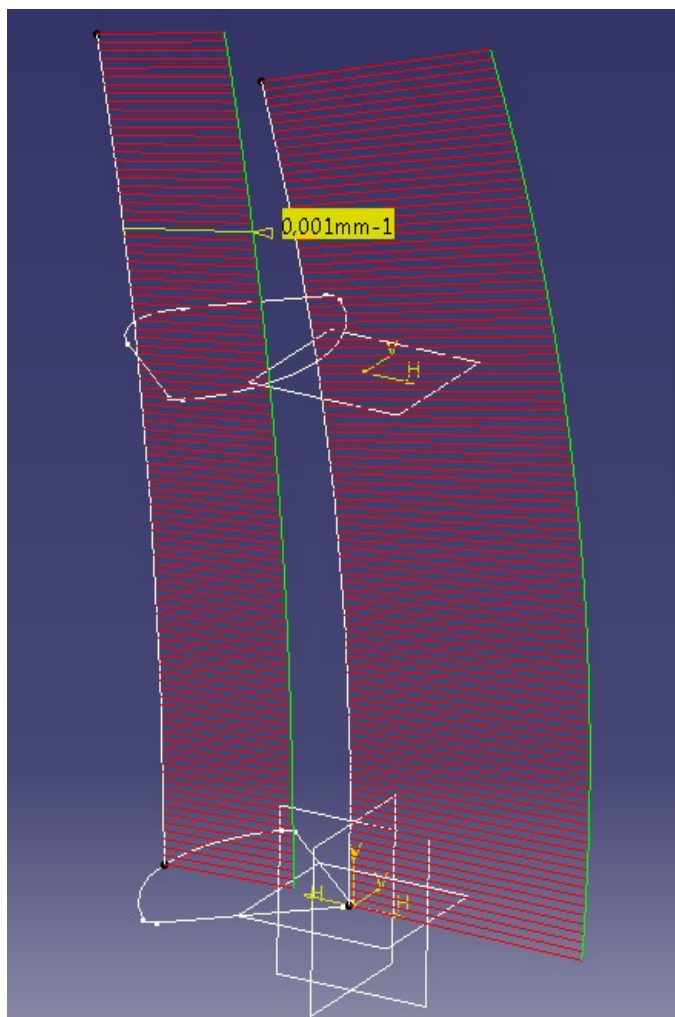
7.1.1.1. Analiza jakości krzywych

Na tym etapie modelowania należało zweryfikować poprawność wykonanych krzywych, tym samym zapewniając stały znak krzywizny prowadnic. W tym celu

wybrano narzędzie *Porcupine Curvature Analysis* . Po jego wskazaniu w oknie dialogowym zaznaczono opcję *type Curvature*, co zaprezentowano na rysunku 7.10. (patrz rys. na s. 81). Następnie należało wizualnie ocenić przebieg krzywizny na podstawie wygenerowanych wykresów – rysunek 7.11. (patrz rys. na s. 81).



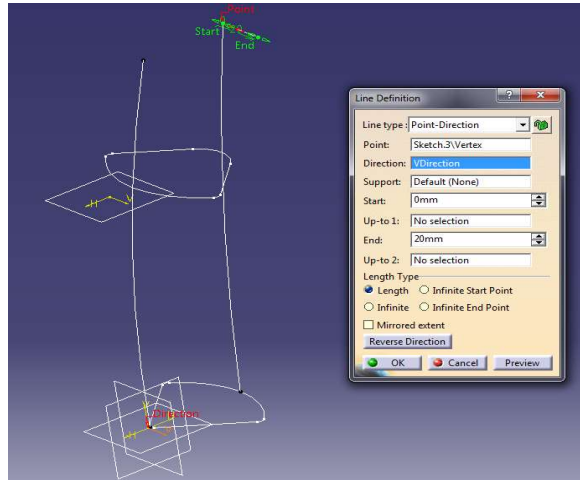
Rys. 7.10. Oknie dialogowe *Porcupine Curvature*



Rys. 7.11. Analiza przebiegu krzywizny prowadnic

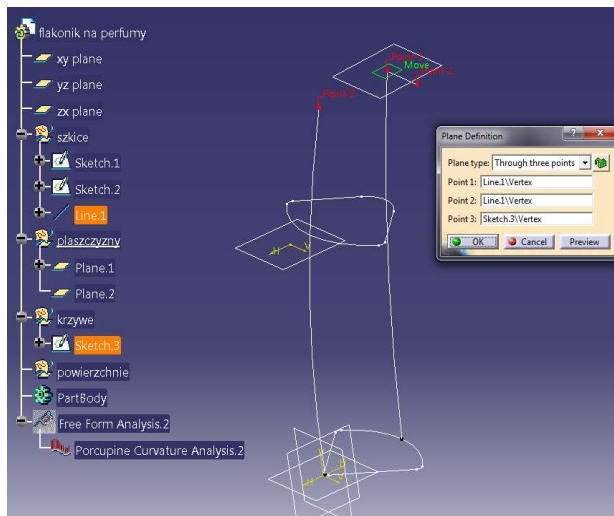
7.1.2. Geometria podstawowa modelu wieczka

Wykonano trzecią płaszczyznę leżącą na powierzchni górnej wieczka flakonu. Do tego niezbędne było narysowanie linii poprzez wybór funkcji *Line* oraz wprowadzenie określonych parametrów okna dialogowego (Rys. 7.12.).



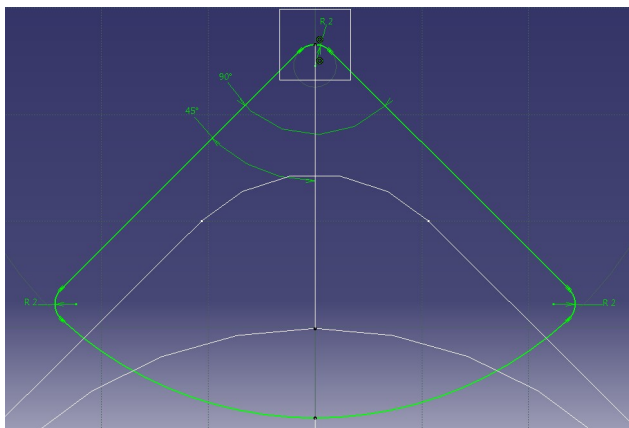
Rys. 7.12. Zdefiniowanie linii poziomej

Następnie wprowadzono płaszczyznę typu *Przez trzy punkty* poprzez wybranie narzędzia *Plane* i zdefiniowano parametry zgodnie z rysunkiem 7.13.



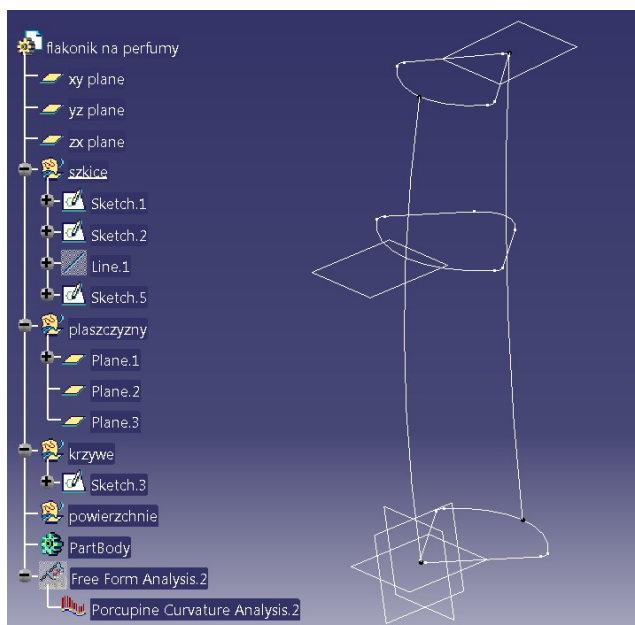
Rys. 7.13. Płaszczyzna przez 3 punkty

Ukryto narysowaną linię pomocniczą *Line.1*. W kolejnym kroku wykonano zarys na utworzonej płaszczyźnie. Podczas rysowania zwrócono uwagę na to, by szkic był styczny z wcześniej utworzonymi punktami prowadnic. Postać opracowanego profilu przedstawiono na rysunku 7.14.




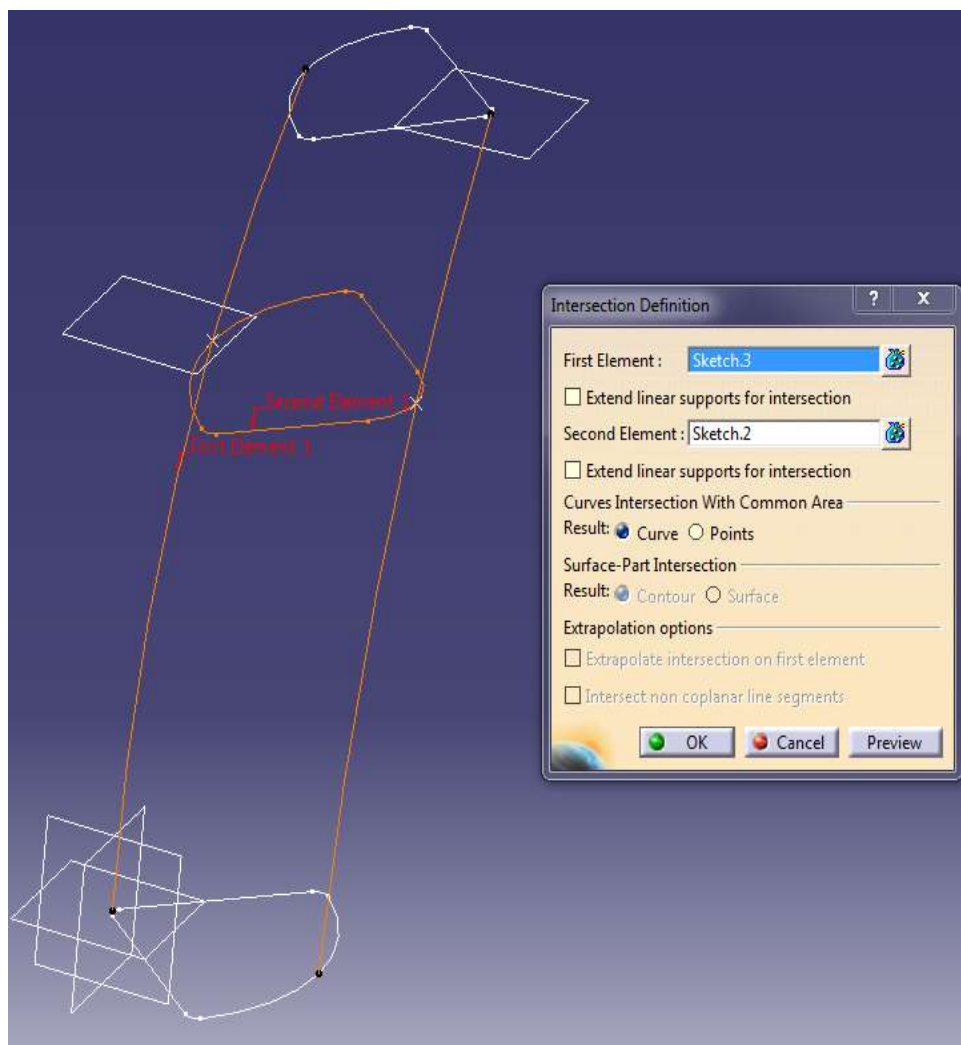
Rys. 7.14. Szkic trzeciego profilu

Po opuszczeniu szkicownika otrzymano postać wykonanych profili w środowisku 3D, którą zaprezentowano na rysunku 7.15.




Rys. 7.15. Wykonane szkice zaprezentowane w środowisku 3D

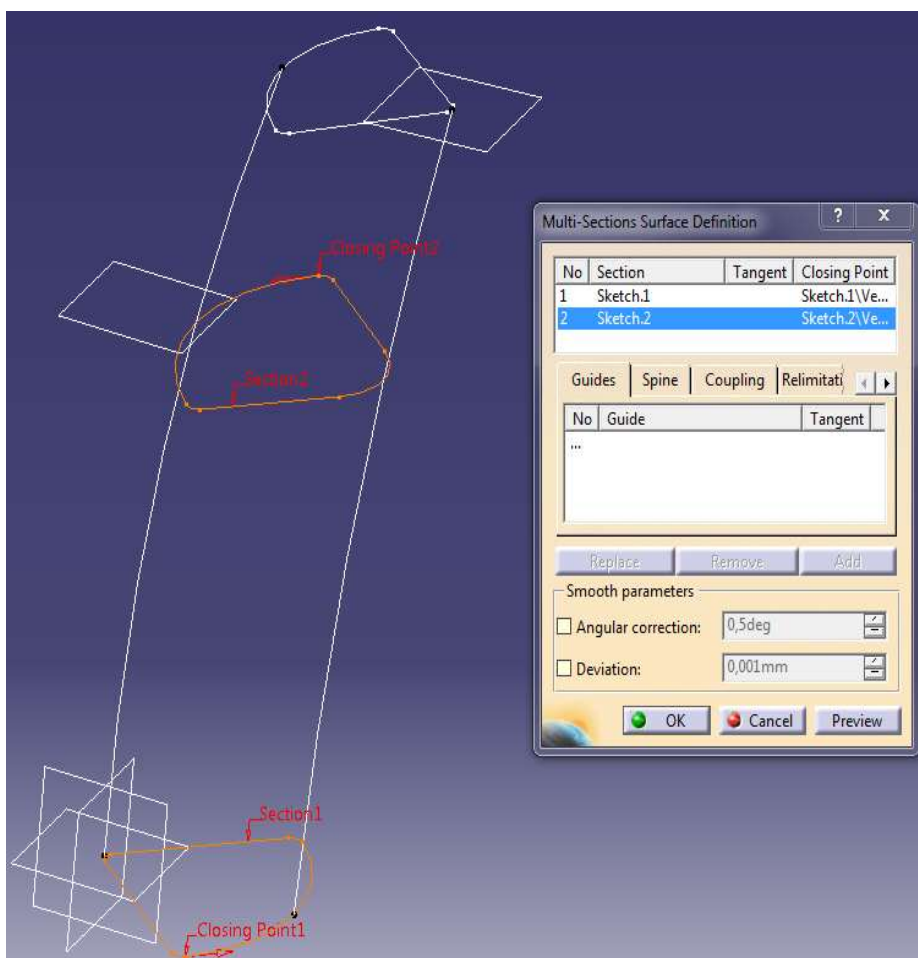
Następnie wyznaczono punkty wspólne środkowego profilu z liniami prowadzącymi. W tym celu wybrano narzędzie *Intersection* , następnie wskazano krzywe i profil w celu wyznaczenia punktów przecięcia tak, jak zaprezentowano na rysunku 7.16.




Rys. 7.16. Punkty przecięcia środkowego profilu z prowadnicami

7.1.3. Powierzchnia modelu butelki

Po wskazaniu sekcji *powierzchnie* jako obiektu pracy Define In Work Object wybrano narzędzie *Multi-Sections Surface* , następnie zaznaczono szkice zgodnie z rysunkiem 7.17.

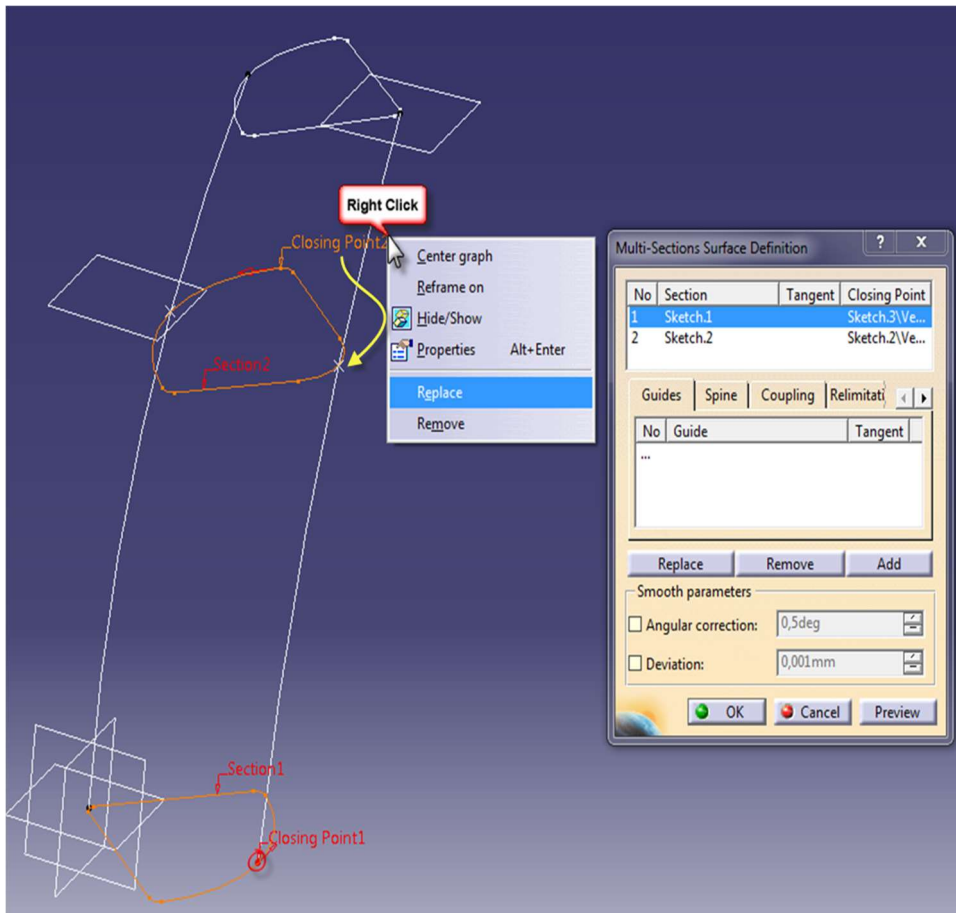


Rys. 7.17. Definiowanie powierzchni rozpiętej pomiędzy dwoma profilami

W ten sposób zdefiniowana powierzchnia była wyraźnie zniekształcona (skręcona). Celem naprawy geometrii powierzchni należało zedytować narzędzie *Multi-Sections Surface* .

Narzędzie *Multi-Sections Surface* rozpięło powierzchnię od sekcji do sekcji poprzez wygenerowanie linii przejścia. Pierwsza linia przejścia tworzona jest przez punkty oznaczone na sekcjach jako *Closing Point*. Natomiast kolejne linie przejścia generowane są automatycznie w kolejnych punktach zgodnie ze zwrotem wektora należącego do *Closing Point*. Z tego powodu należy zwrócić uwagę na odpowiednie uporządkowanie punktów typu *Closing Point* oraz zwrotów ich wektorów. Zmianę położenia punktu wykonano poprzez ręczne przeniesienie go we wskazane miejsce, natomiast zmianę zwrotu wektora poprzez jego kliknięcie.

W przedstawionym przypadku należało przenieść wyłącznie *Closing Point 2* bez zmiany zwrotu wektora. Prawym przyciskiem myszy kliknięto na czerwony napis *Closing Point 2*, następnie z wyświetlonego okna opcji wybrano *Replace* i wskazano miejsce przeniesienia (rys. 7.18.). Na rysunku 7.18. przedstawiono metodę zmiany położenia punktu *Closing Point*.

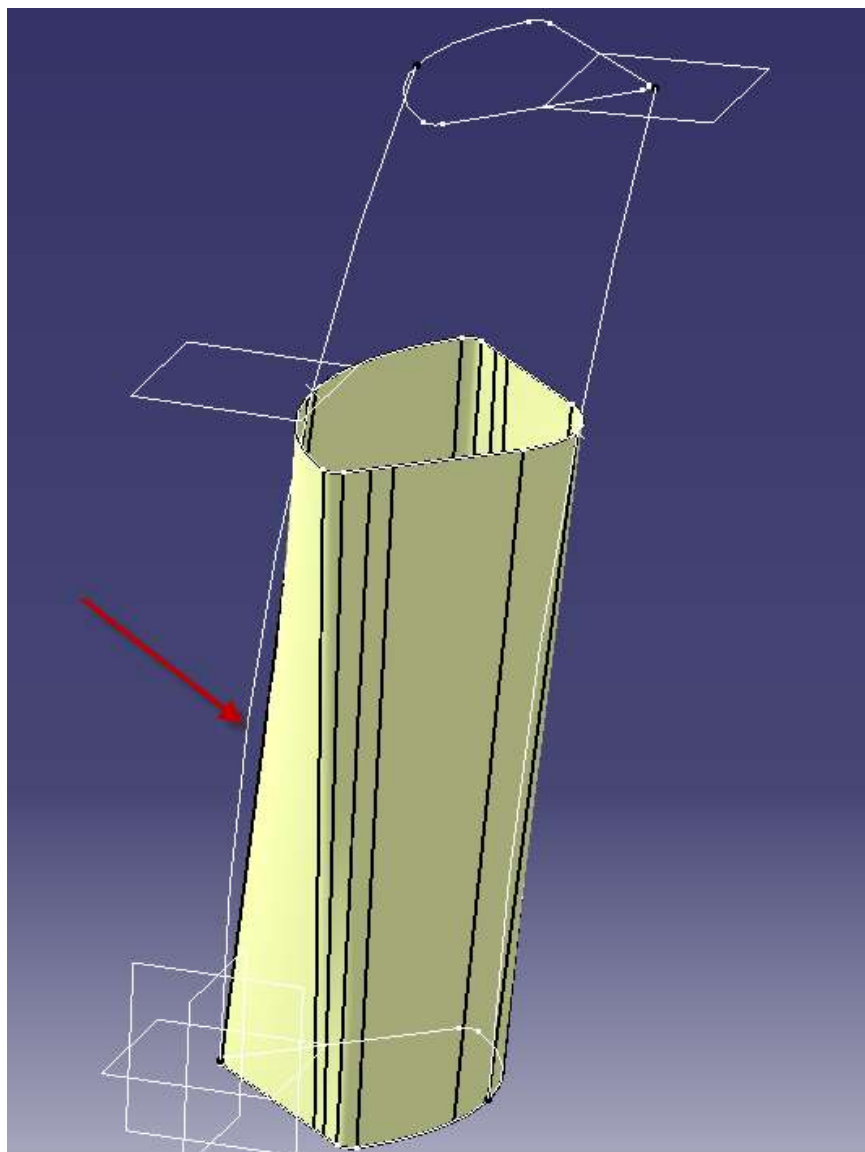


Rys. 7.18. Modyfikacja punktów zamykających powierzchnię

W większości przypadków zastosowania narzędzia *Multi-Sections Surface*



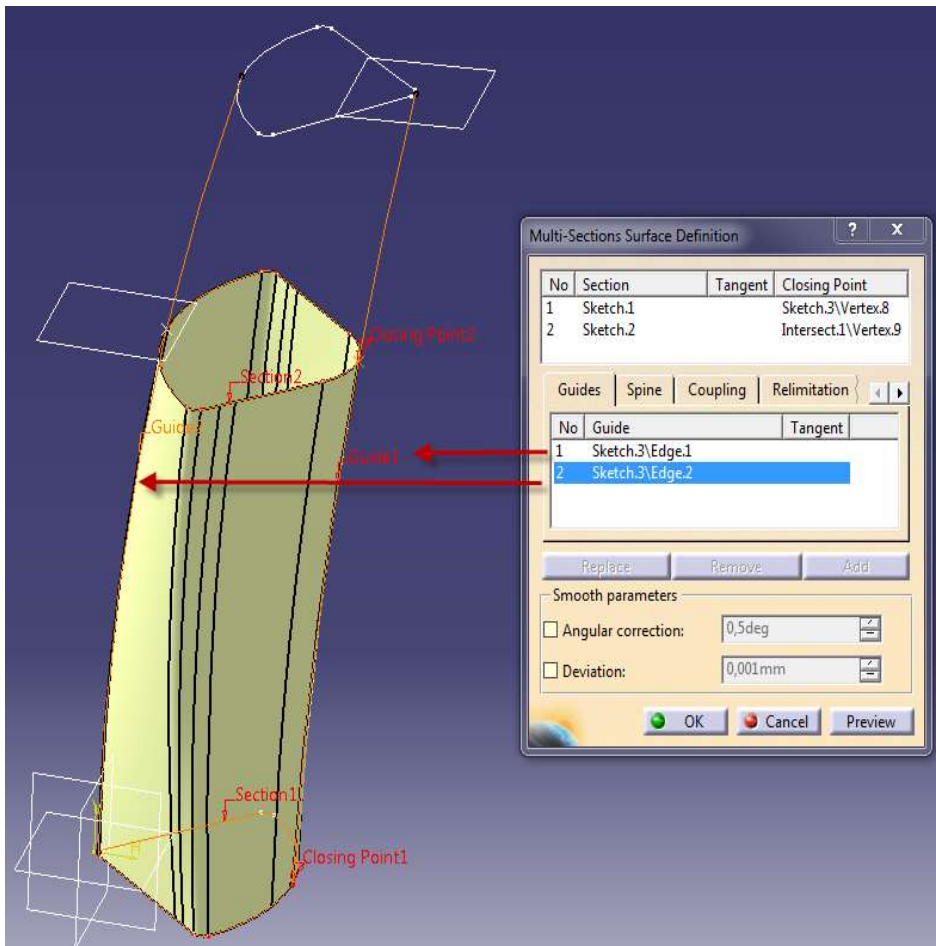
konieczne jest uporządkowanie punktów *Closing Point* i zwrotów ich wektorów w celu otrzymania pożądaney powierzchni. Z uwagi na to, że narzędzie w sposób losowy przypisało wspomniane punkty, należało je indywidualnie zmodyfikować w celu otrzymania powierzchni przedstawionej na rysunku 7.19.



Rys. 7.19. Powierzchnia rozpięta pomiędzy dwoma profilami

Otrzymana powierzchnia nie spełniała warunku styczności z liniami prowadzącymi, które zostały wcześniej wykonane. W celu naprawy powierzchni należało zmodyfikować operację *Multi-sections Surface.1*. Wybrano w oknie *Multi-sections Definition* zakładkę *Guide* i dodano linie prowadzące tak, jak przedstawiono na rysunku 7.20. Ze względu na fakt, że linie zostały wykonane w jednym szkicu, do wyodrębnienia poszczególnych prowadnic należało zastosować narzędzie

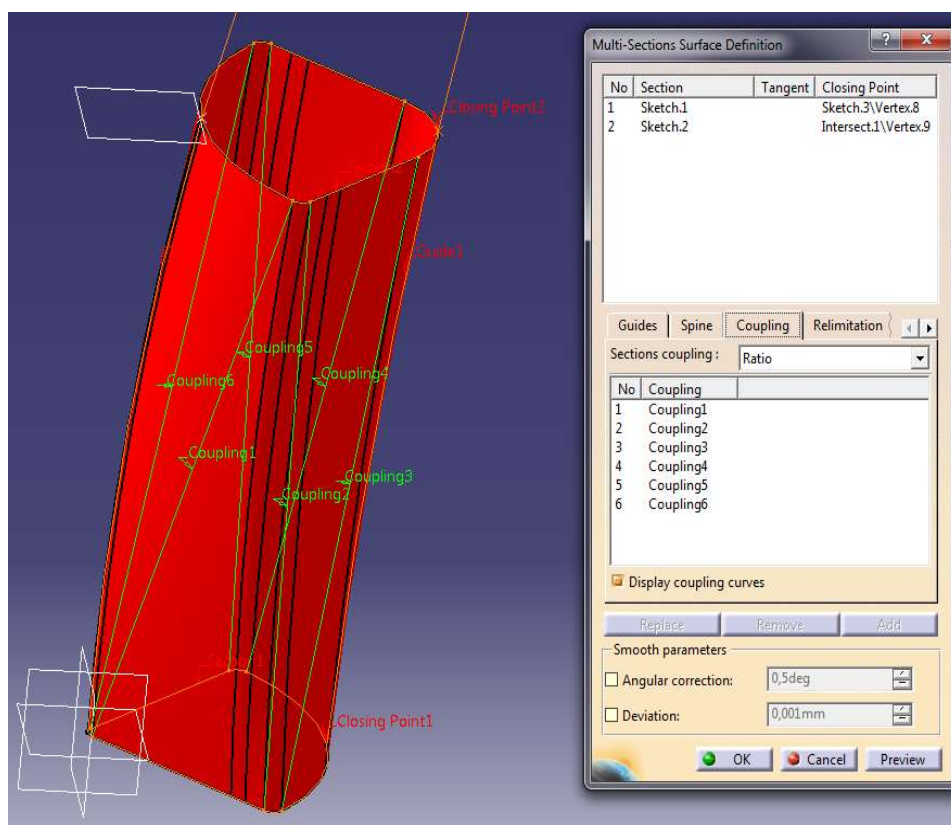
Geometrical Element Filter , które znajduje się w belce narzędziowej *User Selection Filter*.




Rysunek 7.20. Zdefiniowanie linii prowadzących powierzchnie

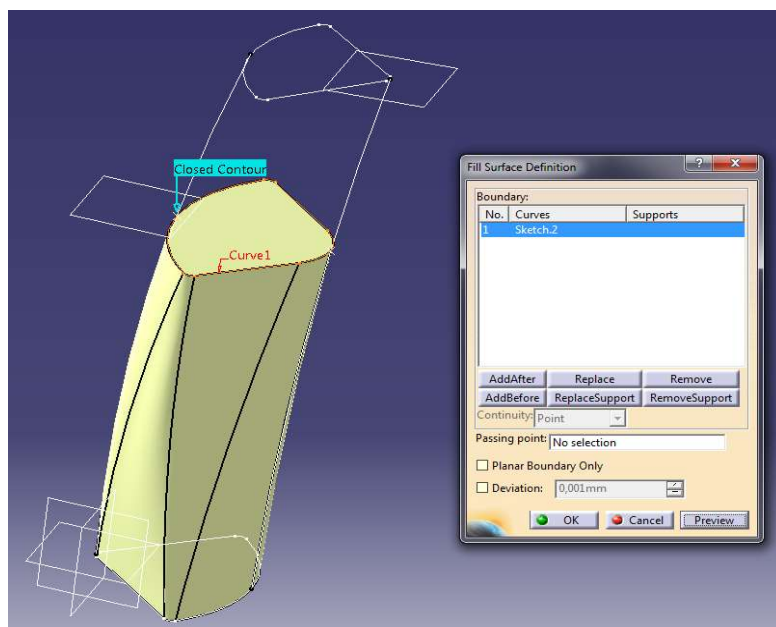
Styczność z liniami prowadzącymi nie gwarantowała oczekiwanego ostatecznego kształtu powierzchni. Ponownie edytowano operację *Multi-Sections*

Surface.1, wybierając zakładkę *Coupling*. Na tym etapie wykonano sześć linii łączących dwa profile, które nadały pożądany kształt powierzchni. W tym celu połączono kolejno pary punktów leżących na przeciwległych sekcjach. Punkty wskazywano rozpoczynając od sekcji pierwszej (*Section 1*) z wciśniętym klawiszem *Ctrl*. Efekt wykonania sześciu linii łączących zaprezentowano na rysunku 7.21. Dodatkowo zmieniono opcję *Sections Coupling* na *Ratio*. Należy pamiętać, że w oparciu o punkty typu *Closing Point* należące do poszczególnych sekcji, utworzona była pierwsza linia przejścia. W celu uzyskania pożądanego kształtu powierzchni (sześciu linii przejścia) należy przenieść punkty oznaczone jako *Closing Point* na wybraną linię typu *Coupling*.



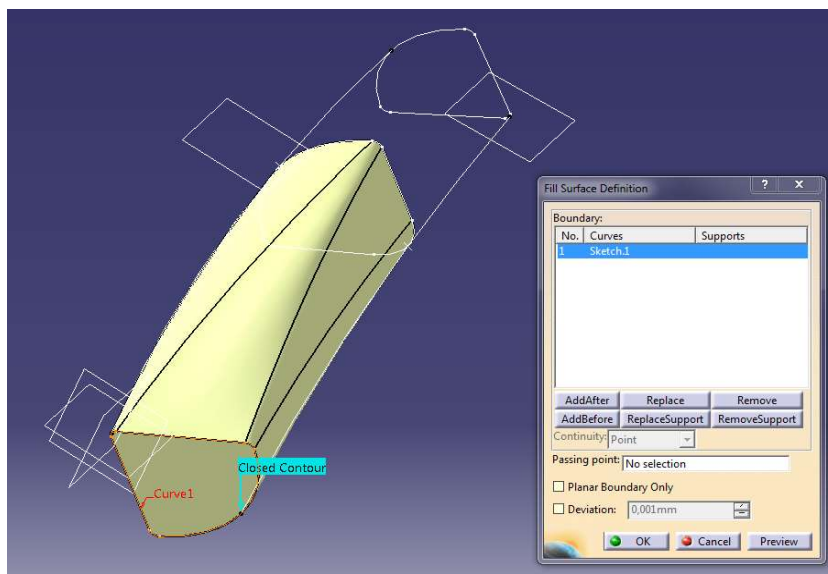
Rys. 7.21. Definicja linii łączących profile nadających kształt powierzchni

Po wyborze funkcji *Fill Surface Definition*  wskazano górny szkic wykonanej powierzchni. Otrzymany efekt tej operacji przedstawiono na rysunku 7.22. (patrz rys. na s. 90).




Rys. 7.22. Powierzchnia typu *Fill*

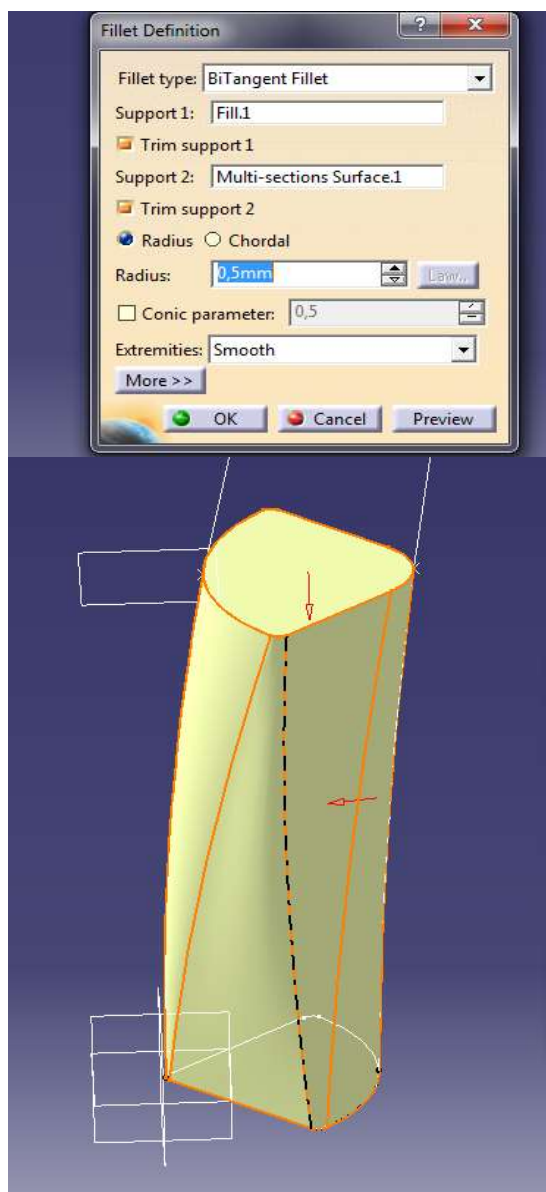
Powtórzono operację w przypadku dolnego szkicu modelu powierzchniowego butelki. Na rysunku 7.23. zaprezentowano wynik wykonanego zadania.



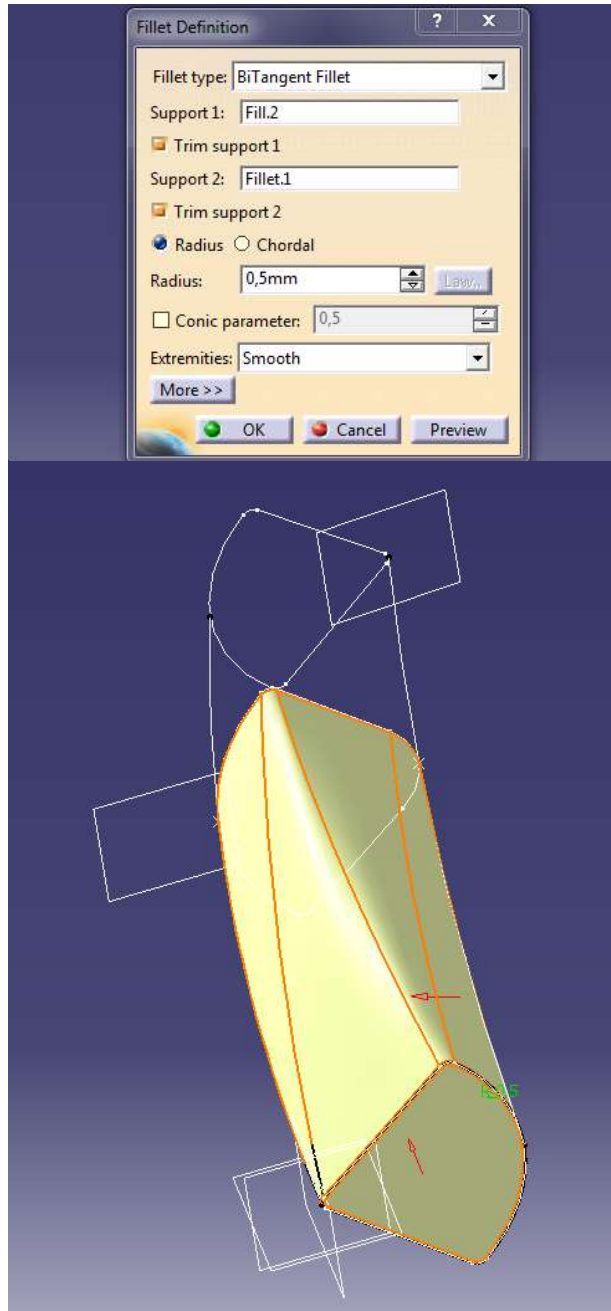
Rys. 7.23. Załatanie dolnego profilu

Następne zadanie w procesie modelowania dotyczyło zaokrąglenia krawędzi górnego oraz dolnego profilu butelki. W tym celu wykorzystano narzędzie

Shape Fillet  oraz zdefiniowano parametry okna dialogowego, jak również zwroty wektorów, zgodnie z rysunkami 7.24. i 7.25. (patrz rys. na s. 92).




Rys. 7.24. Wykonanie zaokrąglenia górnej krawędzi narzędziem *Fillet*

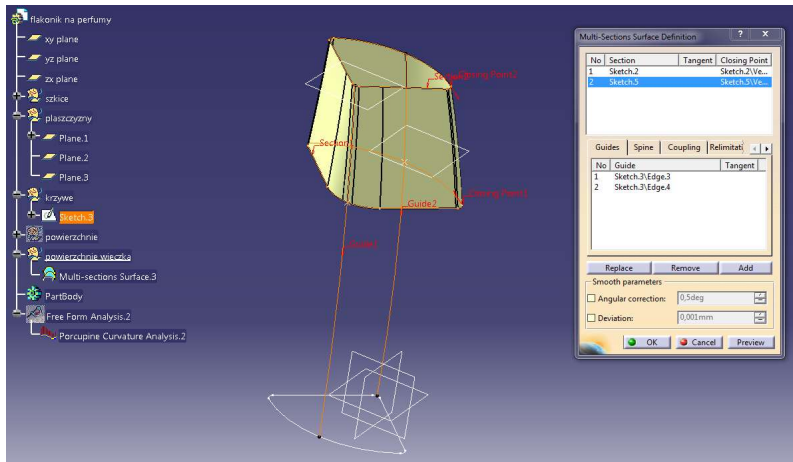


Rys. 7.25. Wykonanie zaokrąglenia dolnej krawędzi powierzchni

7.1.4. Powierzchnia modelu wieczka

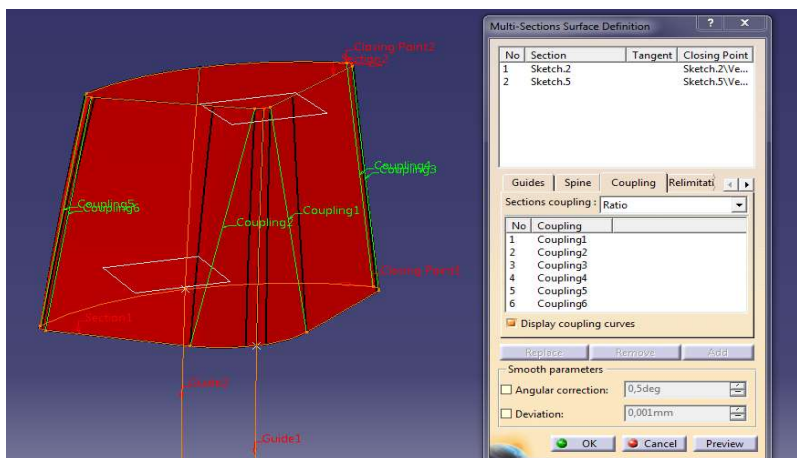
Ukryto sekcję *powierzchnie*, następnie dodano w drzewie modelu nową sekcję o nazwie: *powierzchnie wieczka*  *Powierzchnie wieczka*.

Wybrano polecenie *Multi-Sections Surface*  i przy jego wykorzystaniu wykonano powierzchnię wieczka przedstawioną na rysunku 7.26. (powierzchnia definiowana jest analogicznie jak w przypadku powierzchni butelki).



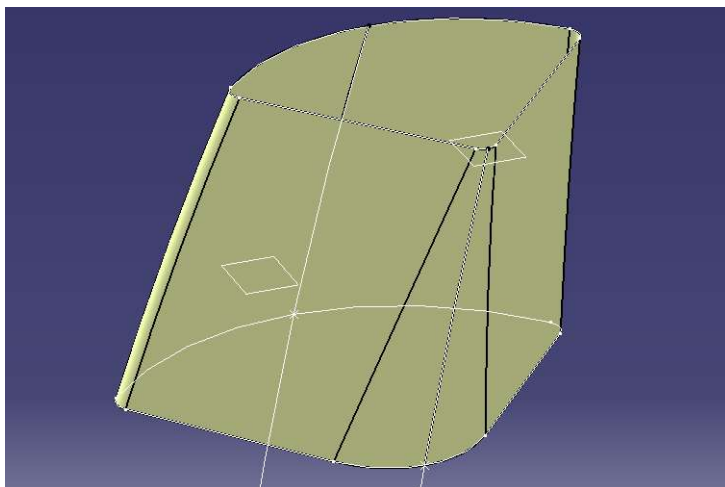
Rys. 7.26. Zdefiniowanie powierzchni wieczka

W kolejnym kroku wybrano sześć linii przejścia w zakładce *Coupling* okna *Multi-Sections Surface Definition*, co zaprezentowano na rysunku 7.27.




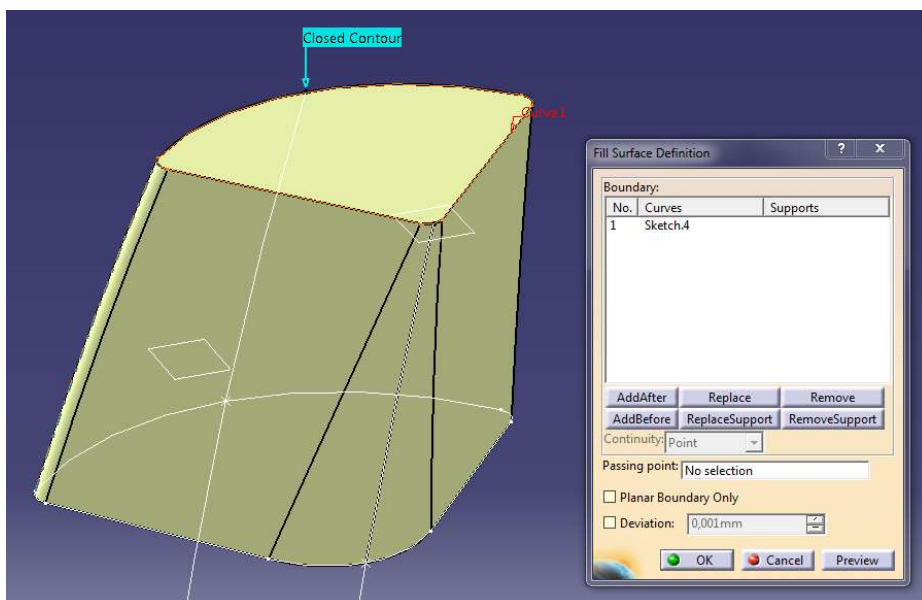
Rys. 7.27. Zdefiniowanie linii przejścia pomiędzy profilami wieczka

Po zatwierdzeniu narzędzia *Multi-Sections Surface* otrzymano powierzchnię zaprezentowaną na rysunku 7.28.




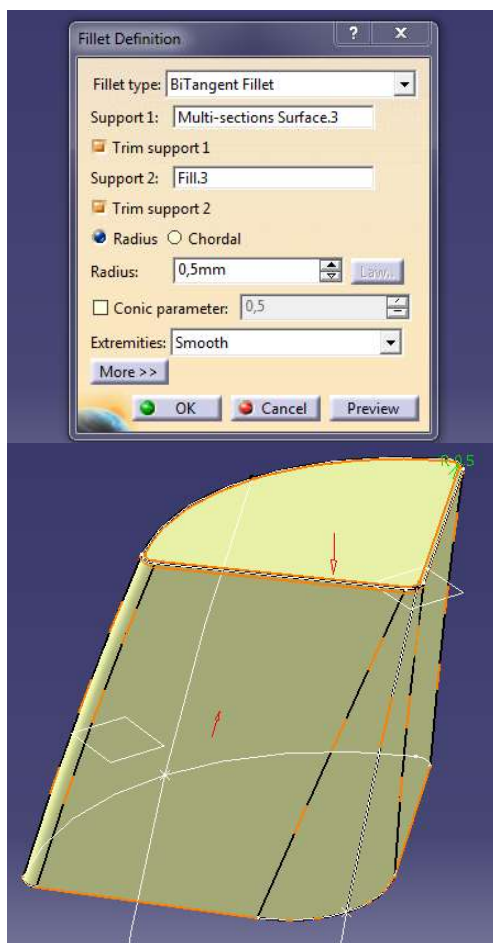
Rys. 7.28. Wykonana powierzchnia wieczka

Następnie wykonano powierzchnię zamykającą górny profil wieczka. Do tego wybrano narzędzie *Fill*  i wskazano górny profil – rysunek 7.29.



Rys. 7.29. Wypełnienie górnego profilu wieczka

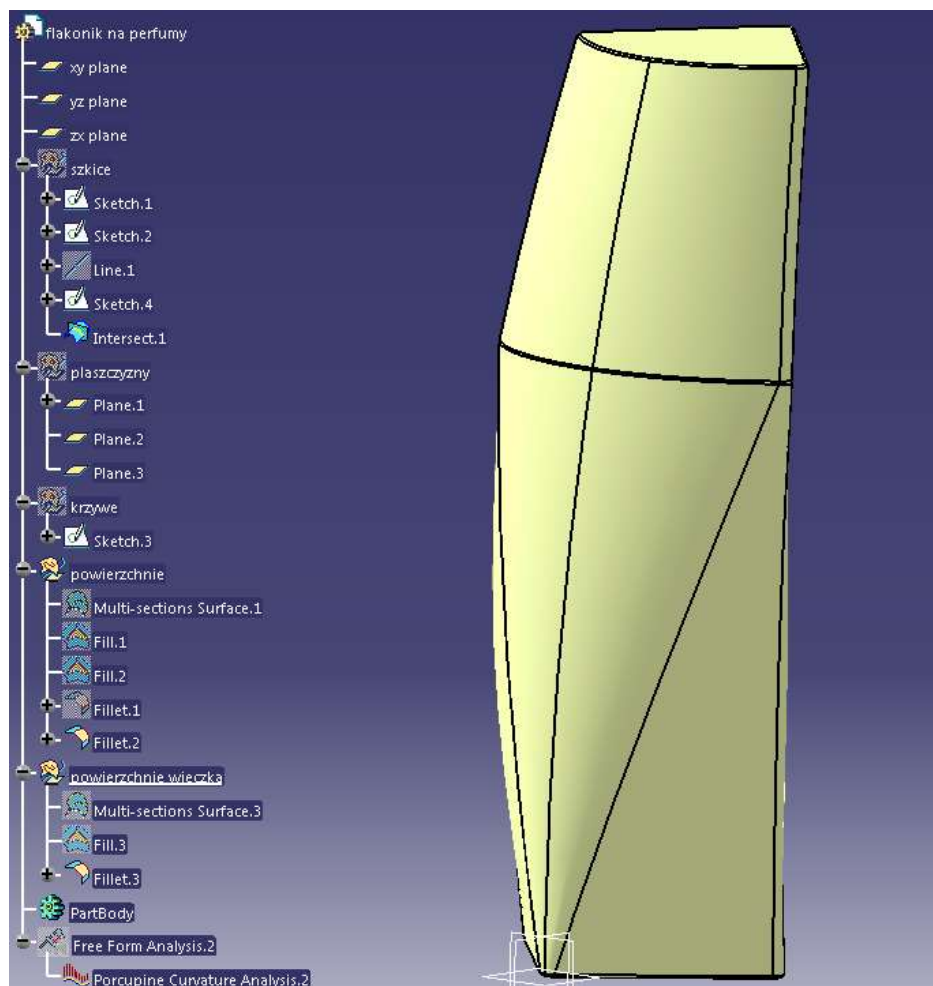
W oparciu o otrzymane powierzchnie wykonano zaokrąglenie górnej krawędzi. W tym celu użyto narzędzia *Fillet* , wskazano powierzchnie, ustalono promień zaokrąglenia równy 5 mm oraz określono zwroty wektorów do środka powierzchni tak, jak to zaprezentowano na rysunku 7.30.



Rys. 7.30. Zdefiniowanie zaokrąglenia górnej krawędzi powierzchni wieczka

Po zatwierdzeniu operacji *Fillet* otrzymano monolityczną powierzchnię wieczka (narzędzie *Fill* scala zaokrąglone powierzchnie).



Ukryto geometrię roboczą wieczka (szkice, punkty i płaszczyzny). Następnie wyświetlono ukrytą powierzchnię butelki. Powierzchnię flakonu z wyszczególnionym drzewem zaprezentowano na rysunku 7.31. (patrz rys. na s. 96).

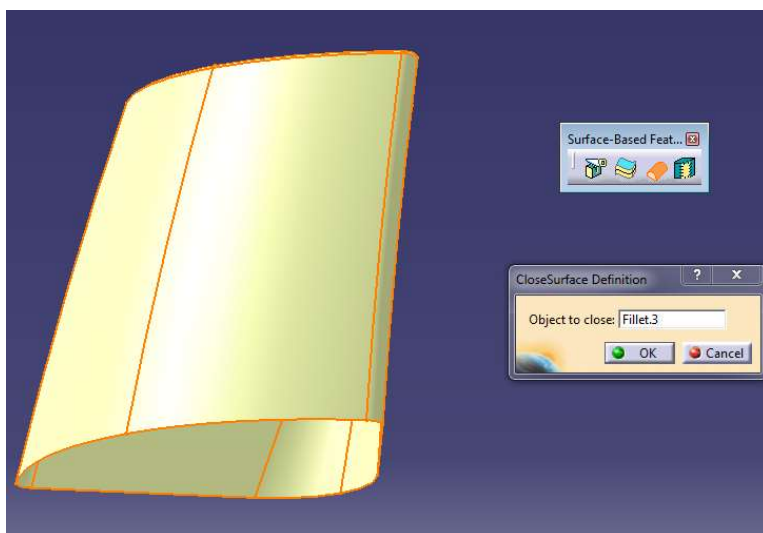


Rys. 7.31. Model powierzchniowy flakonu ozdobnego

W trakcie opisu procesu modelowania powierzchniowego flakonu ozdobnego przedstawiono metodę wykonywania złożonych geometrycznych powierzchni wygenerowanych na podstawie sekcji 2D. Omówiono sposób generowania linii przejścia między sekcjami i zastosowanie prowadnic w celu otrzymania pożądanego kształtu powierzchni. Następnie przedstawiono sposób zamknięcia i zaokrąglenia ostrych krawędzi powierzchni. Ostatecznie otrzymano modele powierzchniowe butelki oraz wieczka flakonu ozdobnego.

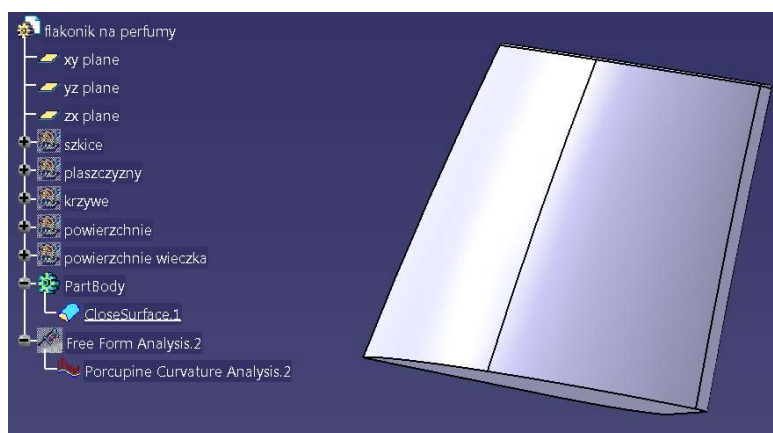
7.2. Model hybrydowy flakonu ozdobnego

Kolejny etap modelowania flakonu dotyczy zmiany modułu pracy na *Part Design* . Wybrano i ukryto sekcję *powierzchnie*, a następnie z wykorzystaniem narzędzia *Close Surface*  zaznaczono powierzchnię wieczka – rysunek 7.32.



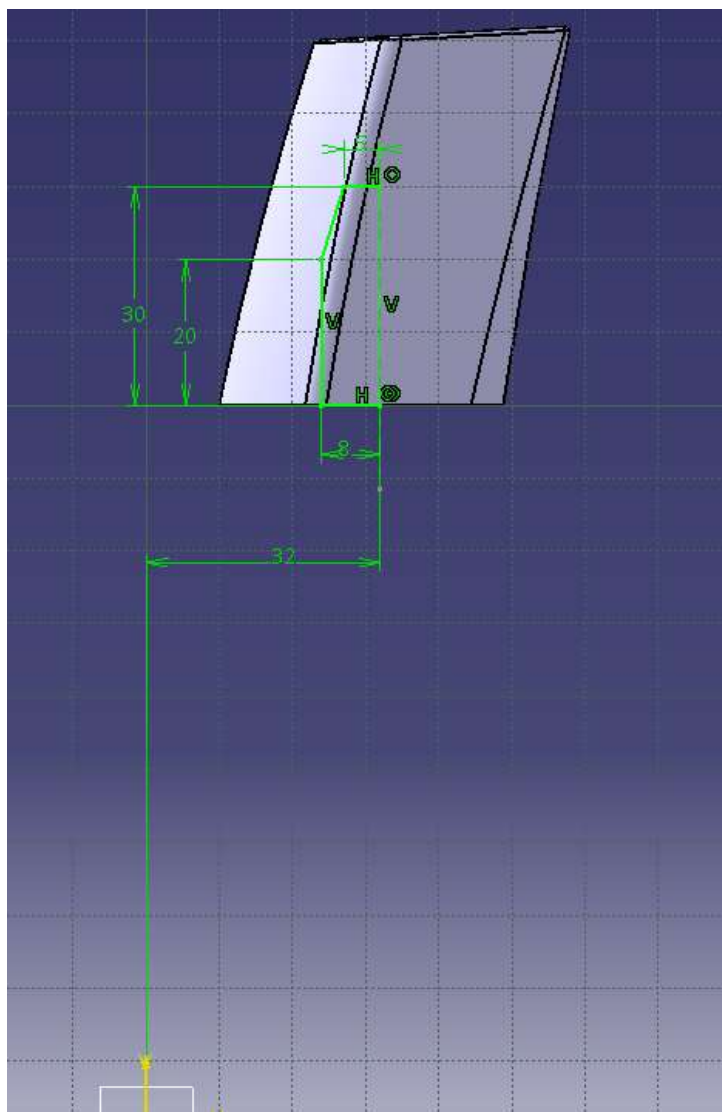
Rys. 7.32. Generowanie modelu bryłowego na podstawie powierzchni wieczka

Zatwierdzono polecenie *Close Surface* i ukryto w drzewie modelu zakładkę *powierzchnia wieczka* – rysunek 7.33.




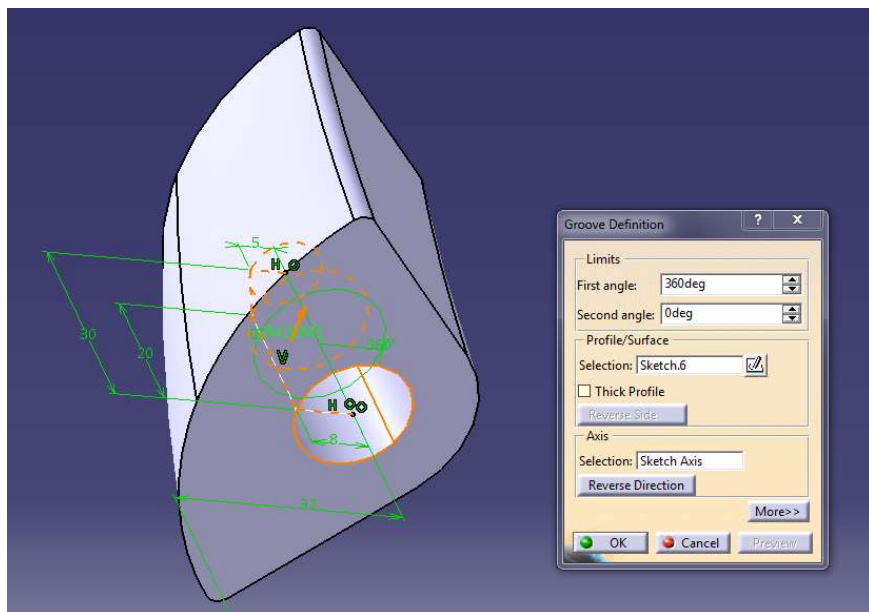
Rys. 7.33. Model bryłowy wieczka

Następnie wskazano płaszczyznę zx i na niej wykonano szkic przedstawiony na rysunku 7.34.




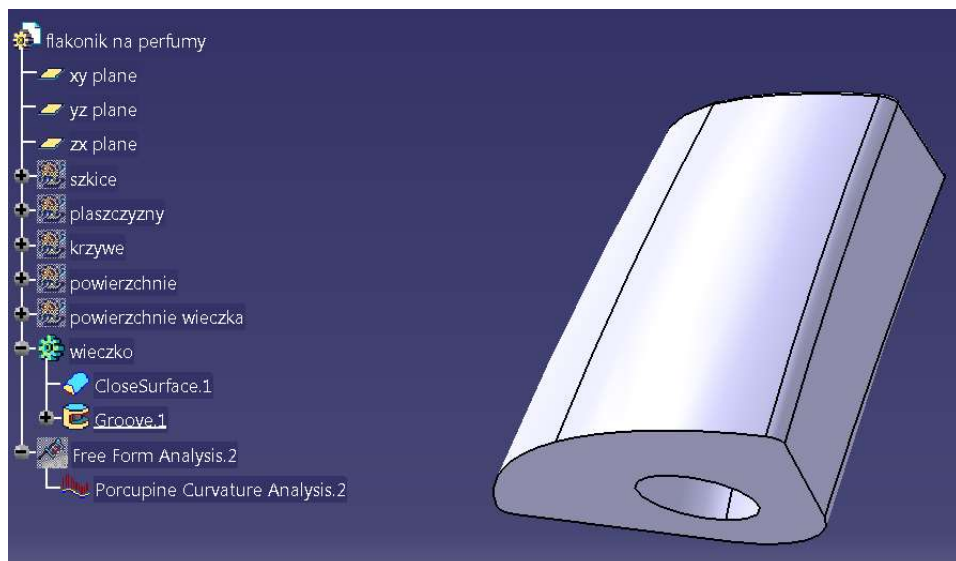
Rys. 7.34. Szkic geometrii otworu

Przy użyciu narzędzia *Groove*  zamodelowano wycięcie obrotowe za pomocą opracowanego wcześniej szkicu. Okno dialogowe *Groove Definition* zdefiniowano zgodnie z rysunkiem 7.35. (patrz rys. na s. 99).





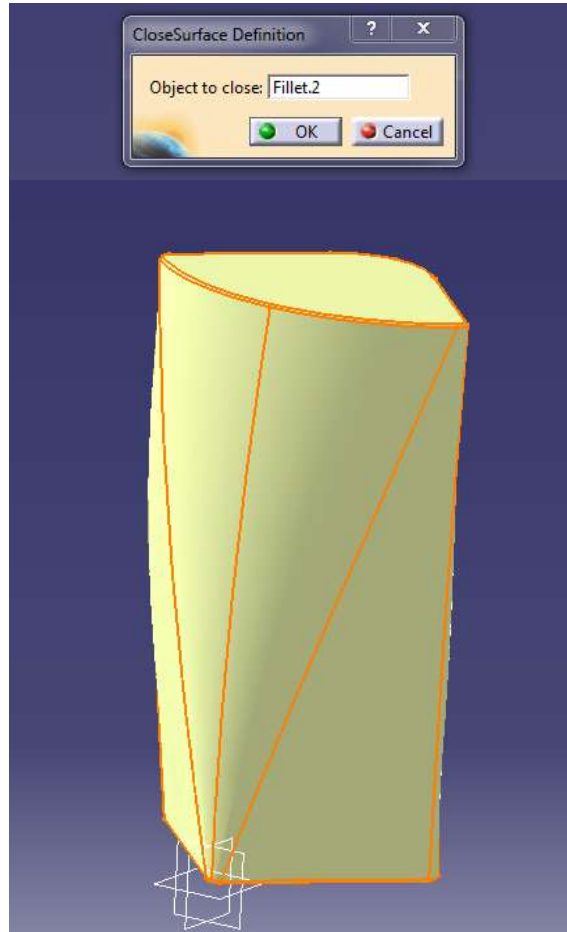
Rys. 7.35. Zdefiniowanie otworu w wieczku na podstawie obrotu szkica

W celu uporządkowania struktury drzewa nazwę *Part Body*  zmieniono na *wieczko* – rysunek 7.36.



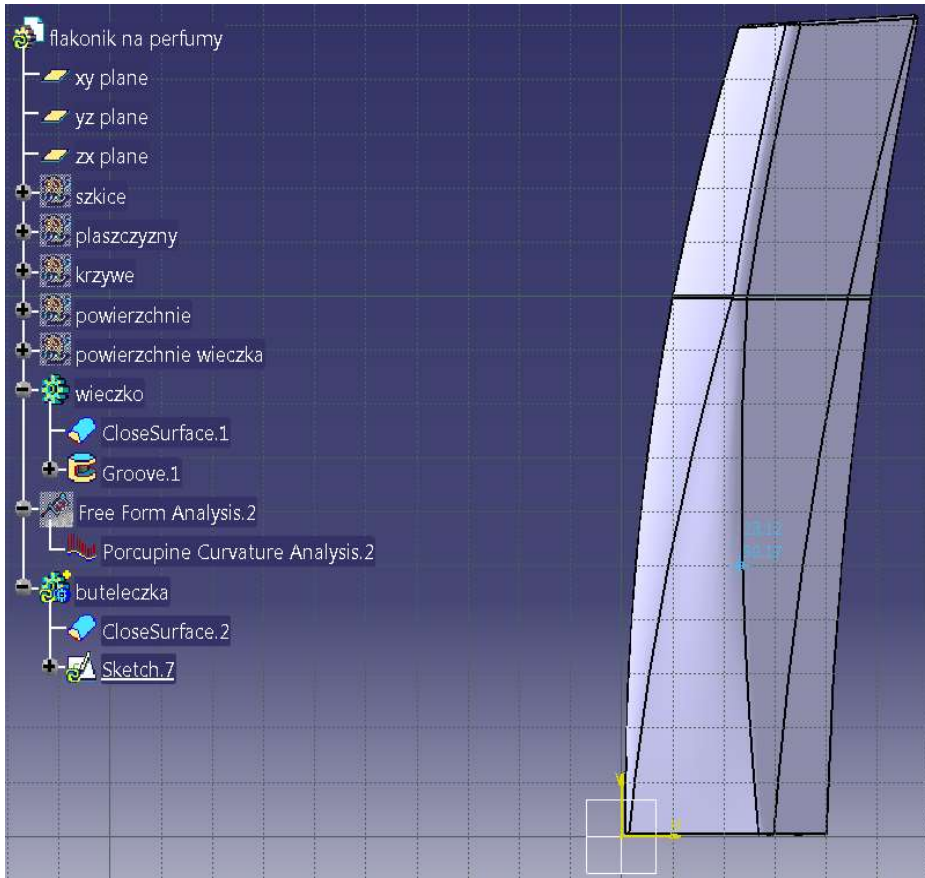
Rys. 7.36. Kompletny model bryłowy wieczka

Ukryto w strukturze drzewa zakładkę *wieczko*, następnie dodano do drzewa modelu nową zakładkę *Body*  (*Insert/Body*) oraz wyświetlono z drzewa sekcję *powierzchnie* (powierzchnie butelki). Wybrano narzędzie *Close Surface*  i zaznaczono powierzchnię butelki, w celu wykonania na jej podstawie bryły – rysunek 7.37. Po zatwierdzeniu polecenia ukryto z drzewa modelu zakładkę *powierzchnie*.





Rys. 7.37. Wygenerowanie modelu bryłowego z powierzchni butelki

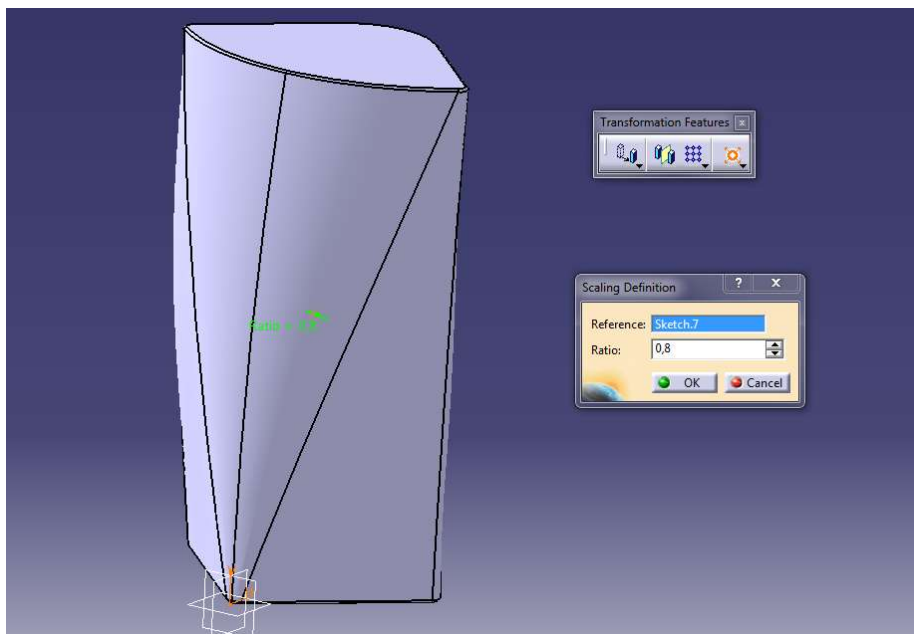
Wyświetlono z drzewa modelu zakładkę *wieczko*. Następnie wprowadzono punkt leżący w środku ciężkości bryły. W tym celu wybrano płaszczyznę *zx* w środowisku szkicownika i zaznaczono punkt o współrzędnych przedstawionych na rysunku 7.38. (patrz rys. na s. 101).




Rys. 7.38. Definicja punktu środka bryły buteleczki

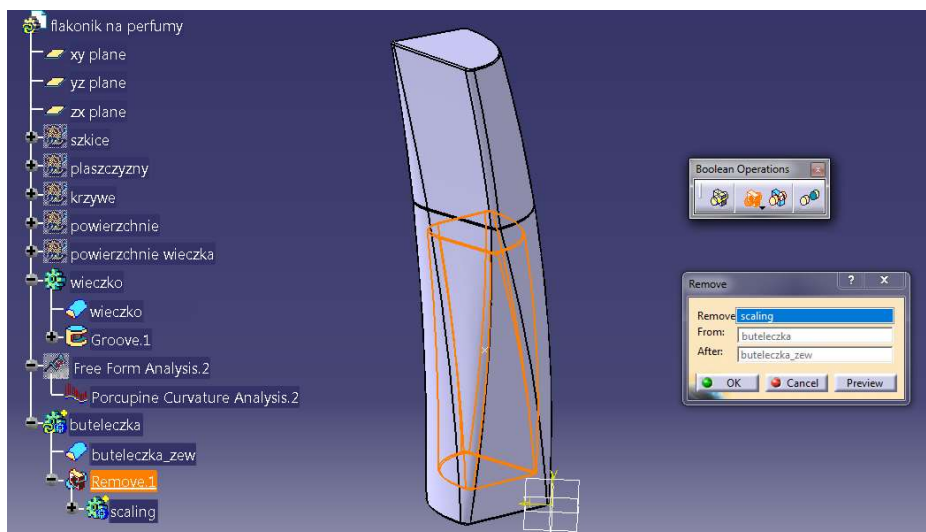
Wprowadzony punkt służy do przeskalowania bryły na podstawie geometrii butelki. W celu wykonania tej operacji zmodyfikowano strukturę drzewa modelu w następujący sposób: skopiowano *Close Surface.2* z sekcji *buteleczka* do nowo utworzonej sekcji  *scaling* (*Insert/Body*) przy użyciu funkcji *Paste Special* i zmieniono nazwę skopiowanej sekcji na *buteleczka_wew*. Następnie zmieniono nazwę *Close Surface.2* na *buteleczka_zew* w sekcji *buteleczka*. Na końcu ukryto sekcję *wieczko* w strukturze drzewa.

Wybrano sekcję *scaling* w **Define In Work Object**. Później wykorzystano narzędzie *Scaling* , zaznaczono wcześniej utworzony punkt i określono wartość 0,8, pomniejszając bryłę o 20%, co zaprezentowano na rysunku 7.39. (patrz rys. na s. 102).




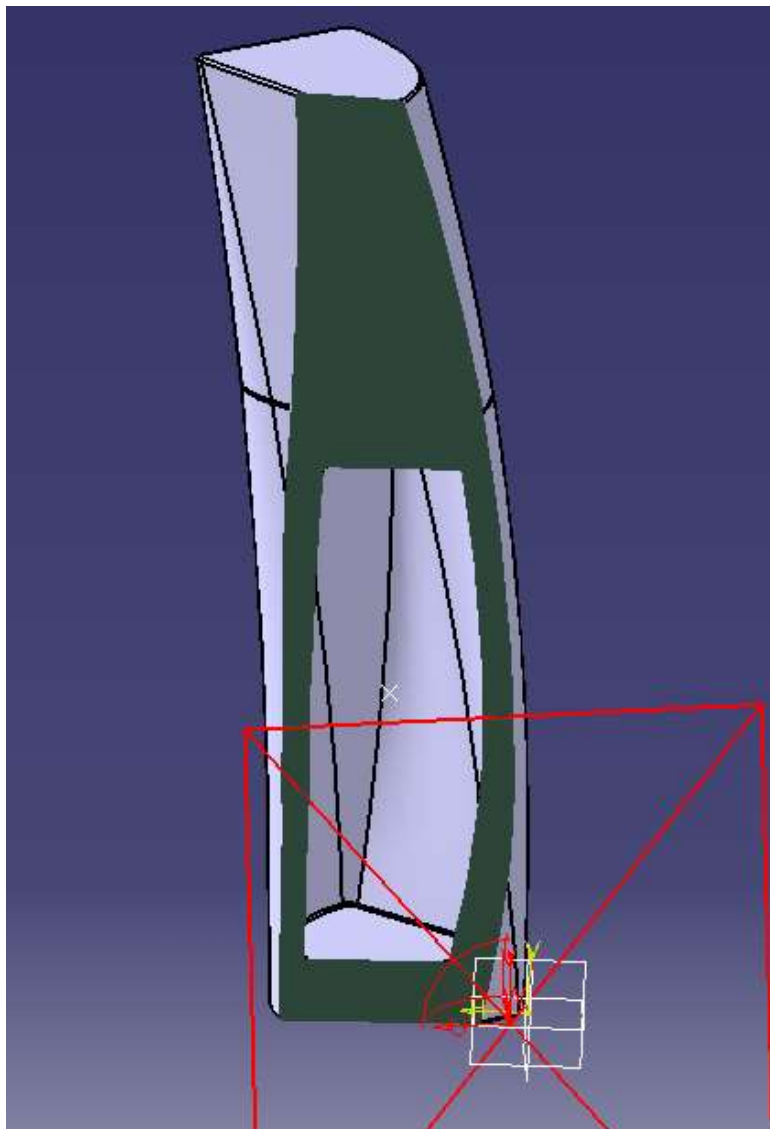
Rys. 7.39. Wykonanie nowej bryły w skali 0,8

Następnie wykonano odejmowanie brył za pomocą narzędzia *Remove* . Wybrano polecenie *Remove (Insert/Boolean Operations/Remove)* i określono parametry okna dialogowego zgodnie z rysunkiem 7.40.



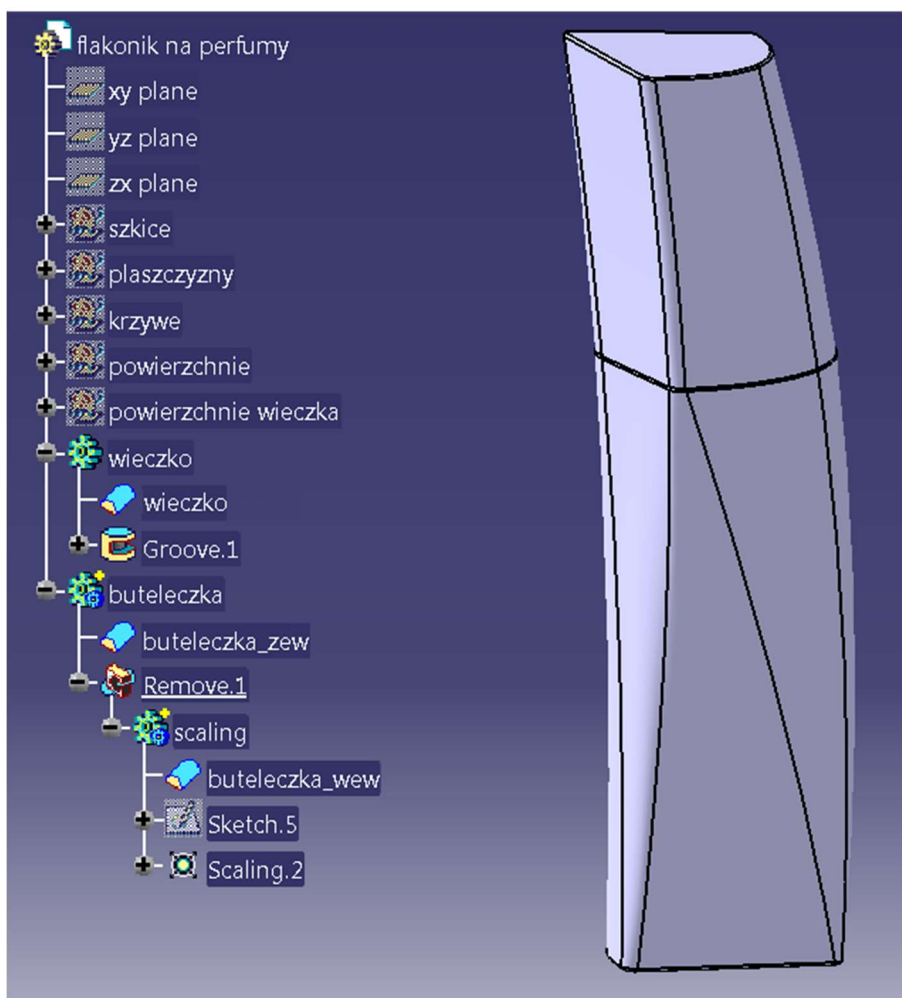
Rys. 7.40. Zdefiniowanie modelu cienkościennej buteleczki poprzez odjęcie brył

Po zatwierdzeniu operacji *Remove* otrzymano cienkościenną bryłę butelki przedstawioną na rysunku 7.41. Zweryfikowano poprawność odejmowania brył poprzez wykonanie przekroju przy użyciu narzędzia *Dynamic Sectioning* .





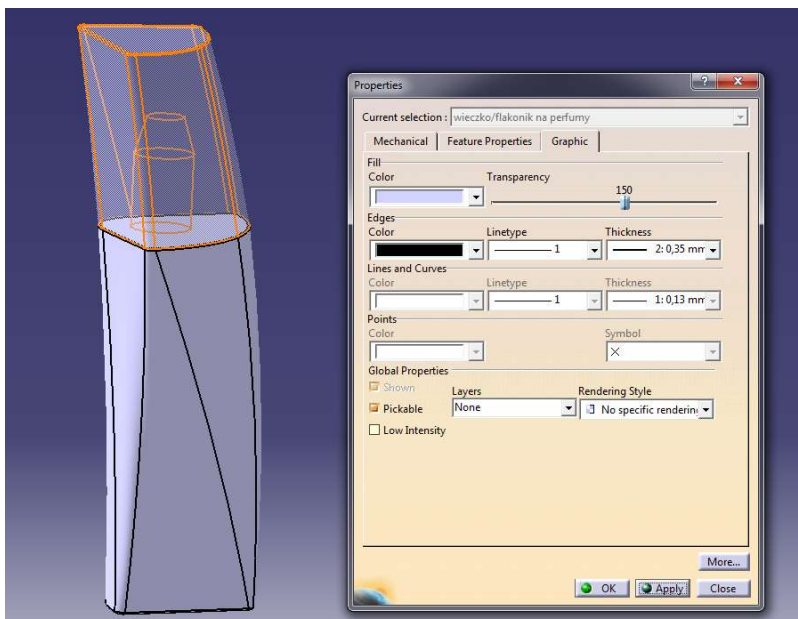
Rys. 7.41. Prezentacja modelu cienkościennego buteleczki

Na rysunku 7.40. (patrz rys. na s. 102) przedstawiono model flakonu składający się z bryły butelki oraz wieczka z widoczną strukturą drzewa operacji.



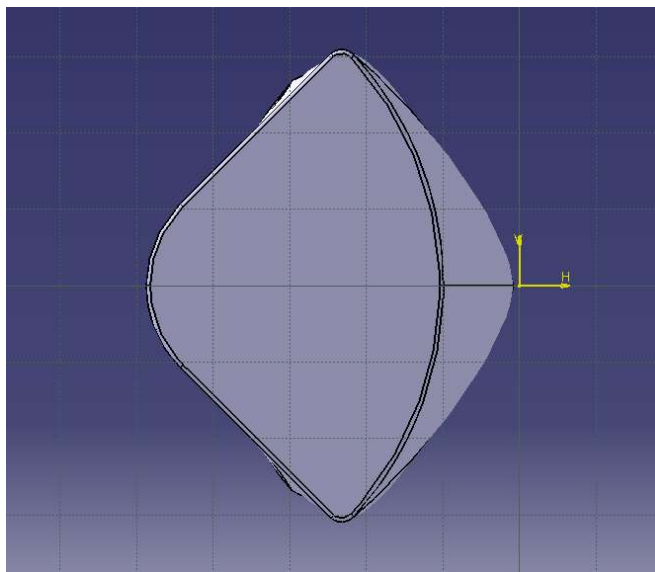
Rys. 7.42. Model flakonu z drzewem historii

Kolejne zadanie w procesie modelowania bryłowego dotyczy ustalenia transparentności bryły *wieczko*  *wieczko*, co ułatwi dalsze działania związane z modyfikacją modelu. Prawym przyciskiem myszy wskazano w strukturze drzewa modelu sekcję *wieczko*, następnie *Properties*  *Properties* **Alt+Enter**. W oknie dialogowym narzędzia wybrano zakładkę *Graphic* i ustawiono pasek *Transparency* na 150 zgodnie z rysunkiem 7.43. (patrz rys. na s. 105).






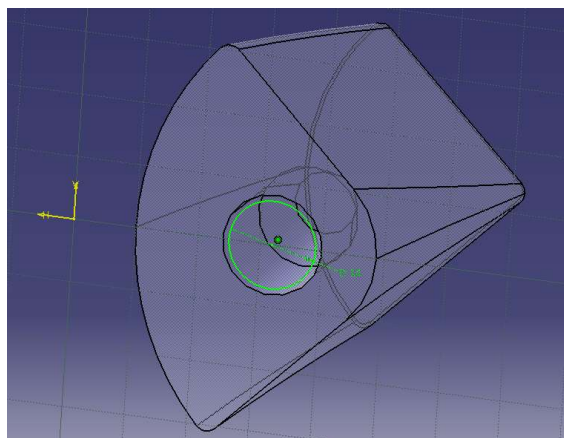
Rys. 7.43. Zdefiniowanie transparentności wieczka

Ukryto sekcję *wieczko*  *wieczko*. Następnie wybrano szkieletownik i wskazano płaszczyznę zaprezentowaną na rysunku 7.44.



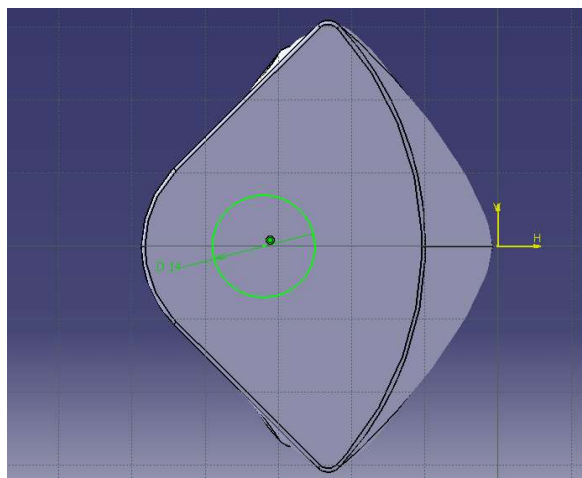
Rys. 7.44. Płaszczyzna pod szkic

Operując widokami *buteleczki* i *wieczka*  **Hide/Show** wykonano szkic wylewki butelki. W tym celu niezbędne było zlokalizowanie środka otworu w wieczku. Będąc w środowisku szkicownika (Rys. 7.43. patrz s. 105) ukryto bryłę  *buteleczka* i pokazano  *wieczko*. Następnie narysowano okrąg o średnicy 14 mm i zdefiniowano jego środek w osi otworu wieczka (relacja *Coincidence*) tak, jak to zaprezentowano na rysunku 7.45.




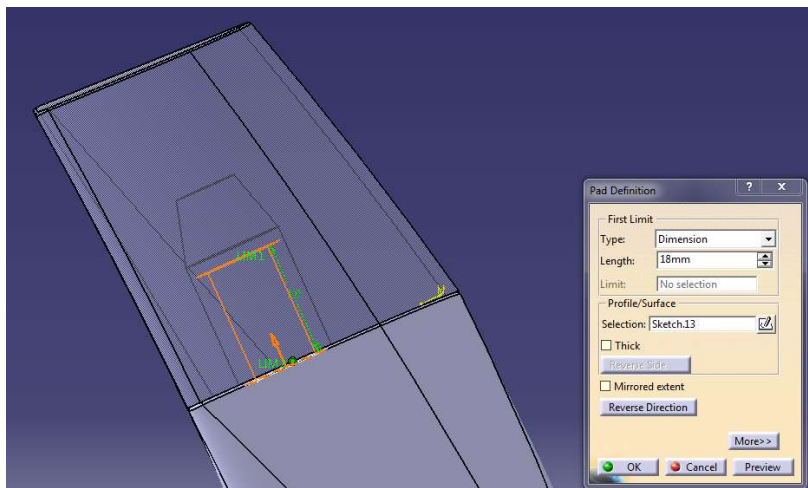
Rys. 7.45. Zarys wylewki butelczki widok z perspektywy wieczka

W celu otrzymania widoku przedstawionego na rysunku 7.46. należało ukryć *wieczko* i wyświetlić *buteleczkę*.




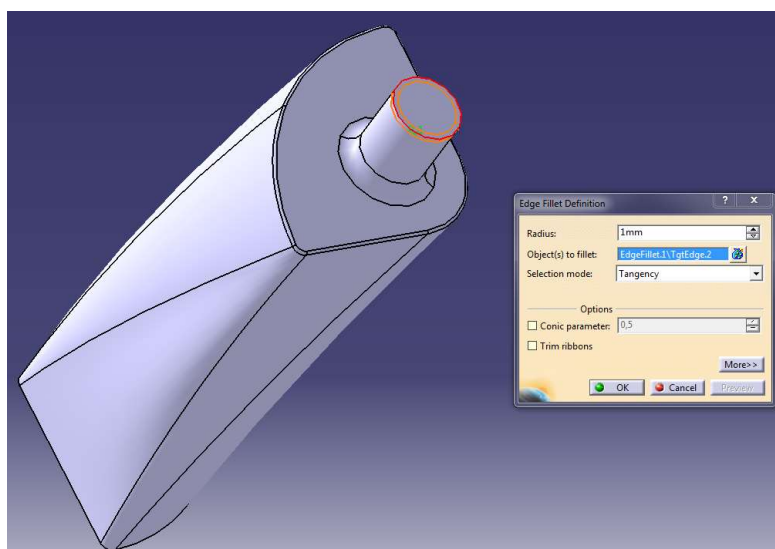
Rys. 7.46. Zarys wylewki butelczki

Następnie przy wykorzystaniu narzędzia *Pad*  wykonano wyciągnięcie zarysu wylewki zgodnie z rysunkiem 7.47.



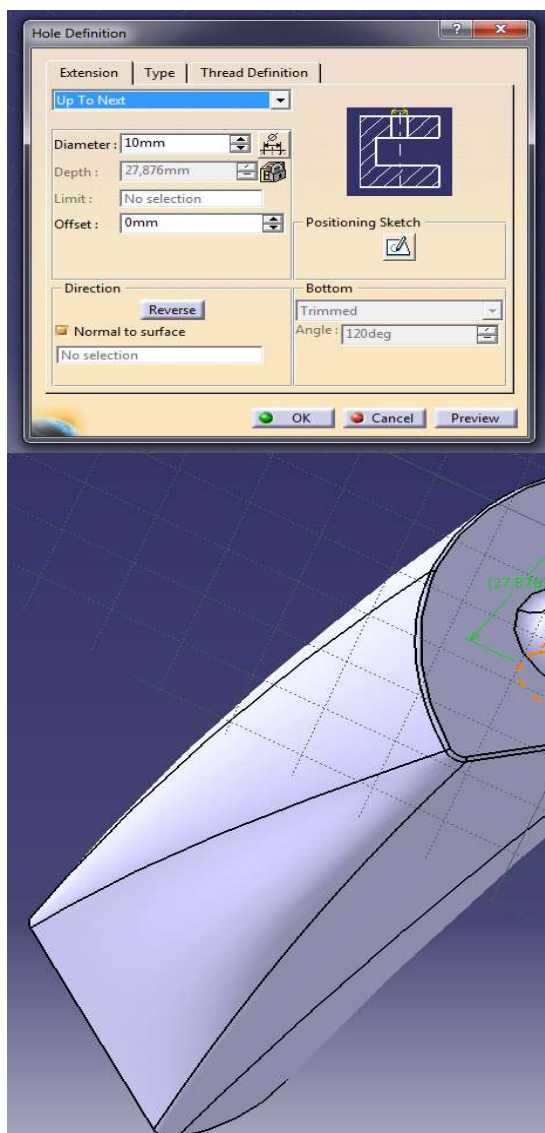
Rys. 7.47. Wyciągnięcie wylewki

Krawędzie wyciągnięcia zaokrąglono promieniami 1 mm oraz 3 mm przy użyciu narzędzia *Edge Fillet*  tak, jak zaprezentowano na rysunku 7.48.



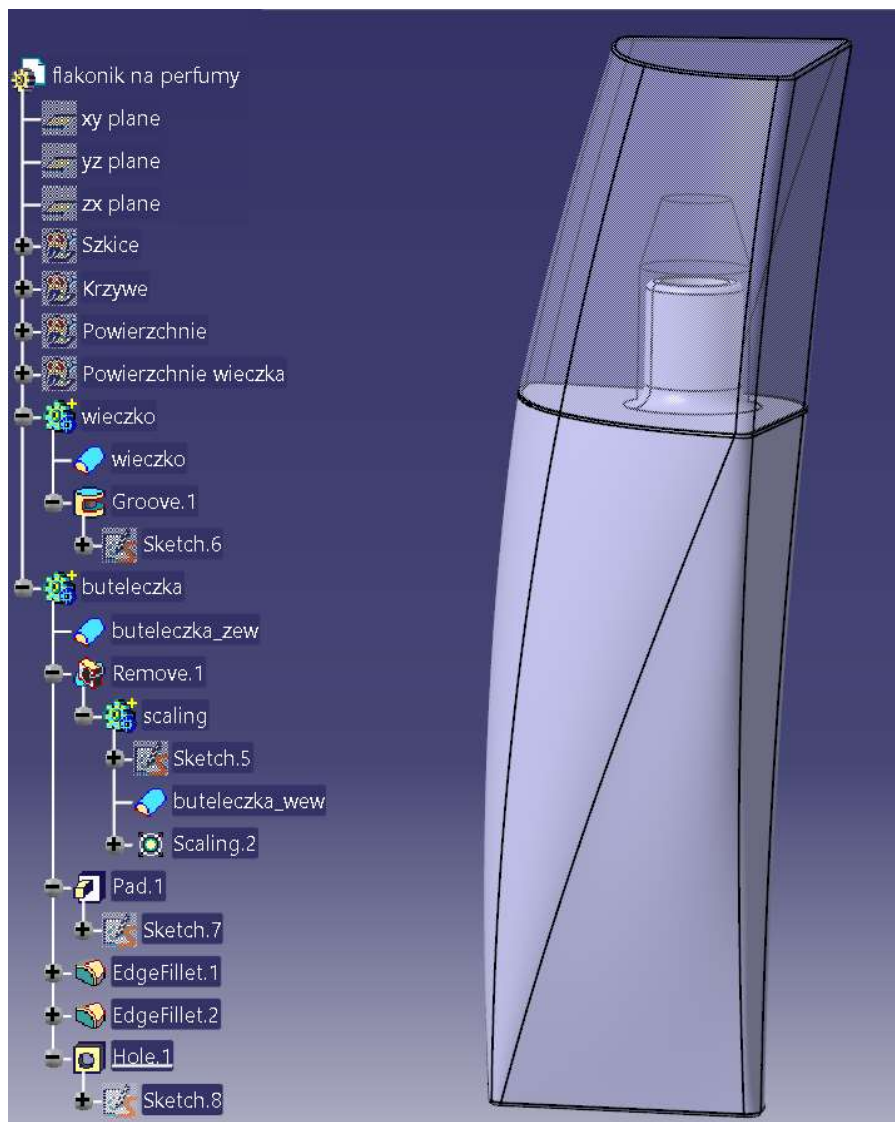
Rys. 7.48. Wykonanie zaokrąglenia ostrych krawędzi występu

W występie należy wykonać otwór. W tym celu użyto narzędzia *Hole* i po wyznaczeniu w szkicowniku środka otworu wylewki zdefiniowano parametry okna dialogowego zgodnie z rysunkiem 7.49.



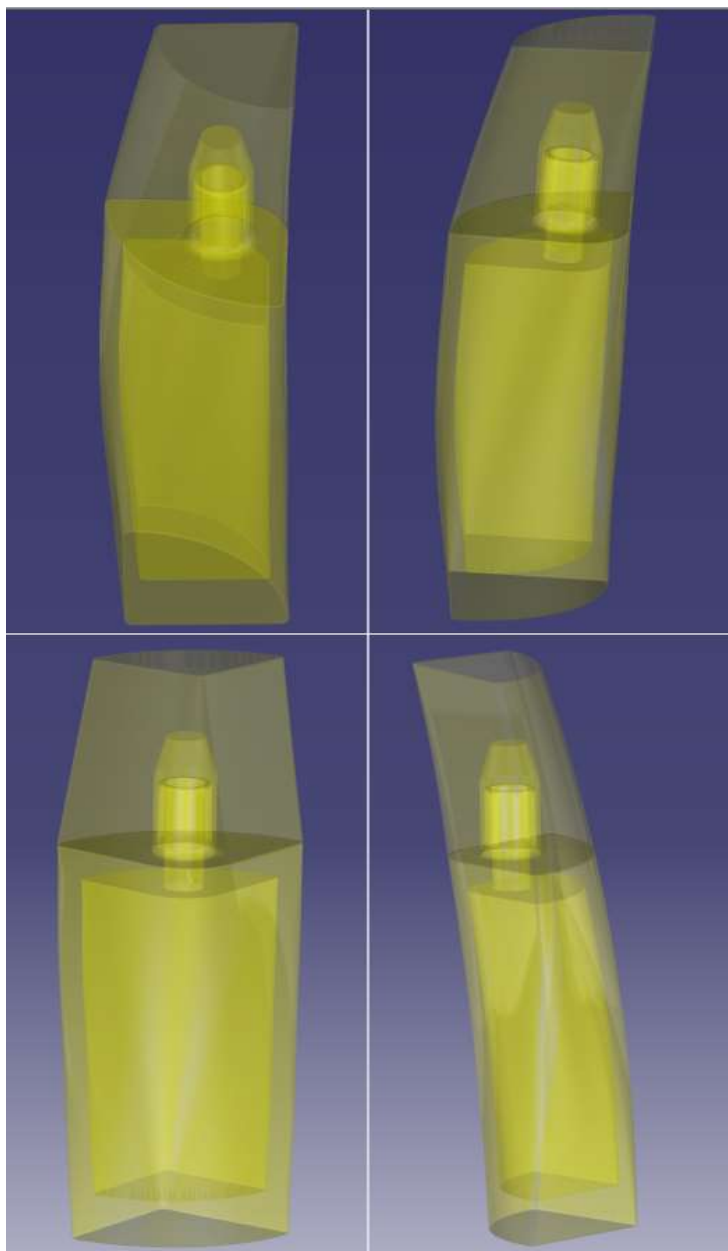
Rys. 7.49. Wykonanie otworu w występie

Ze struktury drzewa modelu wyświetlono *wieczko*. Na rysunku 7.50. zaprezentowano kompletny model flakonu ozdobnego z widocznym drzewem użytych operacji.



Rys. 7.50. Kompletny model flakonu z widocznym drzewem historii

Na rysunku 7.51. przedstawiono w czterech rzutach model flakonu ozdobnego, prezentując jego walory estetyczne.



Rys. 7.51. Prezentacja modelu flakonika ozdobnego

Opcjonalny model flakonu ozdobnego z wykonanymi kieszeniami w podstawie butelki oraz w górnej powierzchni wieczka zaprezentowano na rysunku 7.52.



Rys. 7.52. Alternatywny model flakonu ozdobnego

W ramach projektu flakonu ozdobnego zaprezentowano metodę wykonywania zdefiniowanych powierzchni w procesie modelowania bryłowego. Opracowanie modelu hybrydowego wiązało się z zaimportowaniem wykonanych powierzchni butelki i wieczka do modułu bryłowego, gdzie została im nadana objętość. Model butelki został zbudowany przy wykorzystaniu techniki odejmowania brył. Następnie zamodelowano wylewkę, która posłużyła do stworzenia otworu w wieczku. Zaprezentowane podejście modelowania flakonu ozdobnego możliwe było przy wykorzystaniu zasobów narzędziowych niezależnych dwóch modułów systemu CAD.

8. ZAKOŃCZENIE

W pierwszej części pracy omówiono wybrane techniki wykonywania obiektów powierzchniowych na podstawie opisu przygotowania modeli: wspornika, rury elastycznej, krzyżaka oraz pokrętła. Druga część pracy wiązała się z wprowadzeniem czytelnika w proces modelowania hybrydowego na podstawie zaprezentowania przebiegu opracowania dwóch projektów: kolektora oraz rury elastycznej. Dzięki temu stopniowo zaznajomiono czytelnika z możliwościami wykorzystania modułów: powierzchniowego oraz bryłowego systemu *CATIA V5* w procesie modelowania CAD.

W podręczniku skupiono się na wnikliwym omówieniu metodyki projektowania powierzchniowego. Zwrócono uwagę na poprawność wykonywania geometrii podstawowej, na podstawie której opracowywane są składowe powierzchnie modeli. Przedstawiono wybrane techniki wykorzystywane podczas prac związanych z powierzchniami elementarnymi. Zaprezentowano narzędzia oraz sposoby ich stosowania podczas modyfikacji modeli powierzchniowych. Omówiono proces generowania modeli bryłowych na podstawie modeli powierzchniowych i ich dalszą modyfikację. Przedstawiona metoda prezentowała sposób wykorzystania zasobów narzędziowych niezależnych dwóch modułów systemu CAD w procesie modelowania. Podejście takie rozszerza możliwości projektowe, które są nie do osiągnięcia w przypadku użycia wyłącznie jednego modułu.

Podręcznik ma na celu wprowadzenie czytelnika w proces modelowania powierzchniowego oraz modelowania hybrydowego. Omówione i przedstawione w treści pracy projekty umożliwiają ich praktyczne odtworzenie i mogą być traktowane jako samodzielne ćwiczenia.

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. Węłyczko A.: *Catia V5. Przykłady efektywnego wykorzystania systemu w projektowaniu mechanicznym*, Wydawnictwo Helion, Gliwice 2005.
5. Węłyczko 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.