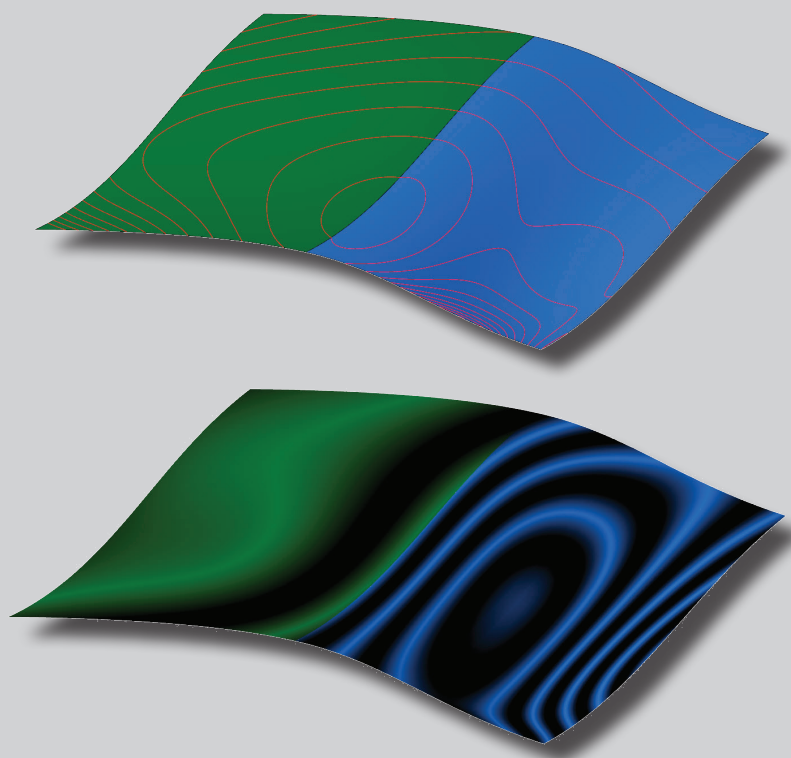




Paweł Wysmulski

Podstawy projektowania powierzchniowego w systemie CATIA V5



POD RĘCZNIKI

Podstawy projektowania 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

PRZEDMOWA	7
1 WSTĘP	9
2 PODSTAWY PROJEKTOWANIA POWIERZCHNIOWEGO	11
2.1 Klasy ciągłości	11
2.2 Analiza ciągłości krzywych	14
2.3 Analiza ciągłości powierzchni	18
3 WPROWADZENIE DO MODUŁU GENERATIVE SHAPE DESIGN	33
3.1 Paleta narzędziowa <i>Wireframe</i> w module <i>Generative Shape Design</i>	34
3.2 Paleta narzędziowa <i>Law</i>	36
3.3 Paleta narzędziowa <i>Surfaces</i>	37
3.4 Paleta narzędziowa <i>Operations</i>	38
3.5 Paleta narzędziowa <i>Advanced Surfaces</i>	41
4 DEFINIOWANIE PROSTYCH POWIERZCHNI PARAMETRYCZNYCH	43
4.1 Polecenie <i>Extrude</i>	43
4.2 Polecenie <i>Revolve</i>	55
4.3 Polecenie <i>Sphere</i>	62
4.4 Polecenie <i>Cylinder</i>	64
4.5 Polecenie <i>Offset</i>	65
4.6 Polecenie <i>Swept</i>	69
4.7 Polecenie <i>Fill</i>	94
4.8 Polecenie <i>Multi-section Surfaces</i>	96
4.9 Polecenie <i>Blend</i>	97
4.10 Polecenie <i>Projection</i>	99
LITERATURA	103

PRZEDMOWA

Niniejszy podręcznik prezentuje metodykę projektowania modeli powierzchniowych przy wykorzystaniu systemu CAD – *CATIA V5*. Zawarte w nim treści zostały podzielone na trzy podstawowe części:

1. Podstawy projektowania powierzchniowego,
2. Wprowadzenie do modułu Generative Shape Design,
3. Definiowanie prostych powierzchni parametrycznych.

W części pierwszej omówione zostały podstawowe zasady tworzenia modeli powierzchniowych ze szczególnym uwzględnieniem klas ciągłości: G0, G1, G2, G3 wpływających w sposób zasadniczy na jakość uzyskanej powierzchni.

Część druga dotyczy przeglądu wybranych palet narzędziowych systemu *CATIA V5 – Generative Shape Design* umożliwiających opracowanie określonych zadań projektowych w oparciu o wybór właściwego polecenia modułu oraz wprowadzenie poprawnych danych.

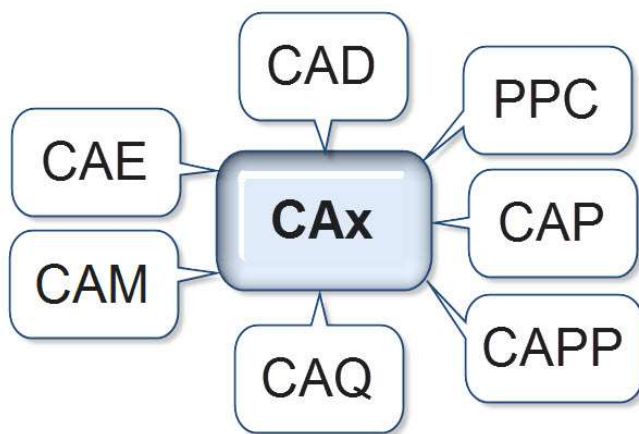
Część trzecia zawiera przykłady wybranych zadań projektowych, które umożliwiają otrzymanie modeli powierzchniowych o różnym stopniu złożoności.

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.



1 WSTĘP

Globalny rozwój komputeryzacji oraz stałe ulepszanie sprzętu komputerowego spowodowały dynamiczne przyspieszenie rozwoju różnych gałęzi przemysłu. Współcześnie każda dziedzina gospodarki egzystuje w oparciu o zastosowane nowoczesne techniki komputerowe. Dotyczy to również obszaru technicznego, gdzie przy wsparciu zaawansowanych systemów komputerowych (CAx – *Computer Aided Technologies*) rozwiązywane są zagadnienia inżynierskie [1–8]. Poniżej zamieszczono schemat przedstawiający komputerowe systemy wspomagające prace inżynierskie – rysunek 1.1.



Rys. 1.1. Systemy CAx

Głównymi systemami komputerowymi wchodzącymi w skład CAx są:

- Computer Aided Design (CAD) – komputerowe wspomaganie projektowania,
- Computer Aided Engineering (CAE) – inżynierskie wspomaganie projektowania,
- Production Planning and Control (PPC) – planowanie i sterowanie produkcją,
- Computer Aided Planning (CAP) – komputerowo wspomagane planowanie,
- Computer Aided Process Planning (CAPP) – komputerowo wspomagane planowanie procesów,
- Computer Aided Manufacturing (CAM) – komputerowe wspomaganie wytwarzania,
- Computer Aided Quality-Control (CAQ) – komputerowe wspomaganie kontroli jakości.

Systemy CAD zawierają narzędzia oraz techniki służące do wspomagania procesu projektowania części maszyn oraz mechanizmów [1–8]. Modelowanie geometryczne odbywa się w dwóch środowiskach: 2D, w którym wykonywane są niezbędne szkice oraz 3D, służącym do nadawania trzeciego wymiaru. Wynikiem procesu projektowania jest uzyskanie wirtualnego modelu 3D lub dokumentacji 2D wykonanej na jego podstawie. Ponadto oprogramowanie CAD poza opracowaniem dokumentacji konstrukcyjnej w postaci grafiki dwuwymiarowej i grafiki trójwymiarowej może zawierać moduły analizy kinematycznej, optymalizacji oraz inne służące do wykonania finalnego wyrobu. Współczesne systemy CAD/CAE posiadają dodatkowo moduły do przeprowadzania analiz wytrzymałościowych modeli komputerowych w oparciu o metodę elementów skończonych (MES). Jest to ogromna zaleta, ponieważ proces projektowania oraz analiz numerycznych można przeprowadzić w jednym systemie komputerowym.

W niniejszym podręczniku zajęto się tematem projektowania powierzchniowego. Zagadnienie inżynierskie przedstawione zostanie w oparciu o jeden z najpopularniejszych systemów CAD, jakim jest CATIA V5 firmy *Dassault Systèmes* [5, 7, 8]. System ten posiada wyodrębniony moduł *Generative Shape Design* służący do tworzenia skomplikowanych geometrii powierzchniowych.

2 PODSTAWY PROJEKTOWANIA POWIERZCHNIOWEGO

Współczesne systemy CAD oferują inżynierom wiele udogodnień związanych z procesem projektowania. Konstruktor ma możliwość tworzenia geometrii w sposób sparametryzowany bez konieczności bezpośredniej ingerencji w jej matematyczny zapis. Ponadto tworzenie obiektu przebiega w sposób asocjatywny, to znaczy wykonywana geometria powiązywana jest automatycznie z obiektami jej zależnymi i jakakolwiek zmiana parametrów pociąga za sobą globalne zmiany.

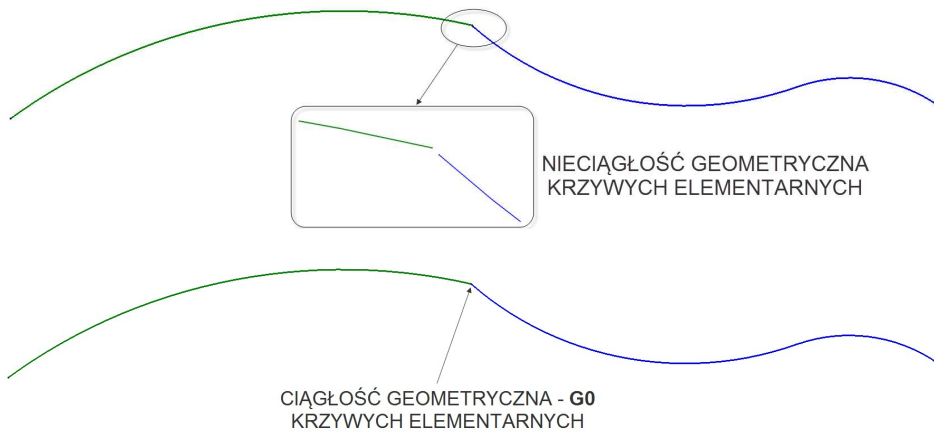
Cechy te stają się niezastąpione w trakcie zaawansowanego modelowania powierzchniowego, podczas którego wiele krzywizn obarczonych jest błędem wyświetlania. Pozornie dobrze wyglądająca powierzchnia może być obciążona wieloma niedokładnościami niedopuszczalnymi w danym projekcie. Błędy tego typu wynikają w szczególności z ograniczeń graficznych systemów CAD oraz wykorzystywanego sprzętu komputerowego, jak również z niedoskonałości wzroku ludzkiego. Z tego powodu programy tego typu wyposażone zostały w zaawansowane narzędzia służące do analizy krzywizn, bez których bardzo trudne byłoby modelowanie poprawnych powierzchni.

Jakość powierzchni wynika z doboru odpowiednich krzywych w celu jej zdefiniowania. Jeżeli podczas procesu projektowania zastosowane zostały złej klasy krzywe, to efektem tego kroku będzie powstanie elementu powierzchniowego słabej jakości. W celu uniknięcia nieświadomych błędów konstrukcyjnych systemy CAD w parze z poleceniami do modelowania 3D krzywizn oraz skomplikowanych powierzchni wyposażone zostały w narzędzia służące do analiz jakości wykonanych elementów.

2.1 Klasy ciągłości

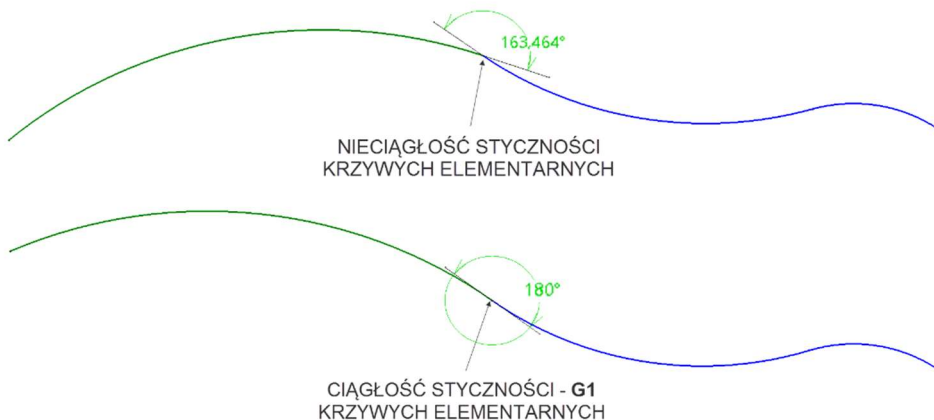
Określenie, czy dana krzywizna jest dobrej jakości, wiąże się ze znajomością terminu ciągłości krzywej. Głównym kryterium wykorzystywanym podczas oceny jakości krzywej wynikającej z teorii modelowania przestrzennego jest rodzaj ciągłości. Wyróżnia się cztery klasy ciągłości:

- **Ciągłość geometryczna** – typ G0 występuje, gdy dane dwie krzywe charakteryzuje wspólny punkt. Na rysunku 2.1.1 przedstawiono krok naprawy ciągłości dwóch krzywych, poprzez modyfikację wybranego punktu końcowego jednej z nich.



Rys. 2.1.1. Ciągłość geometryczna pary krzywych klasy G0

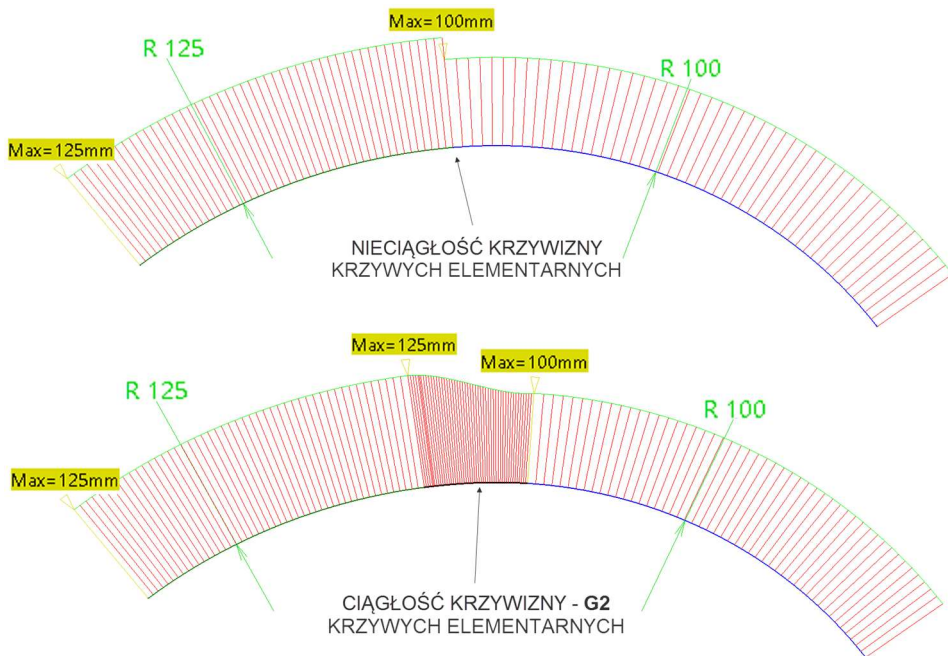
- **Ciągłość stycznosci** – typ G1 występuje, gdy para krzywych spełniająca klasę ciągłości G0 jest wzajemnie styczna w punkcie wspólnym. W celu spełnienia warunku G1 konieczne jest zachowanie styczności elementów wspólnych z czego wynika, że kąt pomiędzy wektorami stycznymi krzywych wynosi 0° lub 180° . Na rysunku 2.1.2 przedstawiono modyfikację dwóch krzywych klasy G0 nadając im ciągłość stycznosci.



Rys. 2.1.2. Ciągłość stycznosci pary krzywych klasy G1

- **Ciągłość krzywizny** – typ G2 występuje, gdy para krzywych spełniająca klasę ciągłości G1 ma w punkcie wspólnym taką samą wartość promienia krzywizny. Problem ciągłości krzywizny przedstawiony został na przykładzie

krzywej składającej się z pary łuków scharakteryzowanych różnymi promieniami. W punkcie wspólnym danych łuków promień krzywej zmienia się skokowo, co wyklucza spełnienie klasy ciągłości krzywizny. Na rysunku 2.1.3 przedstawiono modyfikację dwóch łuków klasy G1, nadając im ciągłość krzywizny poprzez zastosowanie krzywej przejścia gwarantującej ciągłość krzywizny.



Rys. 2.1.3. Ciągłość krzywizny pary krzywych klasy G2

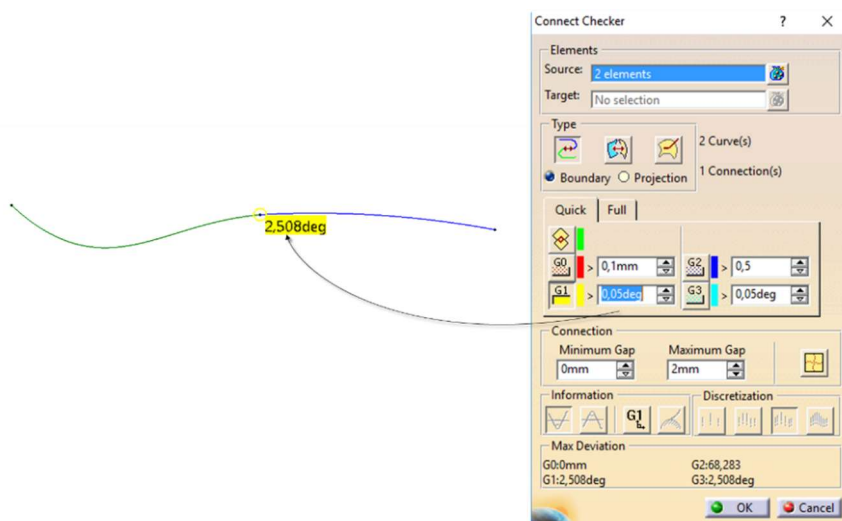
- **Ciągłość gradientu zmian krzywizny** – typ G3 występuje, gdy para krzywych klasy G2 posiada w obszarze przyległym do punktu wspólnego podobny gradient – charakter zmian krzywizny. Programy CAD wykorzystują algorytm gwarantujący ciągły charakter krzywizny opisany równaniem lub układem równań parametrycznych, odnoszący się najczęściej do klasy G2, natomiast klasa G3 odnosi się do przypadków, gdy krzywa poddana analizie składa się z innych krzywych elementarnych. Są to szczególne przypadki powstałe w konsekwencji zastosowania danej operacji. Przykładowo dwie przecinające się powierzchnie powstałe na podstawie krzywych elementarnych spełniających klasę G2 tworzą krzywą gwarantującą tylko ciągłość G1, bądź w niektórych przypadkach nawet G0.

Ciągłość gradientu zmiany krzywizny wymaga aplikacji skomplikowanych algorytmów obliczeniowych. Powoduje to, że nie wszystkie systemy CAD dysponują tego typu narzędziem. Zastosowanie klasy ciągłości G3 wymagane jest w skomplikowanych projektach powierzchniowych, na przykład podczas modelowania wyjątkowych krzywizn karoserii. Gdy dysponujemy systemem CAD wyposażonym w narzędzie gwarantujące zapewnienie ciągłości G3 nie jest realne zagwarantowanie najwyższej klasy ciągłości wszystkim wykonanym krzywiznom. Podczas modelowania powierzchniowego konstruktor decyduje, jaka ciągłość jest wymagana. Zazwyczaj w zupełności wystarczy zagwarantowanie ciągłości klasy G2 a w innych przypadkach nawet G1, by w odpowiedni sposób odzwierciedlić daną krzywiznę powierzchni.


Celem konstruktora jest uzyskanie pozytywnego wyniku wirtualnego modelu powierzchniowego odzwierciedlającego przyjęte rzeczywiste założenia oraz wymagania projektowe przy wykorzystaniu swojego doświadczenia oraz posiadanych umiejętności. Spełnienie wymaganych ciągłości oraz krzywizn modelu wynika często z praktyki konstruktorskiej oraz znajomości odpowiednich narzędzi do analiz krzywizn.

2.2 Analiza ciągłości krzywych

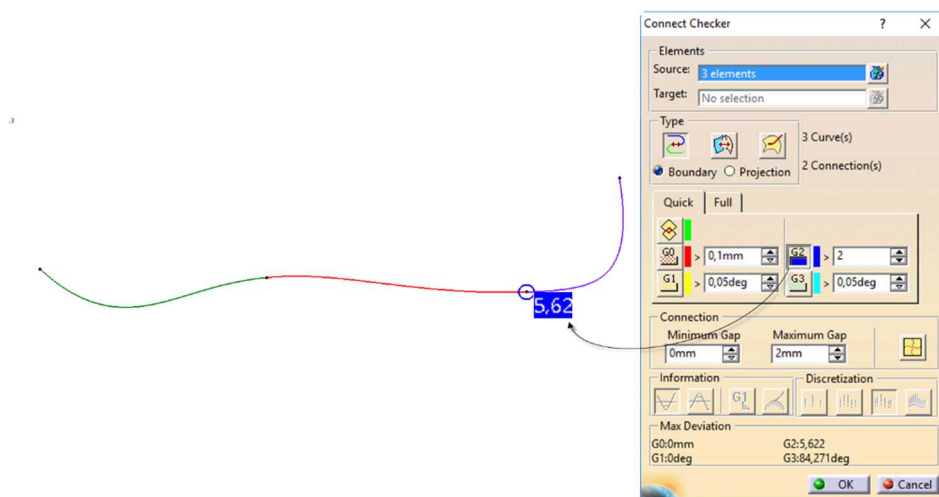
Intuicyjne wykonywanie wszelkiego rodzaju krzywych podczas procesu modelowania powierzchniowego często obarczone jest niepożądanymi błędami wynikającymi między innymi z błędów wyświetlania. System *Catia V5* dysponuje szeregiem poleceń wykonujących procedury analizy krzywych.




Rys. 2.2.1. Analiza ciągłości stycznej pary krzywych narzędziem *Connect Checker*

Etap analizy ciągłości krzywych możliwy jest przy wykorzystaniu polecenia *Connect Checker* . W celu sprawdzenia ciągłości należy wskazać jedną lub kilka krzywych oraz dla odpowiedniej klasy (G0, G1, G2 lub G3) wpisać ustaloną tolerancję. Powyżej na rysunku 2.2.1 przedstawiono przykład zastosowania polecenia do analizy klasy ciągłości dwóch krzywych. Krzywizna składająca się z dwóch linii spełnia jedynie klasę ciągłości G0, czyli najniższą z możliwych. W przypadku klasy G1 i wyższych narzędzie *Connect Checker* wykazuje niezgodność otrzymanych parametrów z narzuconymi dopuszczalnymi tolerancjami.

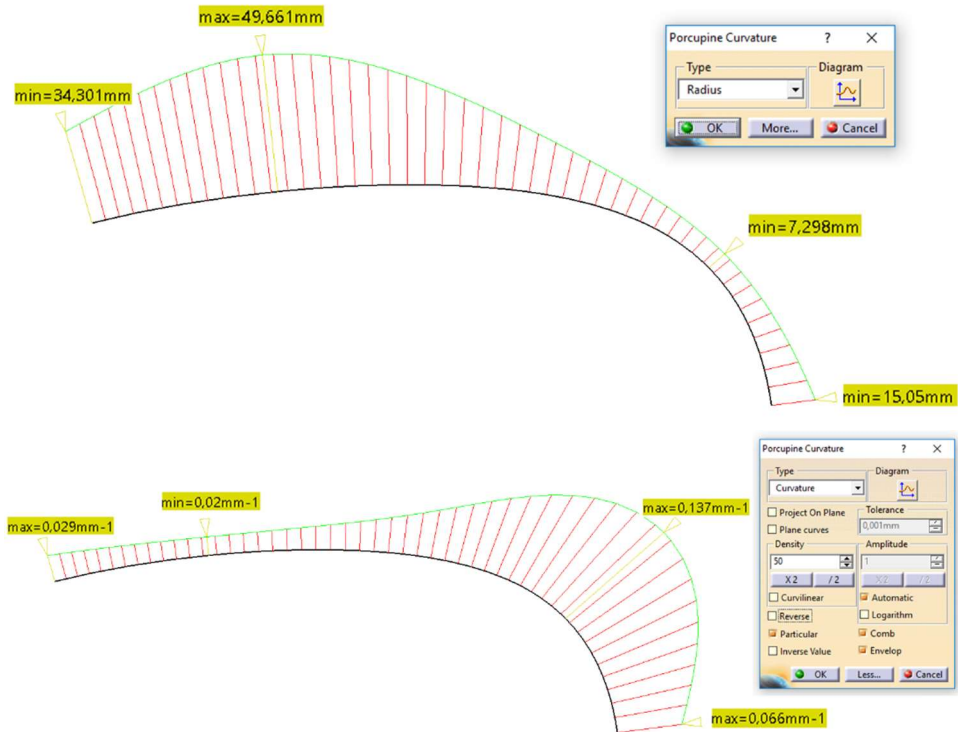
Polecenie *Connect Checker* przedstawia wyniki analizy ciągłości krzywych w oparciu o ustaloną wartość tolerancji. Jeżeli geometria krzywych poddanych badaniu według określonej klasy ciągłości nie przekracza wpisanej wartości błędu to dana ciągłość jest spełniona. Należy pamiętać, że to konstruktor decyduje o jakości powierzchni oraz określa tolerancje danych krzywizn. Na rysunku 2.2.2 przedstawiono zmianę tolerancji dla klasy G2 oraz wynik analizy na przykładzie trzech krzywych. Przekroczenie zadanej wartości błędu w przypadku wskazanej pary krzywych powoduje niespełnienie warunku ciągłości krzywizny.



Rys. 2.2.2. Analiza ciągłości G2 trzech krzywych narzędziem *Connect Checker*

Zapewnienie odpowiedniej klasy ciągłości krzywej nie zawsze oznacza, że jest ona najlepsza z możliwych oraz posiada optymalną geometrię. W celu zbadania tego problemu konieczne jest użycie narzędzia służącego do analizy *Porcupine Curvature* . Polecenie to służy do wyświetlania przebiegu zmiany krzywizny. Analizę przebiegu krzywizny można przeprowadzić w dwojaki sposób, jako przebieg promienia krzywizny lub zmian krzywizny wzdłuż krzywej

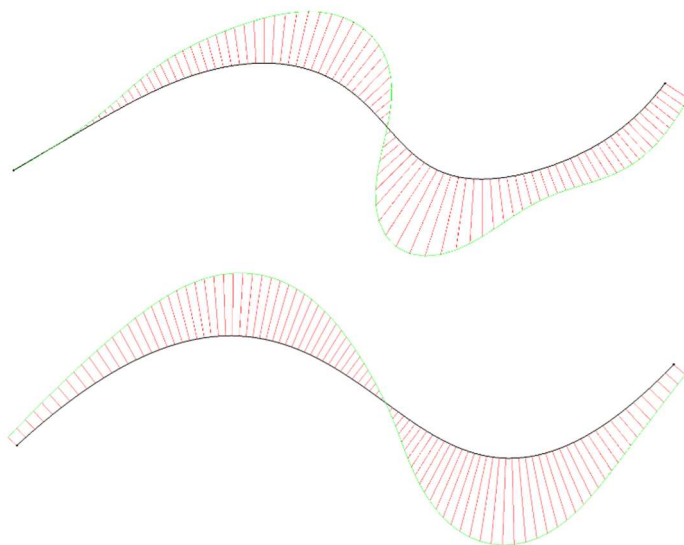
z możliwością identyfikacji punktów przegięcia krzywej. Poniższy rysunek 2.2.3 przedstawia zastosowanie dwóch wymienionych typów na przykładzie tej samej krzywej.



Rys. 2.2.3. Analiza rozkładu krzywizny narzędziem *Porcupine Curvature*


Polecenie *Porcupine Curvature* znalazło idealne zastosowanie w analizach mających na celu zidentyfikowanie miejsc niedopuszczalnych zmian charakteru krzywizn, które są niemożliwe do uchwycenia oraz zlokalizowania okiem ludzkim. Mowa tutaj o lokalnych miejscach, w których krzywizna zmienia znak. Omawiane narzędzie pozwala stwierdzić, czy analizowana krzywa posiada błędy geometryczne oraz określa ich wartość oraz lokalizację na krzywej w precyzyjny sposób. Analiza polega na określeniu gęstości punktów na krzywej, następnie dla każdego z osobna obliczany jest promień krzywizny, w którym generowana jest prostopadła do krzywej o proporcjonalnej długości do otrzymanej wartości. Sposób wyświetlania wykresu krzywizny zależy od wskazań konstruktora i może składać się z prostopadłych (czerwone linie na wykresie), obwiedni (zielona krzywa) lub prostopadłych oraz obwiedni. Dodatkowo narzędzie posiada funkcję wyświetlania wartości ekstremów oraz możliwość sprawdzenia krzywizny

w określonym punkcie badanej krzywej. Poniższy rysunek 2.2.4 przedstawia problem na przykładzie krzywej charakteryzującej się zmianami znaku krzywizny, która pozornie wygląda na prawidłowo zdefiniowaną.

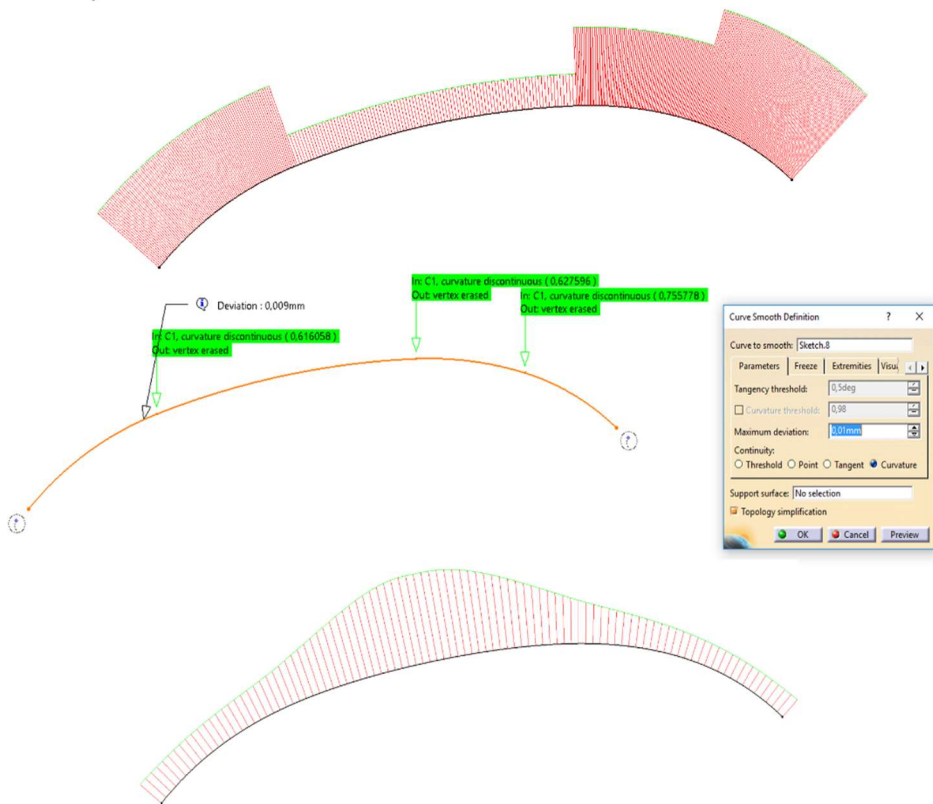


Rys. 2.2.4. Modyfikacja charakteru krzywizny

Zamieszczony przykład na rysunku 2.2.4 pokazuje, jak kontrolować geometrię wykonywanych krzywych. Kluczowe podczas modelowania powierzchniowego jest to, żeby tworzoną krzywiznę określały jedynie niezbędne punkty przegięcia. Niewłaściwy charakter krzywizny można oczywiście poprawić i nadać mu zamierzony przebieg. Rozwiązanie takiego problemu zależy od konstruktora i może być dokonane w różny sposób. Jedną z możliwości naprawy krzywizny w przypadku jednej krzywej jest modyfikacja punktów tworzących, dodanie nowych lub zmiana współrzędnych. Jeżeli problem dotyczy wielu krzywych możliwe jest zastosowanie odpowiednich relacji (więzów geometrycznych) między nimi.

Konstruktor dysponuje również narzędziem umożliwiającym lokalne wygładzanie krzywej. *Curve Smooth*  jest bardzo pomocnym narzędziem w przypadku zagwarantowania określonej klasy ciągłości rozpatrywanej krzywej. Poniżej przedstawiono przykład nadania ciągłości G2 czterem łukom o zmiennym promieniu przy zastosowaniu *Curve Smooth* – rys 2.2.5. Polecenie *Curve Smooth* przedstawione na rysunku 2.2.5 umożliwia lokalne wygładzanie krzywizny według wybranej klasy ciągłości G0 – *Point*, G1 – *Tangent*, lub G2 – *Curvature*. Dodatkowo konstruktor może określić wartość maksymalnej deformacji modyfikowanej krzywej w polu *Maximum deviation*. Narzędzie określa, co dzieje

się w danym punkcie łączącym krzywe: opcja *In* – informuje o aktualnej niedokładności, natomiast *Out* – o sposobie modyfikacji. Komunikaty podświetlane są na trzy kolory: zielony – zastosowanie narzuconej ciągłości, żółty – częściowa poprawa ciągłości, czerwony – określona ciągłość dla danych parametrów nie może być osiągnięta.



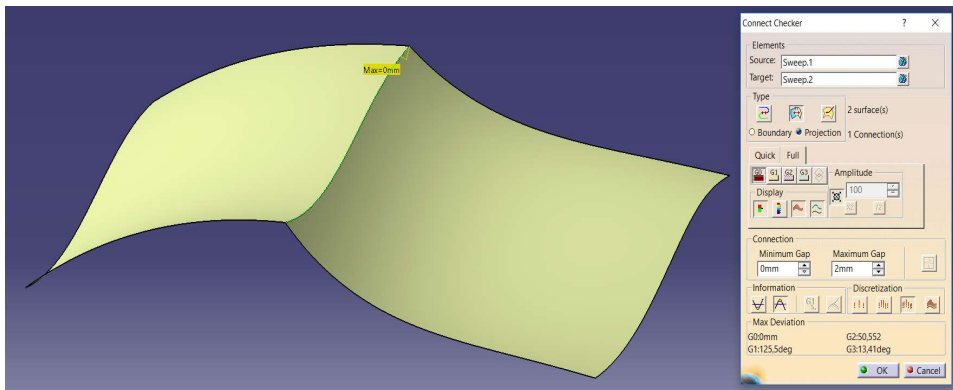
Rys. 2.2.5. Zmiana przebiegu krzywizny za pomocą narzędzia *Curve Smooth*

2.3 Analiza ciągłości powierzchni

Proces modelowania powierzchniowego polega na tworzeniu odpowiednich krzywych, na podstawie których definiowane są powierzchnie. Można więc stwierdzić, że jakość powierzchni oraz jej klasa ciągłości uzależnione są od rodzaju wykonanych szkiców (krzywych). Modelowanie skomplikowanych powierzchni wymaga od konstruktora wykorzystywania wielu narzędzi do definiowania obiektów 3D, które są ze sobą przycinane, łączone itd.,

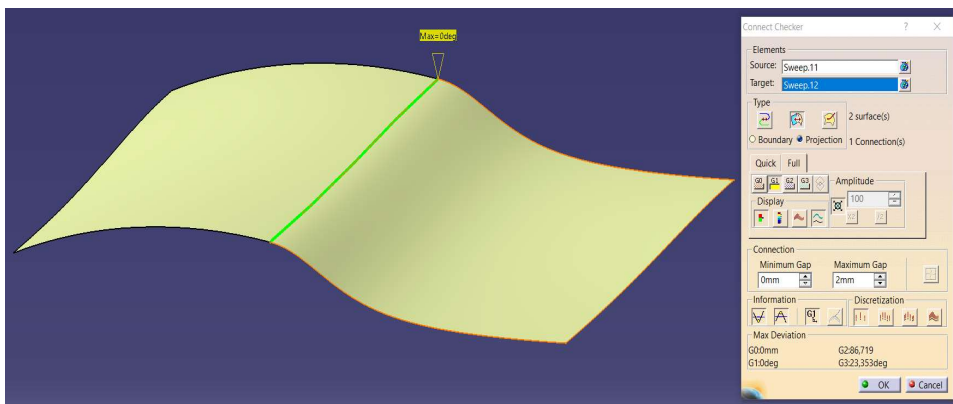
co umożliwia uzyskanie właściwego kształtu modelu. W związku z tym, tak jak w przypadku krzywych, konieczna jest analiza powierzchni z uwagi na warunek ciągłości. Podział kryteriów ciągłości powierzchni powstał analogicznie do klas ciągłości krzywych i prezentuje się następująco:

- **Ciągłość geometryczna powierzchni** – typ G0 występuje, gdy dana para powierzchni połączona jest ze sobą wzdłuż wspólnej krawędzi w sposób ciągły na całej długości – rysunek 2.3.1;



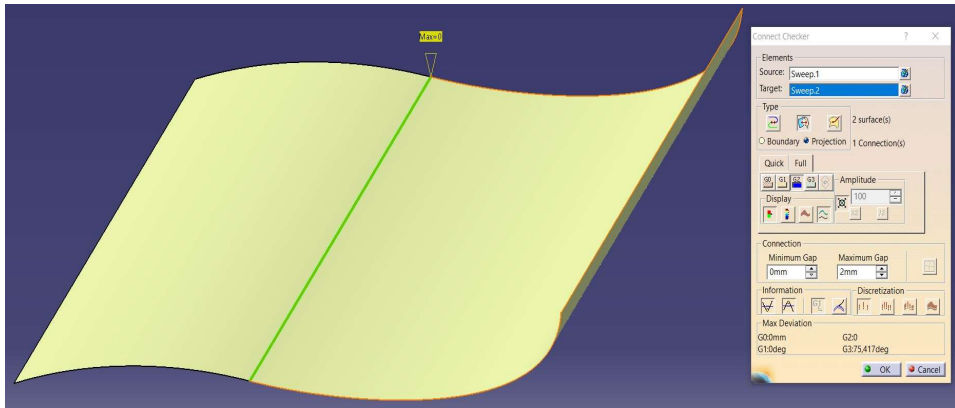
Rys. 2.3.1. Ciągłość geometryczna powierzchni

- **Ciągłość stycznej powierzchni** – typ G1 występuje, gdy para powierzchni spełniająca kryterium G0 posiada styczność w każdym punkcie leżącym na krawędzi wspólnej – rysunek 2.3.2;



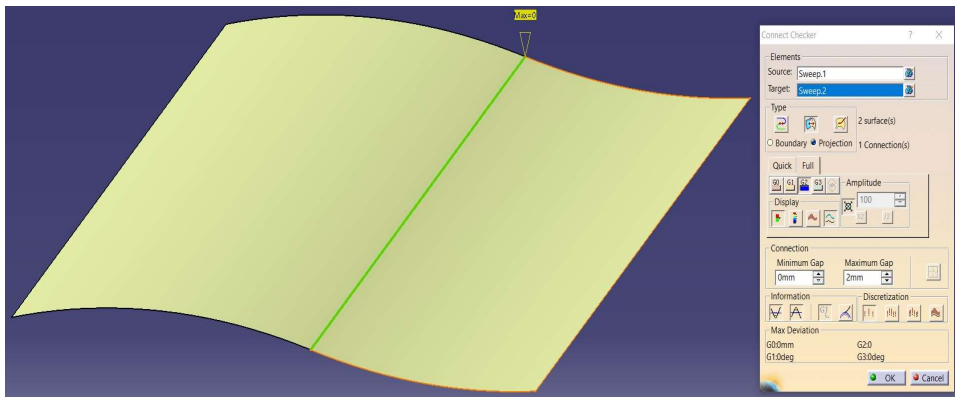
Rys. 2.3.2. Ciągłość stycznej powierzchni

- **Ciągłość krzywizny powierzchni** – typ G2 występuje, gdy para powierzchni spełniająca kryterium G1 charakteryzuje się stałym promieniem krzywizny w każdym punkcie należącym do części wspólnej – rysunek 2.3.3;



Rys. 2.3.3. Ciągłość krzywizny powierzchni

- **Ciągłość gradientu zmian krzywizny powierzchni** – typ G3 występuje, gdy para powierzchni spełniająca kryterium G2 posiada podobny charakter zmian krzywizny w rejonie części wspólnej – rysunek 2.3.4.



Rys. 2.3.4. Ciągłość gradientu zmian krzywizny powierzchni

Podobnie, jak w przypadku ciągłości krzywych, powierzchnie nie w każdym przypadku muszą spełniać klasę ciągłości najwyższego rzędu. To konstruktor na etapie modelowania, bazując na wymaganiach projektowych, decyduje o jakości



powierzchni. Ze względu na zastosowanie modeli powierzchniowych można je podzielić na trzy rodzaje:

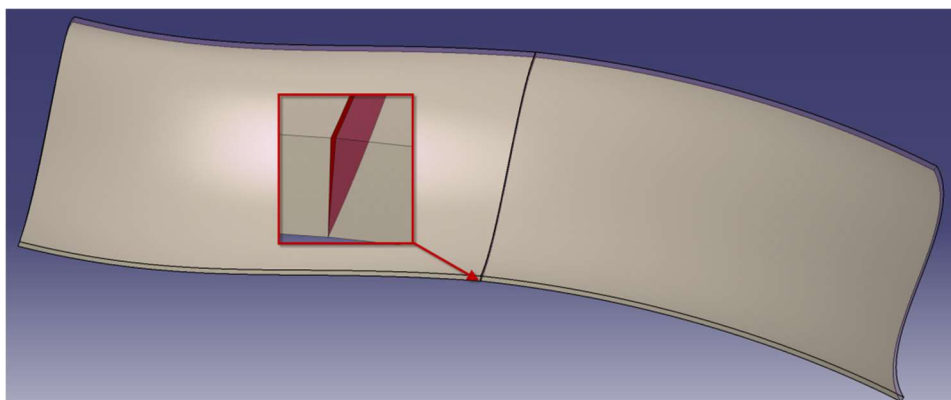
- inżynierskie (mechaniczne) – klasy ciągłości G0/G1: są to wszelkiego rodzaju części stanowiące element danego układu (krzywki, ślizgi, prowadnice, usztywnienia), będące zazwyczaj niewidoczne;
- ozdobne (estetyczne) – klasy ciągłości G2/G3: elementy upiększające, zwiększające walory wizualne obiektów (elementy karoserii samochodu, obudowy telefonów komórkowych), często polerowane w znacznym stopniu odbijające światło;
- mechaniczno-estetyczne – klasy ciągłości G2/G3: różnego rodzaju elementy spełniające walory mechaniczne oraz estetyczne, na przykład: obudowy suszarek, odkurzaczy.

Analiza jakości powierzchni przebiega w dwóch następujących krokach:

- 1 – określenie ciągłości powierzchni,
- 2 – zbadanie charakteru rozkładu krzywizny.

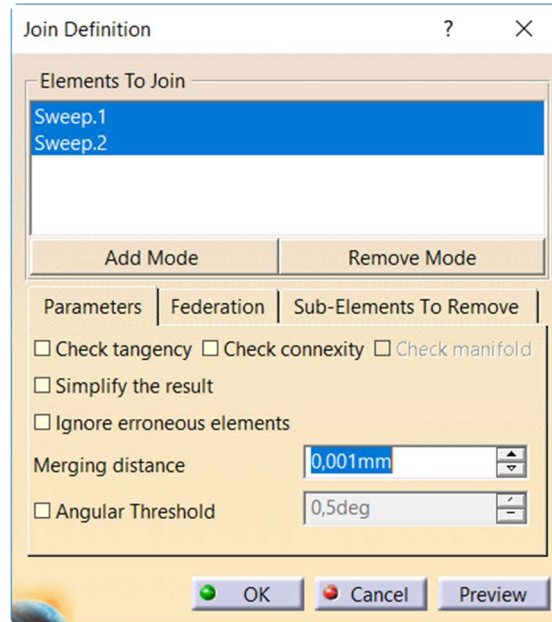
W celu zweryfikowania dokładności wykonanych powierzchni (z wyjątkiem klasy G0, która może zostać oceniona wizualnie) stosuje się specjalistyczne narzędzia CAD służące do analiz tego typu.

Proces modelowania powierzchniowego kończy się wykonaniem elementu bryłowego. Odbywa się to poprzez nadanie grubości (*Thick Surface* ) lub zamknięcie modelu powierzchniowego (*Closed Surface* ). Często nieumiejętnie wykonane geometrie na tym etapie generują błędy w postaci nieciągłości klasy G0. Powstają one wskutek przeprowadzenia najmniej efektywnej analizy powierzchni – oceny wizualnej. Na rysunku 2.3.5 przedstawiono przykład błędu nieciągłości G0 elementu bryłowego wykonanego przy wykorzystaniu powierzchni.




Rys. 2.3.5. Nieciągłość geometryczna G0 modelu bryłowego

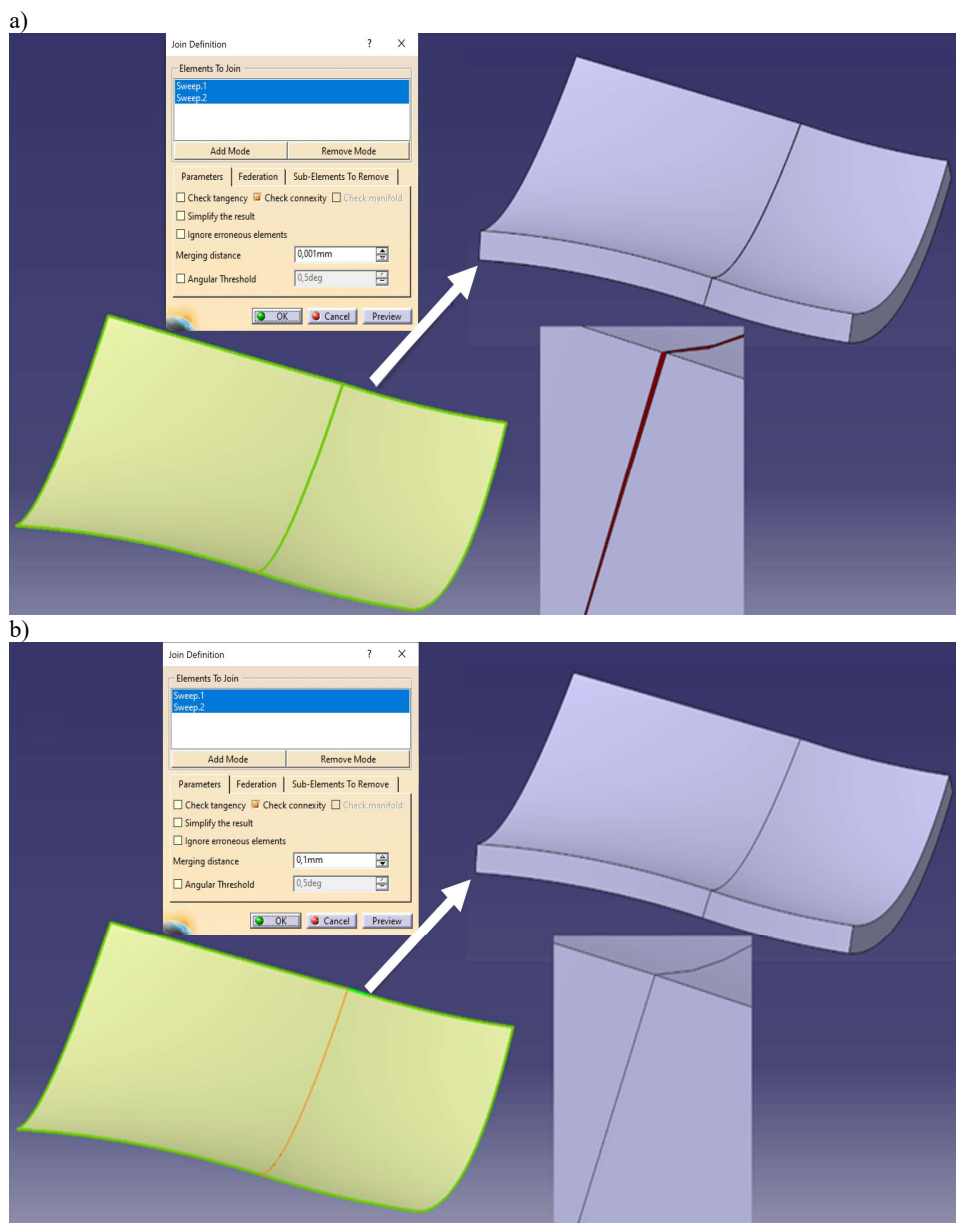
Rysunek 2.3.5 przedstawia model bryłowy powstały na podstawie dwóch powierzchni, które po ocenie wizualnej wydawały się ciągłymi geometrycznie. W efekcie nadania grubości otrzymano jednak bryłę posiadającą wadę nieciągłości w postaci szczeliny powstałej na styku dwóch powierzchni.



Rys. 2.3.6. Okno poleceń narzędzia *Join*

Finalny model powierzchniowy w większości przykładów składa się z wielu składowych powierzchni, które na poszczególnych etapach modelowania łączone są w powierzchnię monolityczną. W systemie *Catia V5* do tej operacji wykorzystywane jest narzędzie *Join*  (rys. 2.3.6), które poza spajaniem powierzchni umożliwia naprawianie niewielkich błędów nieciągłości geometrycznych w określonym zakresie tolerancji od 0,001mm do 0,1mm (*Merging distance*), definiowanie kąta załamania na geometrii krawędzi wspólnej (*Angular threshold*), korygowanie styczności ☒ *Check tangency*, wypukłości ☒ *Check connexity*, upraszczanie geometrii ☒ *Simplify the result* oraz ignorowanie błędów powierzchni ☒ *Ignore erroneous elements*.


Poniższy rysunek przedstawia zastosowanie narzędzia *Join* do naprawy defektu podczas łączenia dwóch powierzchni. Na rysunku 2.3.7a przedstawiono model bryłowy wykonany na podstawie połączonych powierzchni z domyślną tolerancją (*Merging distance* 0,001mm).

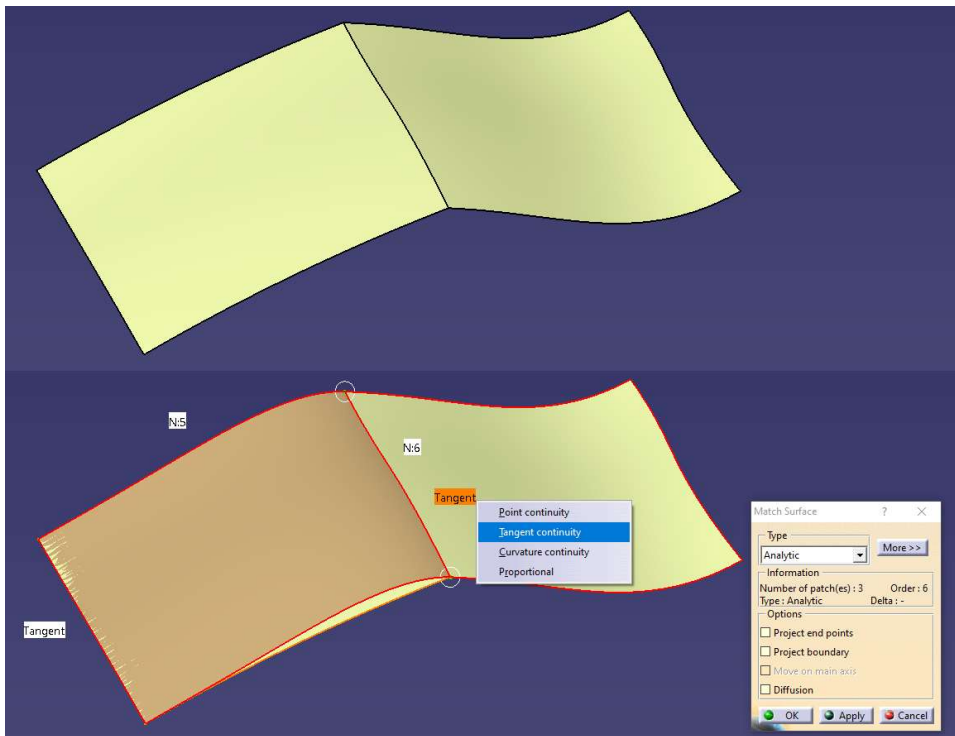


Rys. 2.3.7. Zastosowanie narzędzia *Join* do naprawy ciągłości geometrycznej


W efekcie otrzymano defekt w postaci szczeliny w miejscu styku geometrii – dwie powierzchnie nie mają wspólnej krawędzi. Taki model można naprawić na etapie spajania powierzchni narzędziem *Join* poprzez zawężenie pola tolerancji do 0,1mm (*Merging distance*). Na rysunku 2.3.7b przedstawiono wynik naprawy

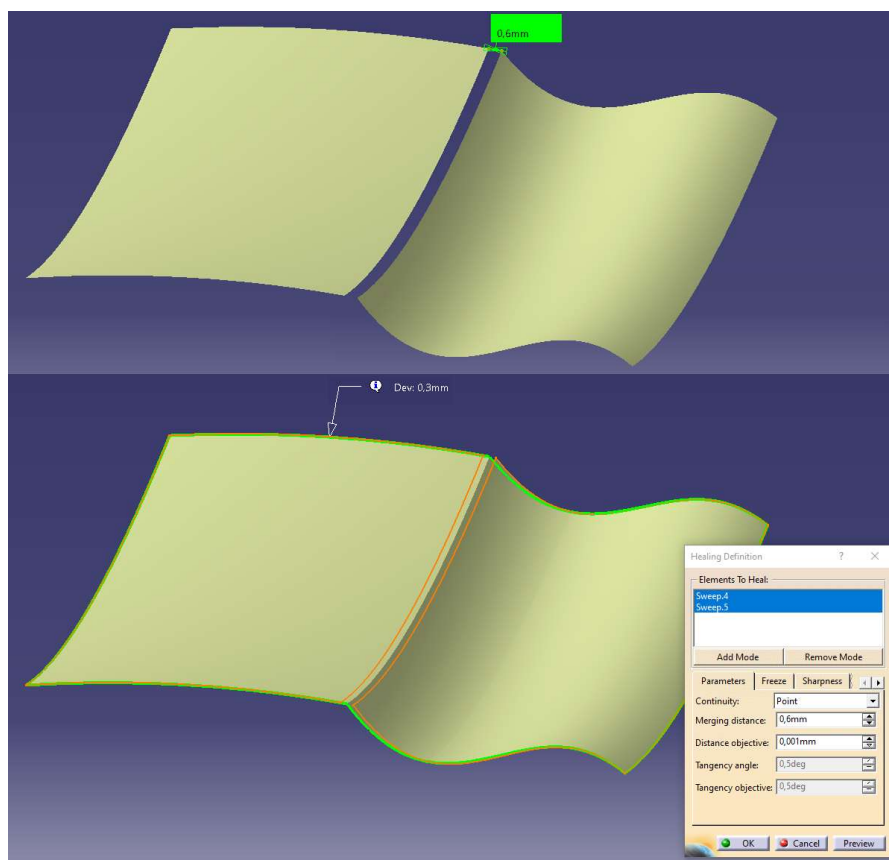
ciągłości geometrii – wszystkie nieciągłości na styku powierzchni mniejsze od 0,1mm zostały domknięte. Opisany przypadek jest operacją topologiczną, która nie modyfikuje składowych powierzchni. Z tego powodu zaleca się unikanie takiego sposobu naprawiania powierzchni. W tym przypadku rozsądnym rozwiązaniem jest skorygowanie składowych krzywych.

Podczas procesu modelowania mogą wystąpić nieoczekiwane niedokładności powierzchni. W takim przypadku do naprawy kształtu powierzchni można wykorzystać narzędzie *Match Surface*  występujące w module *Free Style*. Za pomocą wspomnianego narzędzia można zmodyfikować geometrię lub wymusić określony warunek ciągłości powierzchni. Rysunek 2.3.8 przedstawia zastosowanie polecenia *Match Surface* w celu naprawy ciągłości dwóch powierzchni.

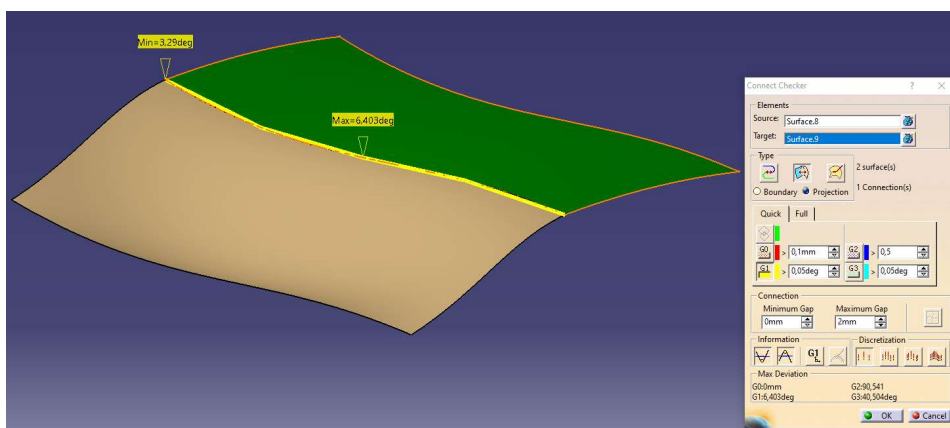


Rys. 2.3.8. Wykorzystanie narzędzia *Match Surface* do naprawy ciągłości dwóch powierzchni

Kolejnym narzędziem do poprawy jakości wykonanych powierzchni jest *Healing* . Wspomniane polecenie służy do modyfikacji lokalnej lub globalnej deformacji powierzchni. Wykorzystanie narzędzia *Healing* do naprawy ciągłości powierzchni przedstawiono na rysunku 2.3.9.



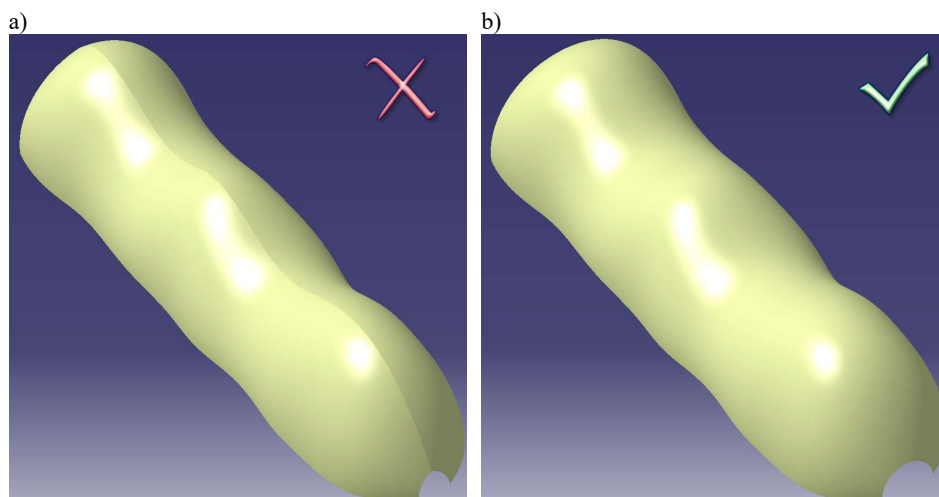
Rys. 2.3.9. Zastosowanie polecenia *Healing* do naprawy deformacji powierzchni



Rys. 2.3.10. Określenie nieciągłości powierzchni za pomocą polecenia *Connect Checker*

W systemie *Catia V5* występuje polecenie ułatwiające analizę ciągłości modelu powierzchniowego. Przy wykorzystaniu narzędzia *Connect Checker* możliwe jest określenie newralgicznych krzywizn zgodnie z następującymi kryteriami ciągłości: G0, G1 oraz G2. Dodatkowo polecenie dysponuje możliwością zdefiniowania zakresu wskazywanej nieciągłości. Rysunek 2.3.10 przedstawia określenie nieciągłości powierzchni za pomocą polecenia *Connect Checker*.

Model powierzchniowy można wstępnie poddać analizie wizualnej. Na podstawie takiej analizy możliwe jest określenie wyraźnych niedoskonałości ciągłości powierzchni. Ocena wizualna pozwala jedynie na wskazanie nieciągłości typu G1. Na rysunku 2.3.11a, przedstawiono model powierzchniowy z widocznym defektem w postaci ostrej krawędzi, natomiast rysunek 2.3.11b przedstawia model wolny od defektów.



Rys. 2.3.11. Ocena wizualna powierzchni: a) model z defektem, b) model wolny od defektów

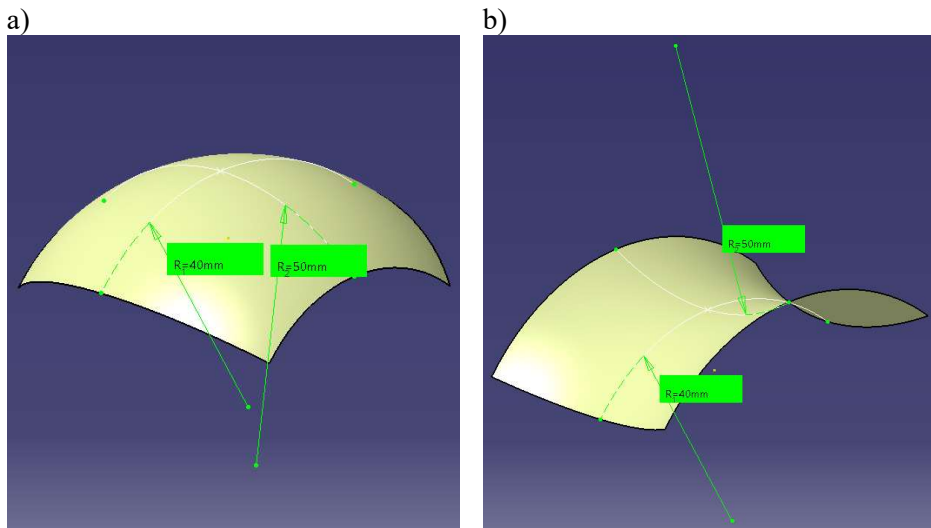
W większości przypadków modeli powierzchniowych ocena wizualna jest niewystarczająca. Z tego powodu systemy CAD wyposażone są w zaawansowane narzędzia do tego typu analiz. Za pomocą wspomnianych poleceń możliwe jest wyznaczenie newralgicznych obszarów powierzchni. Do tego typu analiz wykorzystywane jest najczęściej kryterium *Gaussa* określające wartość średnią krzywizny. Kryterium *Gaussa* można przedstawić za pomocą następującego algorytmu [5]:

- W każdym punkcie powierzchni można zdefiniować prostą do niej prostopadłą.
- Przez tak wyznaczoną linię można poprowadzić nieskończenie wiele płaszczyzn.


- Płaszczyzny te mogą posłużyć do wyznaczenia nieskończenie wielu krzywych (przekrojów powierzchni), a każda z tych krzywych ma określony rozkład krzywizny.
- Dla każdego punktu powierzchni (dla różnych przekrojów) można znaleźć największy promień krzywizny (R_1) i najmniejszy promień krzywizny (R_2).
- Krzywizna Gaussa (KG) może być obliczona zgodnie z równaniem:

$$KG = \sqrt{R_1 + R_2} \quad (1)$$

Należy dodać, że krzywiznę powierzchni można podzielić ze względu na znak. Rozróżnia się krzywiznę dodatnią charakteryzującą się kształtem powierzchni zbliżonym do „miski” oraz ujemną o kształcie powierzchni zbliżonym do „siodła”. Krzywizna jest dodatnia, jeśli łuki R_1 i R_2 mają środki po tej samej stronie analizowanej powierzchni, natomiast jeżeli ten warunek nie jest spełniony, ujemna. Identyfikację krzywizny ze względu na znak zaprezentowano na rysunku 2.3.12.



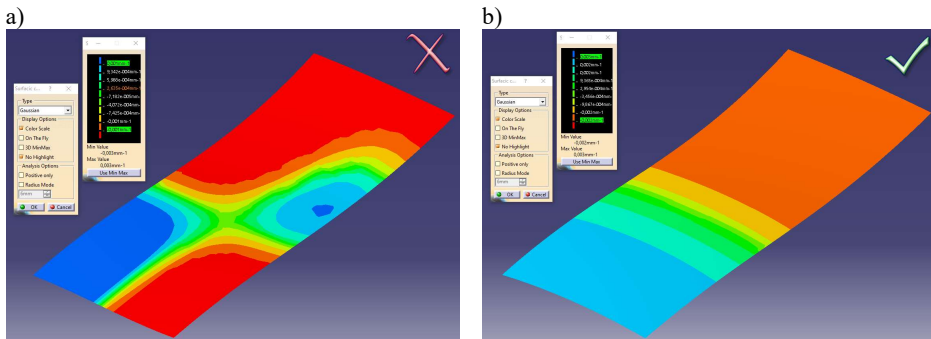
Rys. 2.3.12. Podział krzywizny powierzchni ze względu na znak: a) dodatnia, b) ujemna

Podstawowym narzędziem pozwalającym na analizę krzywizny powierzchni w systemie *Catia V5* jest *Surfacic Curvature Analysis* . Za pomocą tego polecenia możemy przeprowadzić ocenę charakteru powierzchni na kilka sposobów:

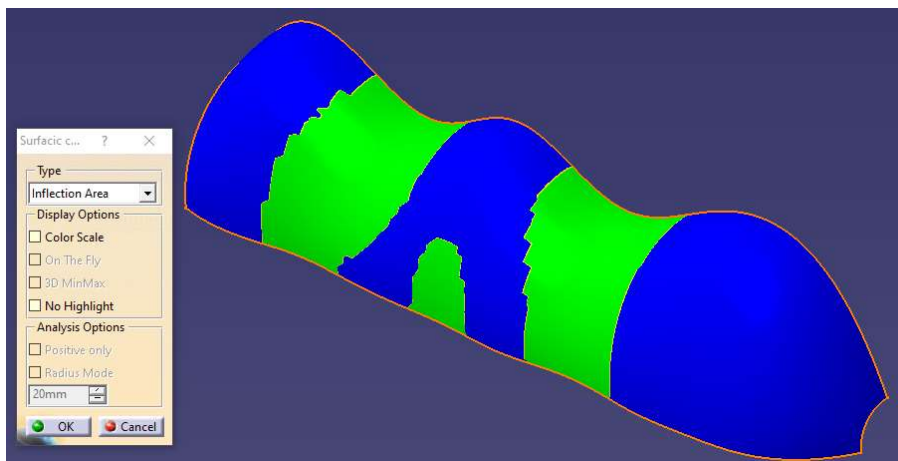
- *Gaussian* – otrzymując wspomniany wcześniej rozkład Gaussa,
- *Minimum* – minimalne załamania powierzchni,
- *Maximum* – maksymalne załamania powierzchni,

- *Limited* – krzywiznę zawartą we wskazanym zakresie,
- *Inflection Area* – uproszczoną mapę wskazującą dodatni i ujemny charakter powierzchni.

Narzędzie *Surfacic Curvature Analysis* przedstawia krzywiznę bezwymiarowo, jako charakter zmian geometrii całej powierzchni. Należy dodać, że poprawnie wykonana powierzchnia nie posiada lokalnych obszarów, w których zachodzi zmiana znaku krzywizny – rysunek. 2.3.13.



Rys. 2.3.13. Przykład wykorzystania rozkładu krzywizny *Gaussian*




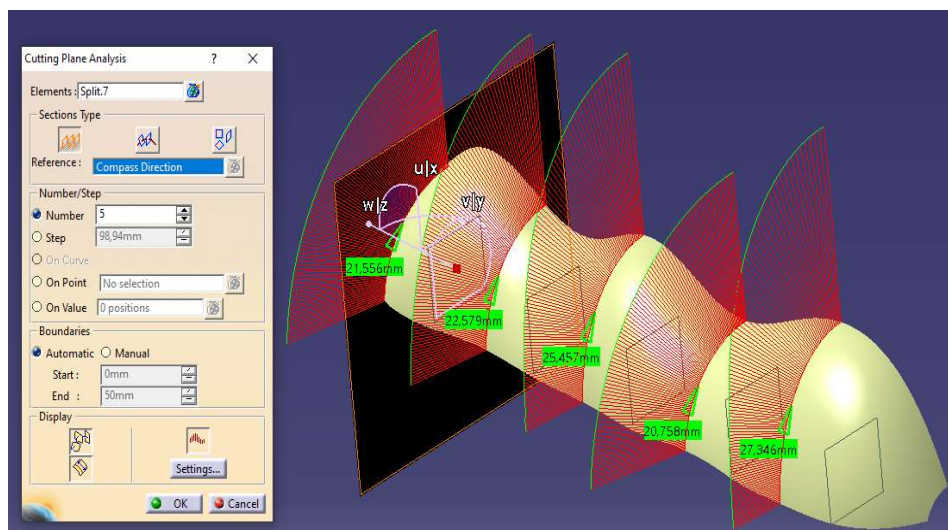
Rys. 2.3.14. Przykład wykorzystania rozkładu krzywizny *Inflection Area*: krzywizna dodatnia – kolor niebieski, krzywizna ujemna - kolor zielony

Nagłe zmiany znaku krzywizny uznawane są za wady powierzchni. W rzeczywistości to lokalne wgłębienia lub wybrzuszenia, które są niedopuszczalne na przykład podczas projektowania karoserii. W takim

przypadku ważne jest, by tego typu defekty zostały zidentyfikowane na etapie projektowania powierzchni. Na rysunku 2.3.14 zaprezentowano mapę zmiany znaku krzywizny naprawionej powierzchni.


Istnieją przypadki, w których konieczna jest wnikliwa analiza charakteru krzywizny powierzchni. W takich sytuacjach pomocnym narzędziem jest

Cutting Planes Analysis , które znajduje się w module *FreeStyle*. Za pomocą tego polecenia możliwa jest szczegółowa ocena zmian przebiegu krzywizny powierzchni. Analiza powierzchni sprowadza się do oceny krzywych powstałych w wyniku wykonania szeregu przekrojów tnących definiowanych przez konstruktora. Rysunek 2.3.15 przedstawia analizę charakteru krzywizny w wybranych przekrojach powierzchni.

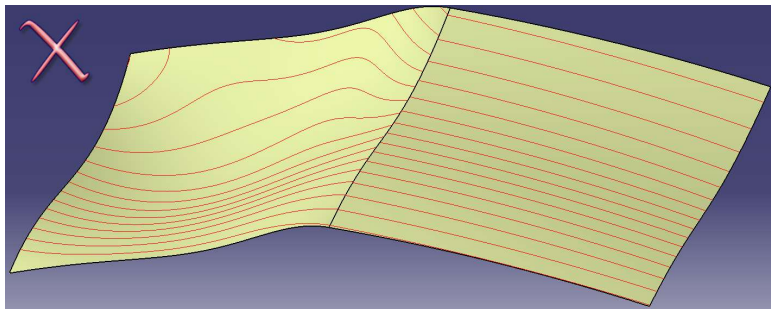


Rys. 2.3.15. Analiza powierzchni otrzymana przy wykorzystaniu polecenia *Cutting Planes*

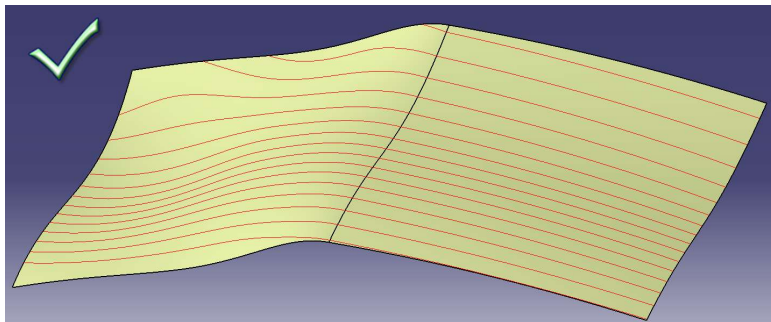
Moduł *FreeStyle* oferuje jeszcze jedną grupę narzędzi służących do analizy jakości powierzchni. Są to narzędzia do oceny estetycznej modeli powierzchniowych, które ze względu na swoje walory wizualne powinny spełniać

kryterium ciągłości G2. Do tej grupy zalicza się narzędzie *Reflection Lines* , wykorzystujące odbicia refleksów świetlnych na analizowanej powierzchni. Odbywa się to poprzez rzutowanie liniowej siatki pozycjonowanej za pomocą kompasu na krzywiznę powierzchni. Identyfikacja ciągłości powierzchni polega na wizualnej ocenie liniowych refleksów. Warunkiem spełnienia kryterium typu G2 jest zachowanie ciągłości refleksów na analizowanych powierzchniach. Rysunek 2.3.16 przedstawia ocenę estetyczną krzywizny dwóch powierzchni.

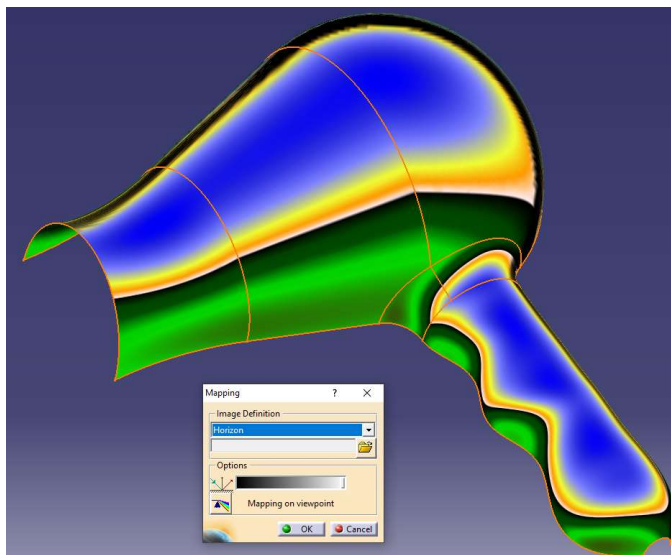
a)




b)



Rys. 2.3.16. Ocena wizualna powierzchni otrzymana przy wykorzystaniu polecenia *Reflection Lines*: a) ciągłość typu G1, b) ciągłość typu G2




Rys. 2.3.17. Analiza estetyczna powierzchni otrzymana przy wykorzystaniu polecenia *Environment Mapping*

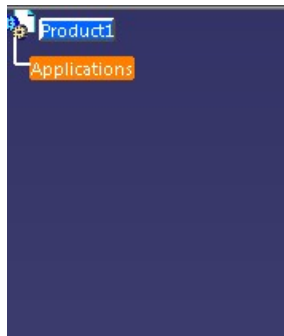
Ostatnim omawianym narzędziem służącym do oceny estetycznej modelu powierzchniowego jest *Environment Mapping* . Ocena wizualna krzywizny powierzchni odbywa się na modelu ze zdefiniowanym materiałem, od którego odbijany jest wybrany obraz płaski. W efekcie taką powierzchnię można w sposób wizualny ocenić pod kątem jakości i zlokalizować jej obszary newralgiczne. Na rysunku 2.3.17 przedstawiono przykład zastosowanie narzędzia *Environment Mapping* do oceny wizualnej modelu z nadanym materiałem.

W podsumowaniu należy stwierdzić, że modelowanie powierzchniowe wymaga od konstruktora zaawansowanego przygotowania merytorycznego, jak również umiejętności praktycznych. Jakość wykonywanych powierzchni wiąże się ściśle z ich przeznaczeniem, zatem przed przystąpieniem do procesu modelowania należy jasno określić, jakiego typu ciągłości są wymagane. Takie podejście umożliwi uproszczenie modelu powierzchniowego, a tym samym przyspieszy proces modelowania. Większość defektów ciągłości powierzchni można przy zastosowaniu odpowiednich narzędzi zidentyfikować na etapie projektowania. Należy jednak pamiętać, że wielokrotnie poprawiany model powierzchniowy komplikuje się i może to wpływać negatywnie na jego jakość.

W kolejnych rozdziałach szczegółowo omówiony zostanie proces modelowania powierzchniowego w systemie *Catia V5* na praktycznych przykładach. Początkowo zostanie przedstawiona paleta narzędziowa modułu *Generative Shape Design*, następnie podstawowe funkcje, które umożliwiają proces projektowania prostych modeli powierzchniowych.

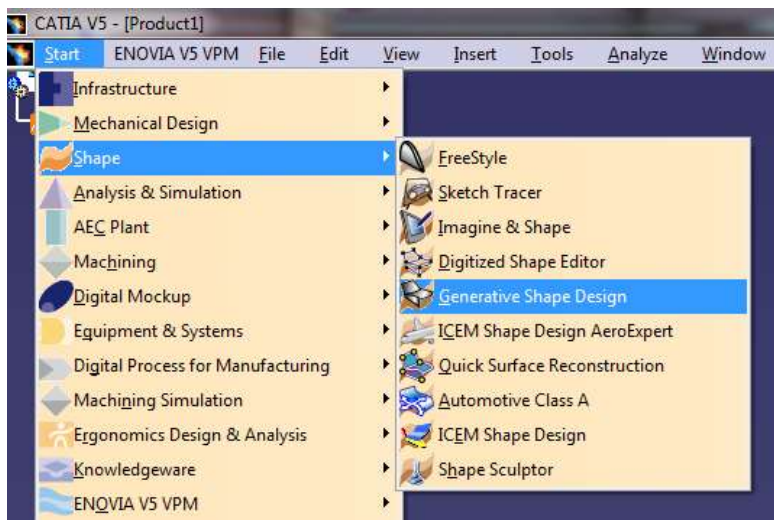
3 WPROWADZENIE DO MODUŁU GENERATIVE SHAPE DESIGN

Proces projektowania rozpoczynamy od uruchomienia systemu *Catia V5* . Następnie wybieramy moduł służący do opracowywania modeli powierzchniowych. Na wstępie wskazujemy pasek *Application* z drzewa w ekranie głównym – rysunek 3.1.



Rys. 3.1. Drzewo ekranu głównego programu

W następnym kroku z górnego menu systemu *Cata V5* wybieramy *Start/Shape/Generative Shape Design* – rysunek 3.2

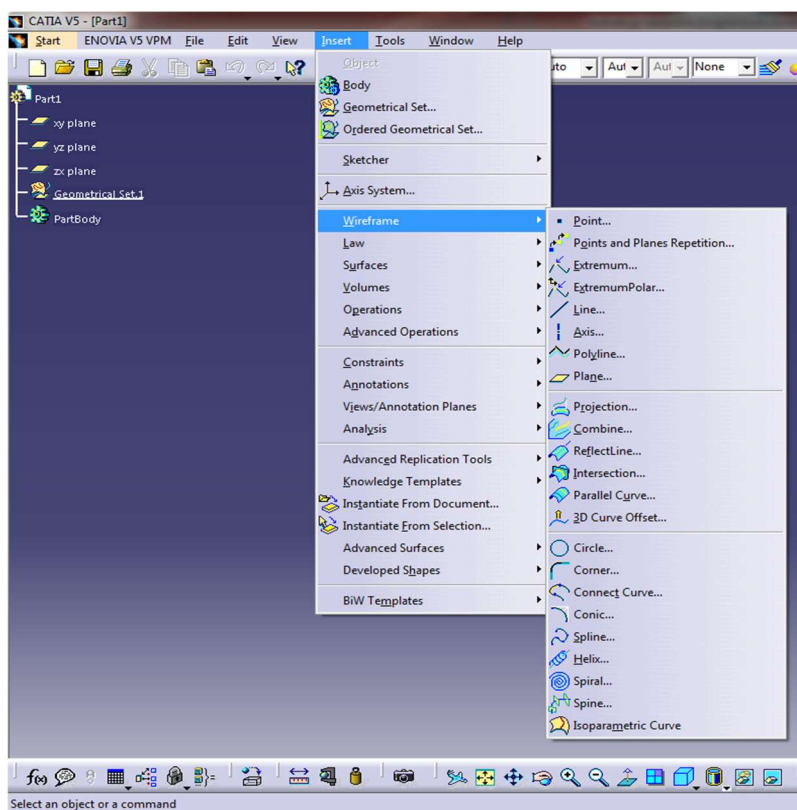


Rys. 3.2. Menu *Start* programu

Program przechodzi do modułu modelowania powierzchniowego. Moduł *Generative Shape Design* jest jednym z modułów o największej liczbie narzędzi. W poniższym podrozdziale przedstawiony zostanie wykaz narzędzi modułu *GSD*.

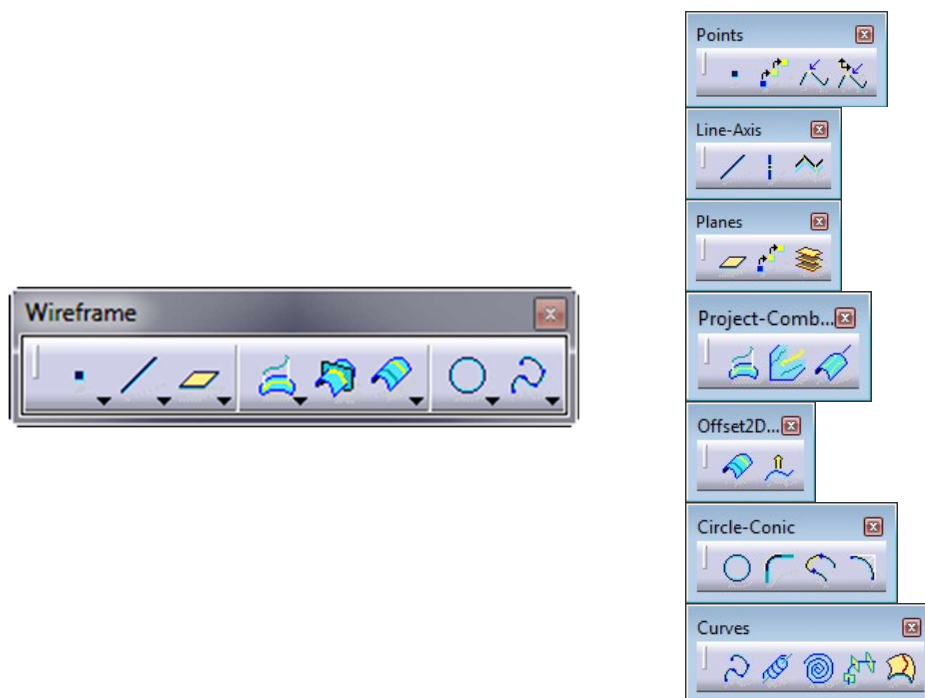
3.1 Paleta narzędziowa *Wireframe* w module *Generative Shape Design*

Poniżej opisana zostanie belka narzędziowa *Wireframe*, którą wybieramy poprzez polecenie *Insert/Wireframe* – rysunek 3.1.1.












Rys. 3.1.1. Grupa narzędzi *Wireframe*














Paleta narzędziowa *Wireframe* z wyszczególnionymi jej wszystkimi funkcjami przedstawiono na rysunku 3.1.2



Rys. 3.1.2. Prezentacja narzędzi *Wireframe*

Wybór odpowiedniej zakładki umożliwia:

-  *Points* – tworzenie punktu,
-  *Multiple Points* – tworzenie punktów wielokrotnych,
-  *Extremum Elements* – znajdowanie punktów ekstremum w układzie współrzędnych prostokątnych,
-  *Polar Extremum Elements* – znajdowanie punktów ekstremum w układzie współrzędnych biegunowych,
-  *Lines* – tworzenie linii,
-  *Axis* – tworzenie osi,
-  *Polyline* – tworzenie polilinii,
-  *Planes* – tworzenie płaszczyzny,
-  *Projections* – tworzenie rzutu,

	<i>Combined Curves</i> –	tworzenie krzywych z kombinacji jej rzutów,
	<i>Reflect Lines</i> –	tworzenie krzywej na powierzchni, dla której wartość kąta nachylenia normalnej w każdym punkcie krzywej jest równa wartości kąta od zadanego kierunku,
	<i>Intersection</i> –	tworzenie przekroju,
	<i>Parallel Curve</i> –	tworzenie łuku (krzywej) równoległej,
	<i>3D Curve Offset</i> –	tworzenie linii przestrzennej przez odsunięcie,
	<i>Circle</i> –	tworzenie okręgu,
	<i>Corner</i> –	tworzenie naroży,
	<i>Connect Curve</i> –	tworzenie krzywych łączących,
	<i>Conic Curve</i> –	tworzenie krzywych stożkowych,
	<i>Spline</i> –	tworzenie krzywych (typu <i>Splain</i>),
	<i>Spiral</i> –	tworzenie spirali,
	<i>Helix</i> –	tworzenie krzywej śrubowej,
	<i>Spine</i> –	tworzenie krzywej normalnej do zadanych płaszczyzn lub krzywych płaskich.

3.2 Paleta narzędziowa *Law*

Belka narzędziowa *Law* służy do definiowania reguł oraz praw. Wywołać ją można poprzez wybór: *Insert/Law* – rysunek 3.2.1.



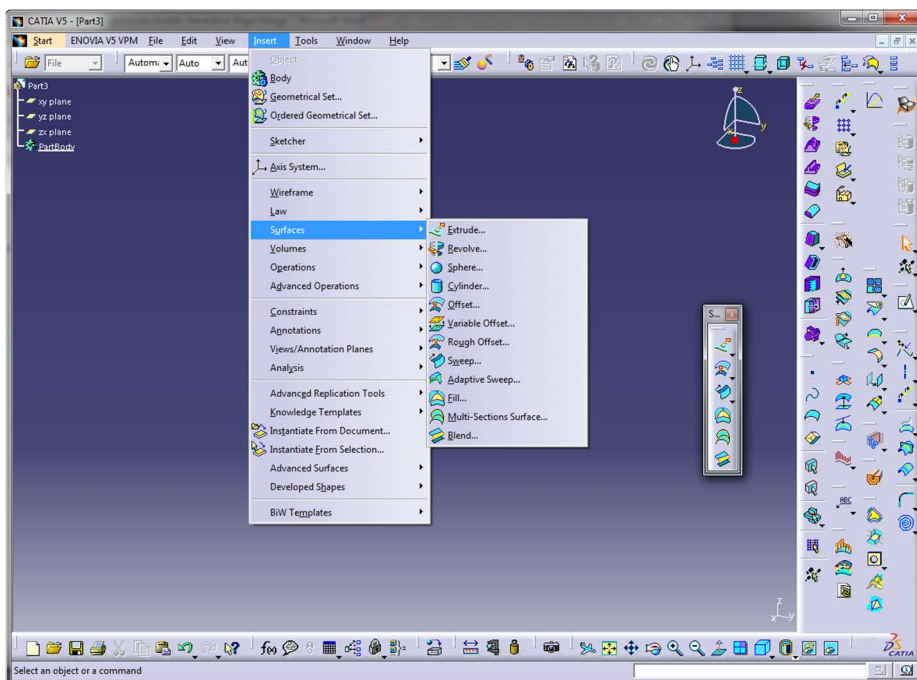
Rys. 3.2.1. Narzędzie *Law*

Belka narzędziowa posiada następującą funkcję:

	<i>Creating Laws</i> –	tworzenie reguł, praw.
---	------------------------	------------------------

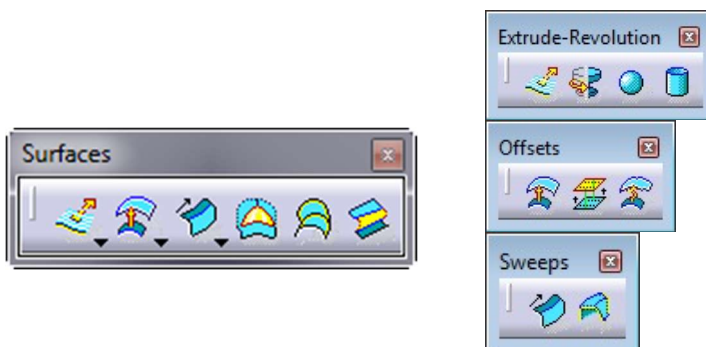
3.3 Paleta narzędziowa *Surfaces*

Paleta *Surfaces* zawiera główne funkcje modułu GSD służące do tworzenia powierzchni. Wywołujemy ją poprzez wybór *Insert/Surfaces* – rysunek 3.3.1.













Rys. 3.3.1. Grupa narzędzi *Surfaces*

Belka narzędziowa *Surfaces* po rozwinięciu wszystkich funkcji zaprezentowana została na rysunku 3.3.1.



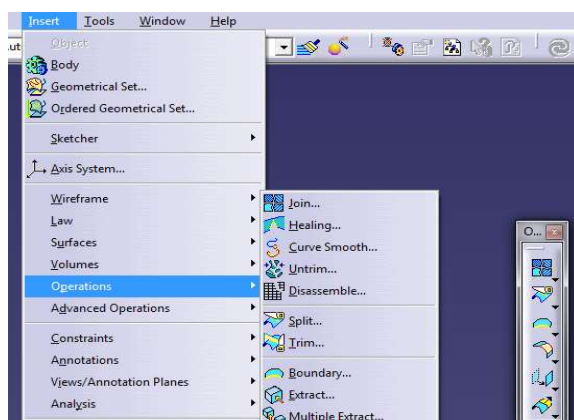
Rys. 3.3.2. Prezentacja narzędzi *Surfaces*

Poszczególne funkcje belki *Surfaces* umożliwiają:

	<i>Extruded Surface</i> –	tworzenie powierzchni z profilu poprzez wyciągnięcie,
	<i>Revolution Surface</i> –	tworzenie powierzchni z profilu poprzez obrót,
	<i>Spherical Surface</i> –	tworzenie powierzchni sferycznej,
	<i>Cylindrical Surface</i> –	tworzenie powierzchni cylindrycznych,
	<i>Offset Surface</i> –	tworzenie powierzchni odsuniętej,
	<i>Swept Surfaces</i> –	tworzenie powierzchni poprzez złożone wyciągnięcie (rozpinanie),
	<i>Adaptive Swept Surfaces</i> –	tworzenie powierzchni dopasowanej poprzez złożone wyciągnięcie (rozpinanie),
	<i>Fill Surfaces</i> –	tworzenie wypełnień między płaszczyznami,
	<i>Multi-section Surfaces</i> –	tworzenie powierzchni poprzez rozpinanie na profilach,
	<i>Blend Surfaces</i> –	tworzenie powierzchni wpasowanej.

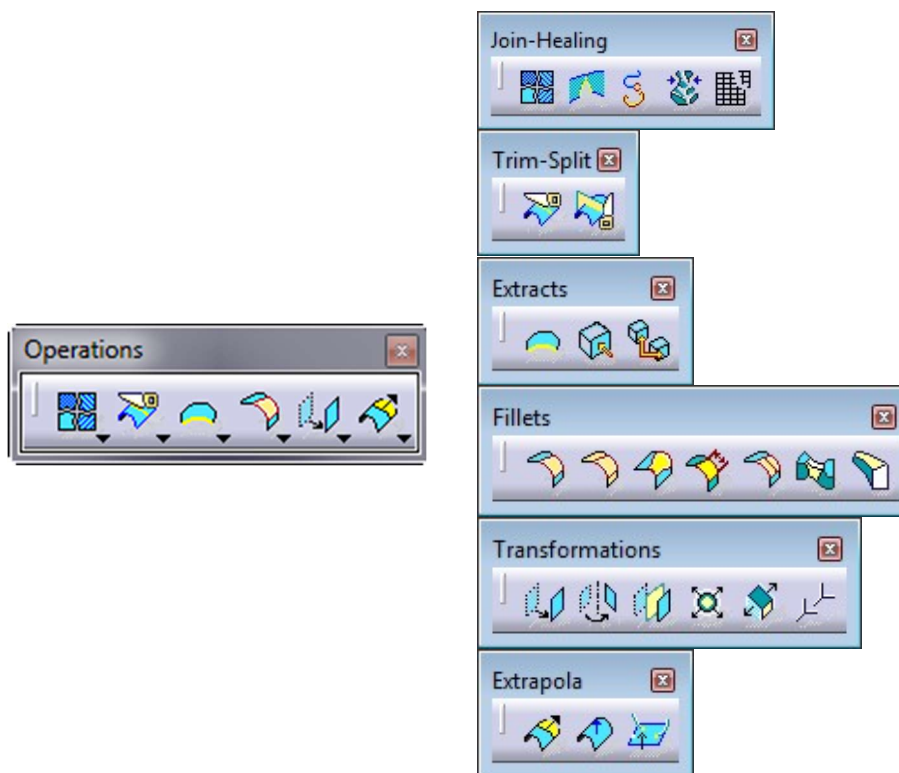
3.4 Paleta narzędziowa *Operations*

W celu wywołania palety narzędzi *Operations* z zakładki *Insert* wybieramy pasek *Operations* – rysunek 3.4.1.









Rys. 3.4.1. Grupa narzędzi *Surfaces*

Belka *Operations* jest bardzo rozbudowanym modułem. Zbiór poleceń zawartych w zakresie palety *Operations* prezentuje rysunek 3.4.2.



Rys. 3.4.2. Prezentacja narzędzi *Operations*

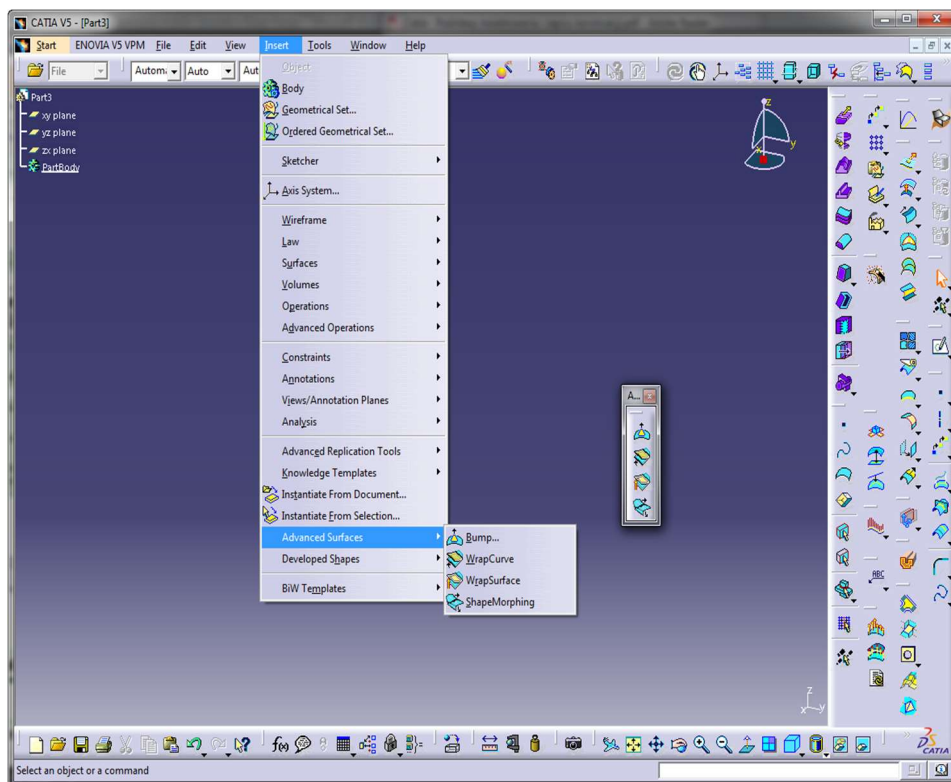
Narzędzia belki *Operations* umożliwiają wykonanie następujących poleceń:

- | | | |
|---|--------------------------------------|--|
|  | <i>Joining Curves and Surfaces</i> – | łączenie krzywych i powierzchni, |
|  | <i>Healing Geometry</i> – | „zgrzewanie” powierzchni, likwidowanie nieciągłości, |
|  | <i>Smoothing Curves</i> – | wygładzanie krzywych, |
|  | <i>Restoring a Surface</i> – | naprawianie powierzchni, |
|  | <i>Disassembling Elements</i> – | rozbicie elementu na poszczególne składowe, |
|  | <i>Splitting Geometry</i> – | rozdzielanie powierzchni elementami tnącymi, |

	<i>Trimming Geometry –</i>	przycinanie powierzchni elementami tnącymi,
	<i>Creating Boundary Curves –</i>	tworzenie krzywych granicznych,
	<i>Extracting Geometry –</i>	pozyskiwanie kształtu z elementu,
	<i>Extracting Multiple Edges –</i>	pozyskiwanie części geometrii ze szkicu,
	<i>Shape Fillets –</i>	zaokrąglanie kształtu,
	<i>Edge Fillets –</i>	zaokrąglanie krawędzi,
	<i>Variable Radius Fillets –</i>	zaokrąglanie o zmiennym promieniu,
	<i>Face-Face Fillets –</i>	łączenie z zaokrąglaniem powierzchni,
	<i>Tritangent Fillets –</i>	zaokrąglanie stycznie do trzech powierzchni,
	<i>Translating Geometry –</i>	przesunięcie elementu, translacja,
	<i>Rotating Geometry –</i>	obracanie elementu, obrót,
	<i>Performing a Symmetry on Geometry –</i>	odbicie symetryczne kształtu,
	<i>Transforming Geometry by Scaling –</i>	modyfikacja przez skalowanie,
	<i>Transforming Geometry by Affinity –</i>	skalowanie kierunkowe,
	<i>Transforming Elements from an Axis to Another –</i>	transformacja przy zmianie osi,
	<i>Extrapolating Curves –</i>	ekstrapolacja krzywej,
	<i>Extrapolating Surfaces –</i>	ekstrapolacja powierzchni.

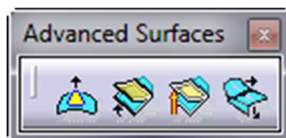
3.5 Paleta narzędziowa *Advanced Surfaces*

W celu wyświetlenia belki *Advanced Surfaces* po rozwinięciu zakładki *Insert* wybieramy pasek narzędziowy *Advanced Surfaces* – rysunek 3.5.1.



Rys. 3.5.1. Grupa narzędzi *Advanced Surfaces*

Wygląd kompletnej palety narzędziowej *Advanced Surfaces* zaprezentowano na rysunku 3.5.2.



Rys. 3.5.2. Prezentacja belki narzędziowej *Advanced Surfaces*

Jej poszczególne funkcje pozwalają na wykonanie następujących zadań w procesie modelowania powierzchniowego:



Bumped Surfaces –

tworzenie powierzchni odkształconej,



Deforming Surfaces Based on Curve Wrapping –

deformacja powierzchni wg kształtu krzywych,



Deforming Surfaces According to Surface Wrapping –

deformacja elementu zgodnie z powierzchnią zadaną (nałożenie na wskazaną powierzchnię),



Deforming Surfaces According to Shape Morphing –


modyfikacja powierzchni zgodnie z kształtem zarysu docelowego.

W niniejszym rozdziale przedstawione zostały główne belki modułu *Generative Shape Design*. Dodatkowo w celu zaprezentowania możliwości modułu powierzchniowego *Catia V5* przedstawiono w sposób graficzny oraz opisano możliwości poszczególnych poleceń. W kolejnym rozdziale opisano metodykę wykonywania prostych powierzchni parametrycznych.

4 DEFINIOWANIE PROSTYCH POWIERZCHNI PARAMETRYCZNYCH

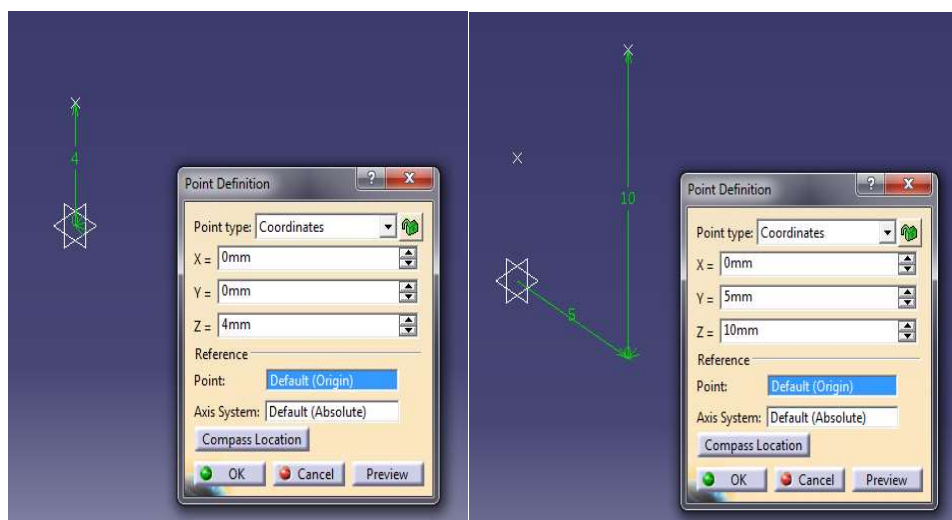
W niniejszym rozdziale zaprezentowano klasyczne narzędzia do wykonywania prostych elementów powierzchniowych. Polecenia będą omówione w sposób praktyczny. Ten rozdział składa się z szeregu elementarnych ćwiczeń, które mają na celu wprowadzenie w proces definiowania prostych powierzchni elementarnych.

4.1 Polecenie *Extrude*

Polecenie *Extrude*  służy do tworzenia powierzchni z profilu poprzez wyciągnięcie. Aby zdefiniować powierzchnię tego typu potrzebny jest element wyciągany, kierunek wyciągania oraz dwa wymiary *Limit1* oraz *Limit2*.

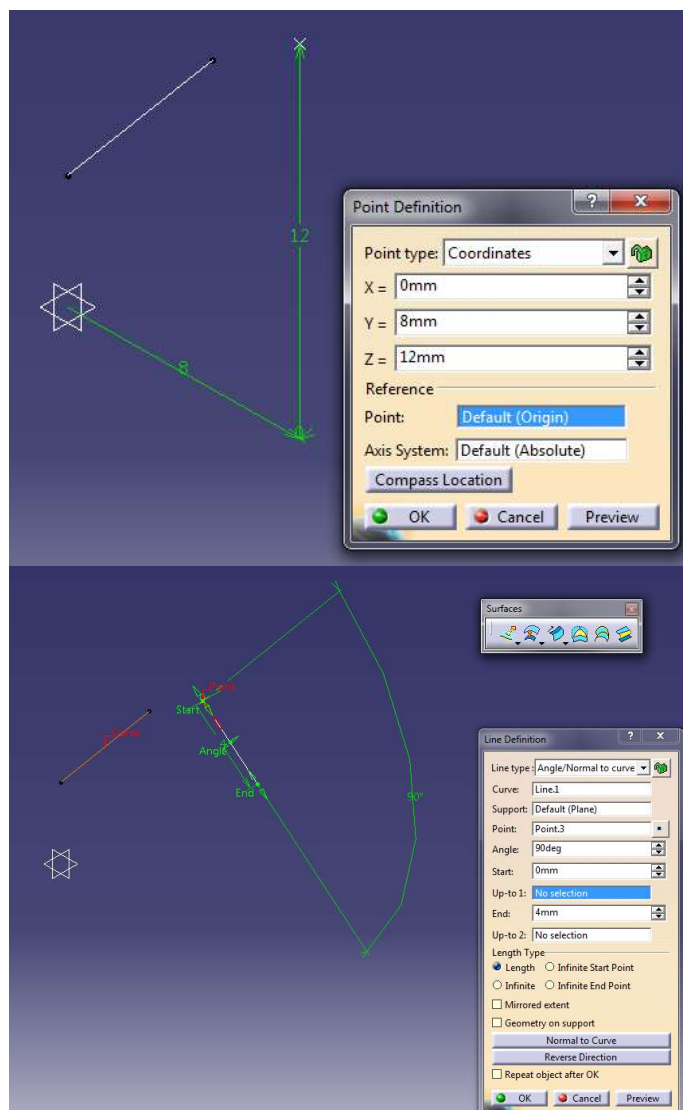
Ćwiczenie 1.1 Wyciąganie *Line.1* wzdłuż *Line.2*

Należy utworzyć dwie linie prostopadłe w przestrzeni. W pierwszym kroku *Line.1* o współrzędnych przedstawionych na rysunku 4.1.1.1.




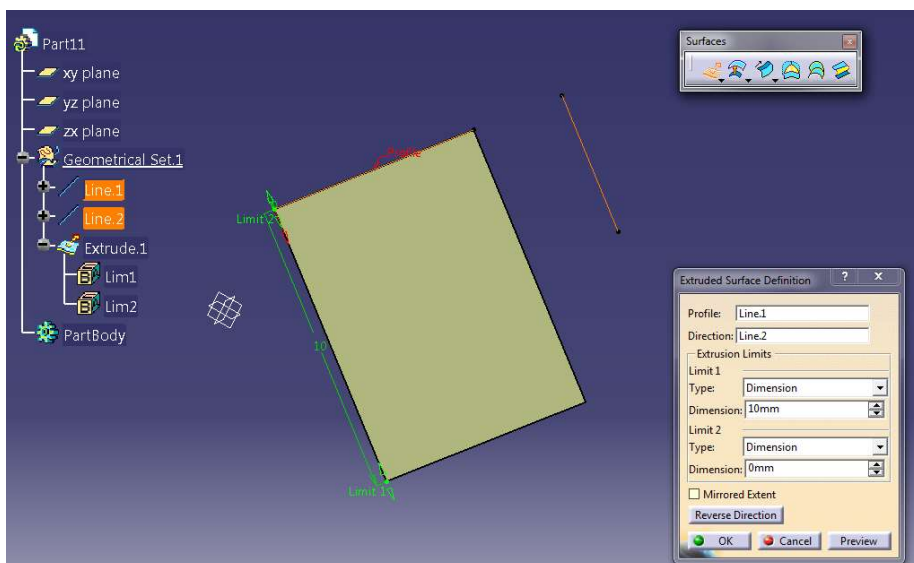
Rys. 4.1.1.1. Definiowanie współrzędnych punktów linii 1

Kolejno *Line.2* zdefiniowaną następującymi współrzędnymi – rysunek 4.1.1.2



Rys. 4.1.1.2. Definiowanie linii 2

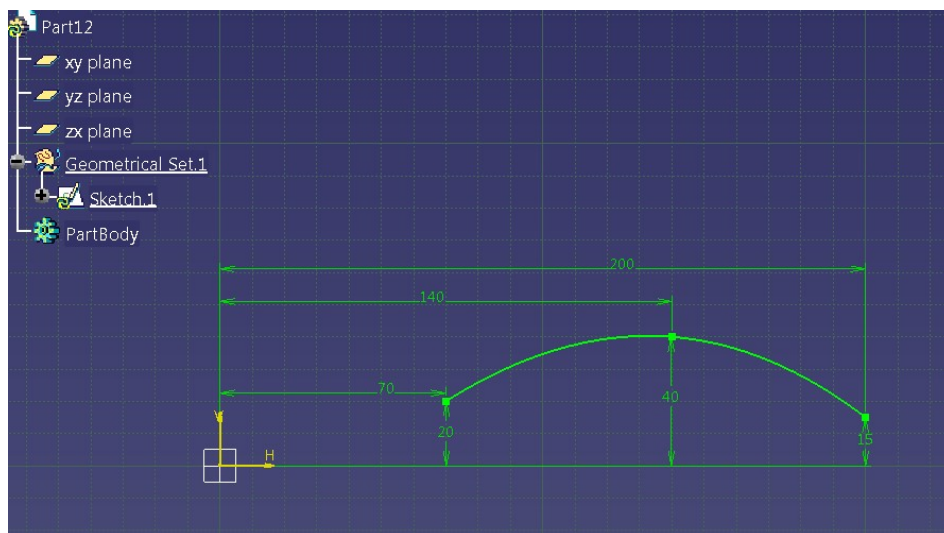
Następnie wyciągamy linię *Line.1* poleceniem *Extrude*  w kierunku określonym przez linię *Line.2*. Otrzymujemy powierzchnię płaską widoczną na rysunku 4.1.1.3.



Rys. 4.1.1.3. Wyciągnięcie linii 1 w kierunku linii 2

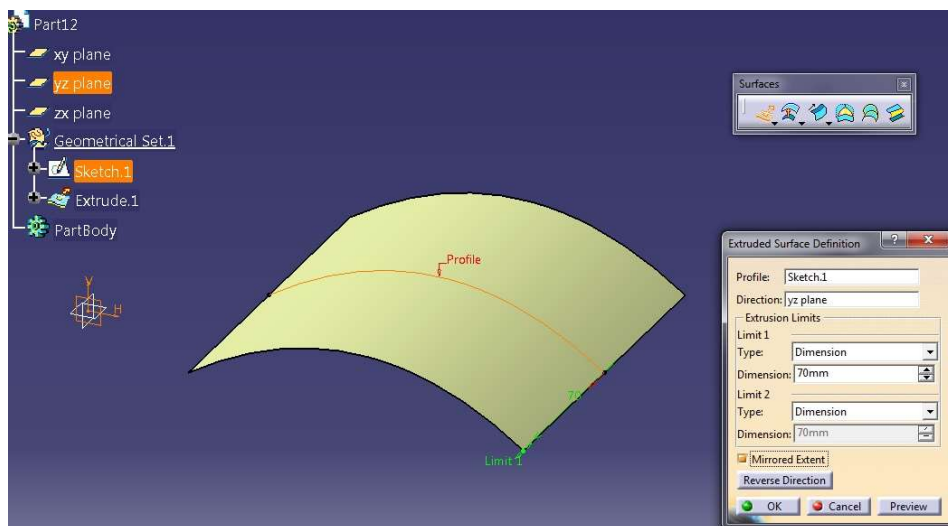
Ćwiczenie 1.2 Wyciąganie konturu wzdłuż płaszczyzny yz

Na płaszczyźnie yz rysujemy krzywą *Sketch.1* zgodnie z rysunkiem 4.1.2.1.



Rys. 4.1.2.1. Szkic 1 na płaszczyźnie yz

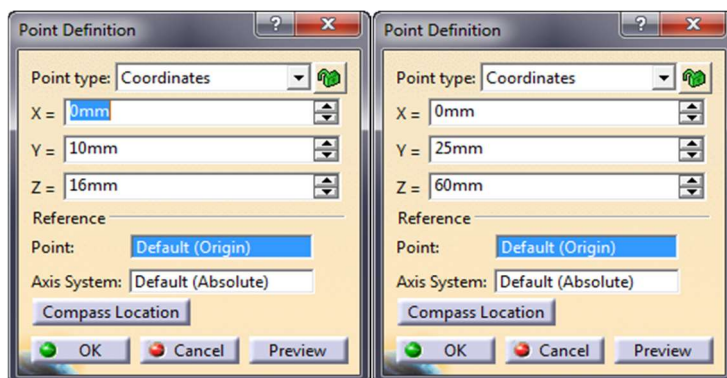
Przy wykorzystaniu polecenia *Extrude* wyciągamy szkic *Sketch.1* w kierunku określonym przez płaszczyznę *yz plane* poprzez wybranie funkcji *Mirrored Extent* (wyciągania w obu kierunkach), co przedstawia poniższy rysunek 4.1.2.2.



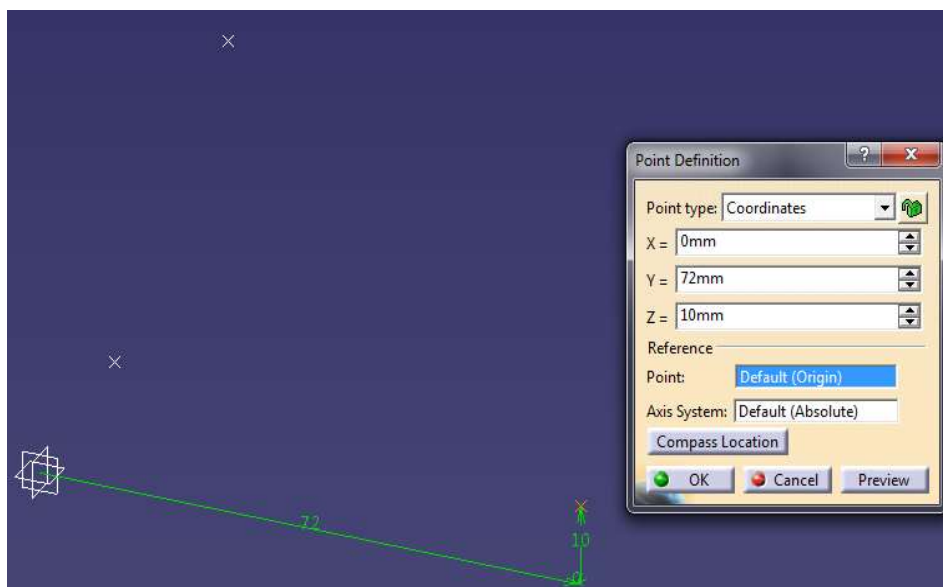
Rys. 4.1.2.2. Wyciągnięcia po przez wybór płaszczyzny

Ćwiczenie 1.3 Wyciąganie krzywej przestrzennej w kierunku osi x

Wyznaczamy trzy punkty o wskazanych współrzędnych – rysunek 4.1.3.1a, b.

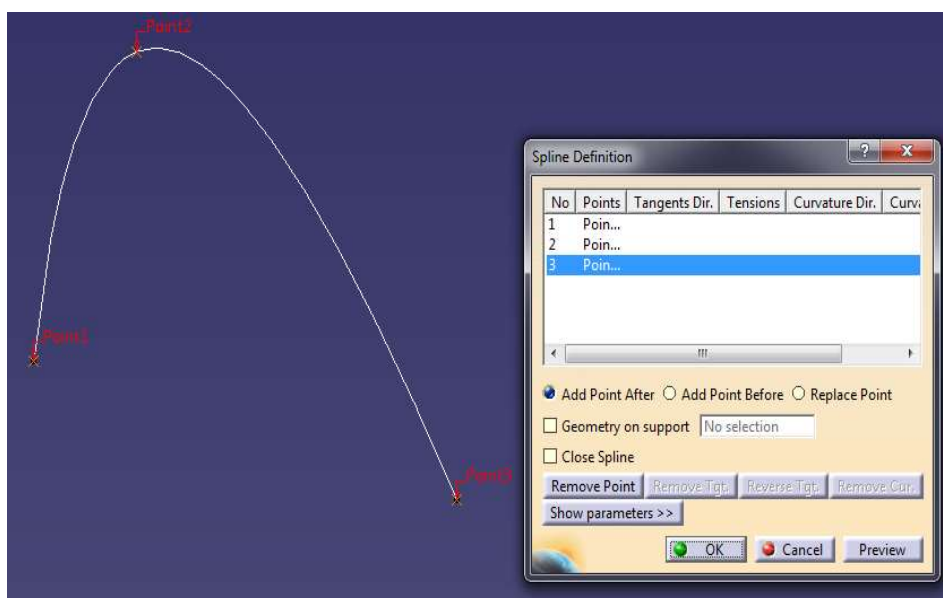


Rys. 4.1.3.1a. Współrzędne dwóch pierwszych punktów



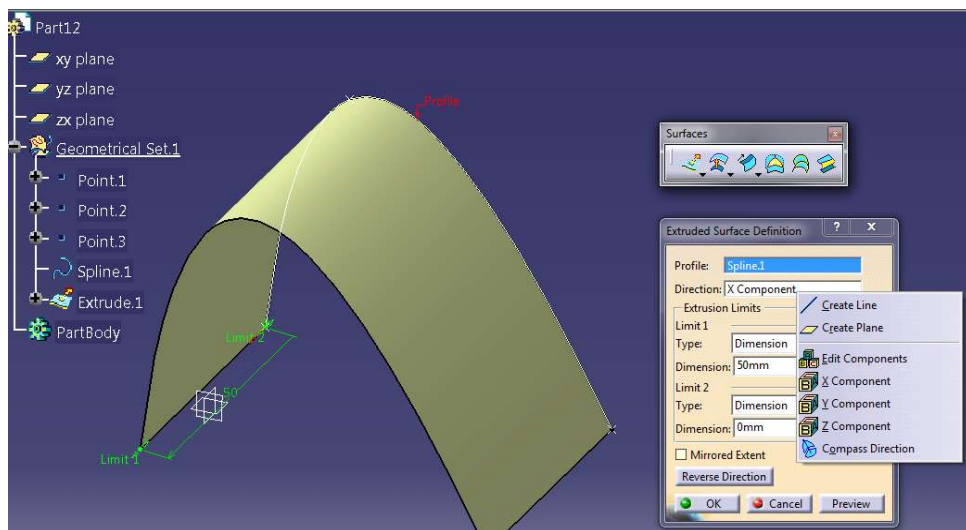
Rys. 4.1.3.1b. Współrzędne trzeciego punktu

Następnie łączymy te punkty poleceniem *Spline* zgodnie z rysunkiem 4.1.3.2.



Rys. 4.1.3.2. Definicja krzywej na podstawie trzech punktów przestrzennych

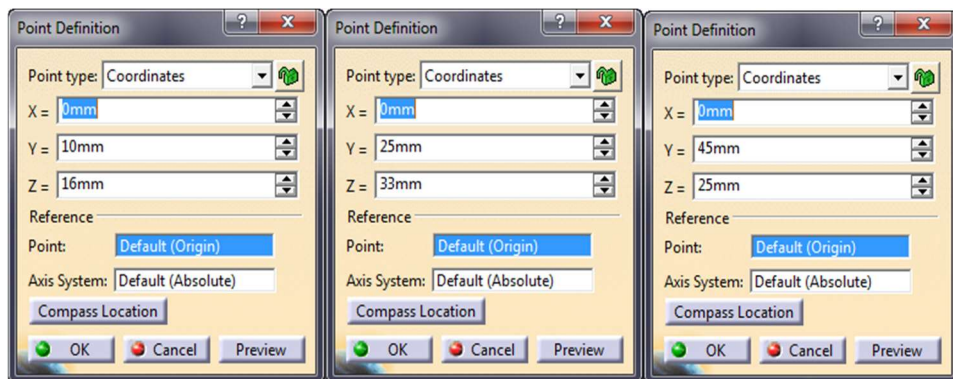
Po wybraniu funkcji *Extrude* wyciągamy krzywą przestrzenną *Spline.1* w kierunku osi *X*, uzyskując w efekcie powierzchnię przedstawioną na rysunku 4.1.3.3.



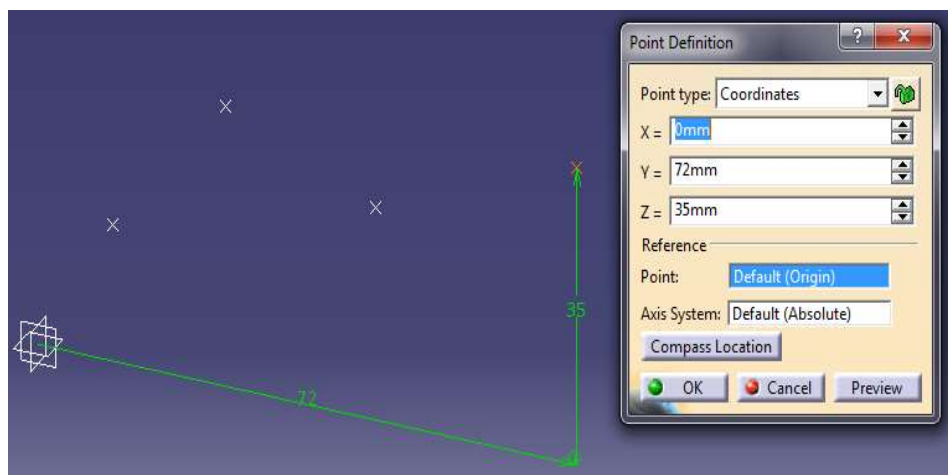
Rys. 4.1.3.3. Wyciągnięcie krzywej w kierunku osi *X*

Ćwiczenie 1.4 Wyciąganie krzywej przestrzennej wzdłuż linii

Na początku ćwiczenia wyznaczamy cztery punkty o współrzędnych przedstawionych na rysunku 4.1.4.1 oraz rysunku 4.1.4.2.

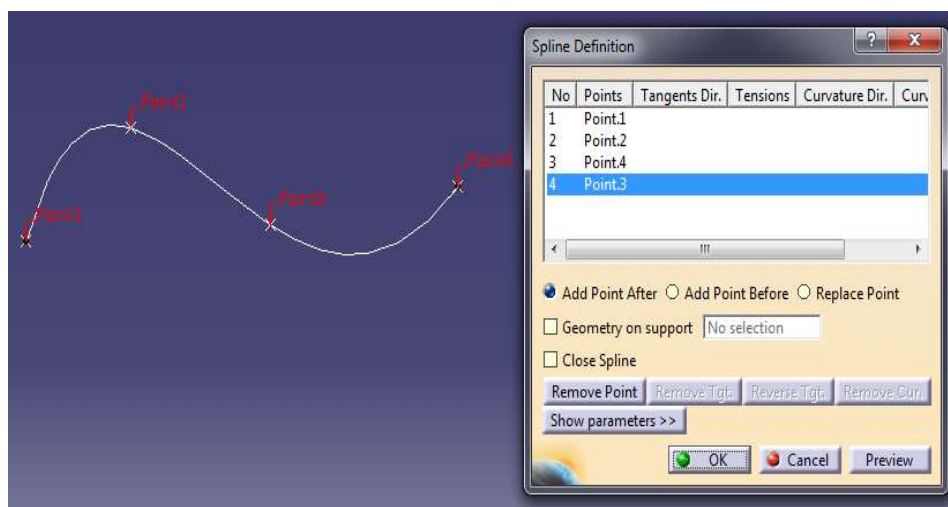


Rys. 4.1.4.1. Współrzędne trzech pierwszych punktów



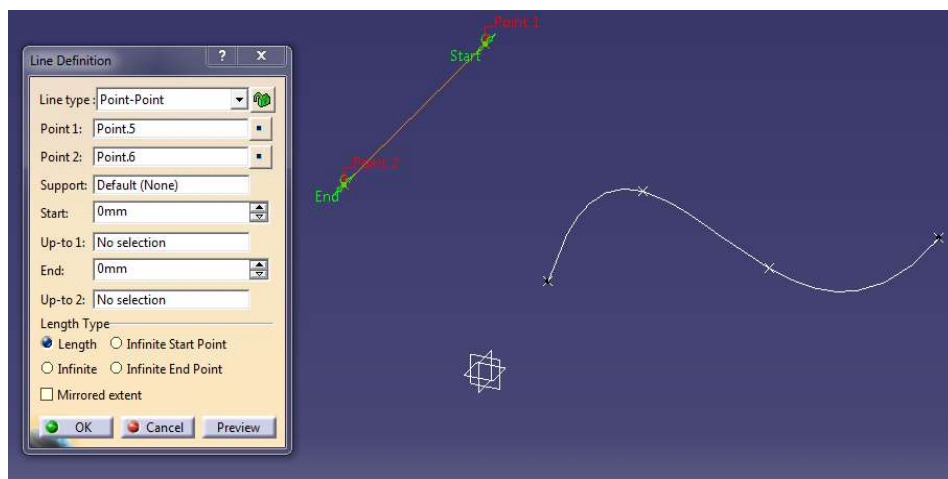
Rys. 4.1.4.2. Współrzędne czwartego punktu

Następnie łączymy te punkty przy wykorzystaniu polecenia *Spline* analogicznie jak w Ćwiczeniu 1.3. Wynik poprawnie wykonanego zadania zaprezentowano na rysunku 4.1.4.3.



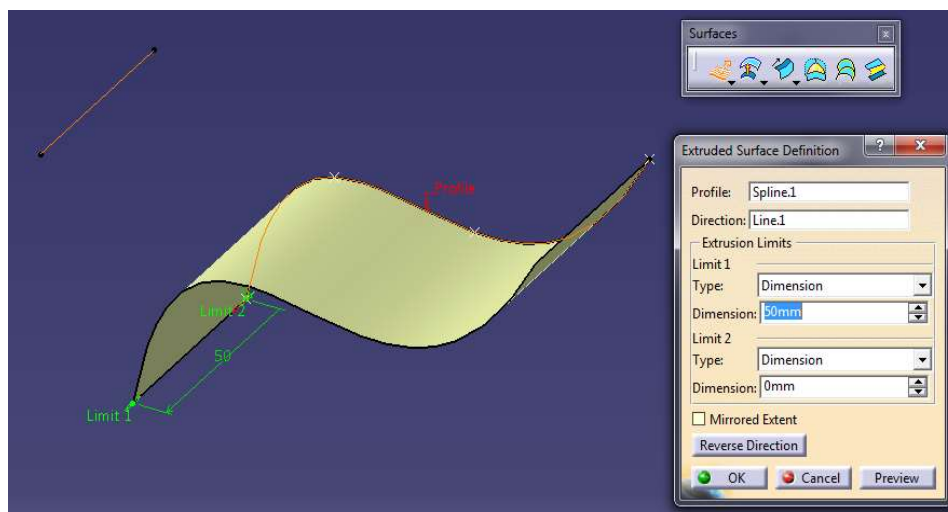
Rys. 4.1.4.3. Definicja krzywej na podstawie czterech punktów przestrzennych

Wyznaczone punkty łączymy linią typu *Point-Point*, w kierunku której będzie wyciągany profil. Jej kształt przedstawiono na rysunku 4.1.4.4.



Rys. 4.1.4.4. Definicja linii na podstawie dwóch punktów



Przy wykorzystaniu polecenia *Extrude* wyciągamy profil *Spline.1* wzdłuż linii *Line.1*. Powierzchnię powstałą poprzez wyciągnięcie *Extrude.1* prezentuje rysunek 4.1.4.5.



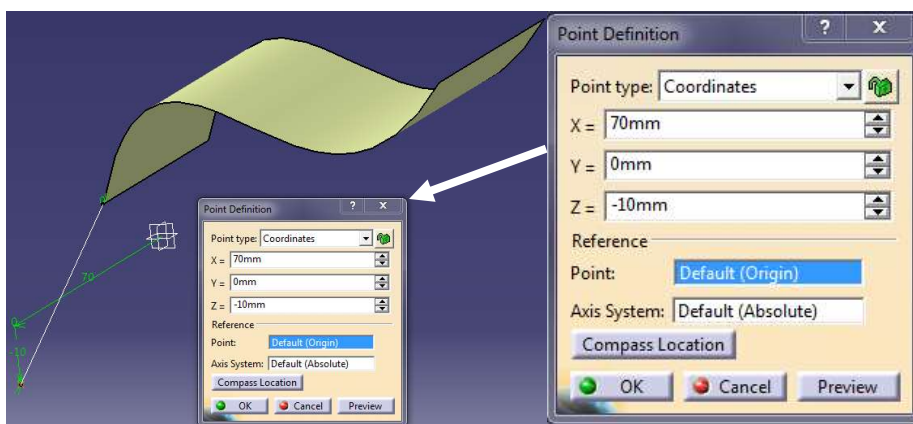
Rys. 4.1.4.5. Wyciągnięcie krzywej w kierunku linii 1

Nie zamykamy okna, ponieważ następne ćwiczenie będzie bazowało na opracowanej powierzchni.

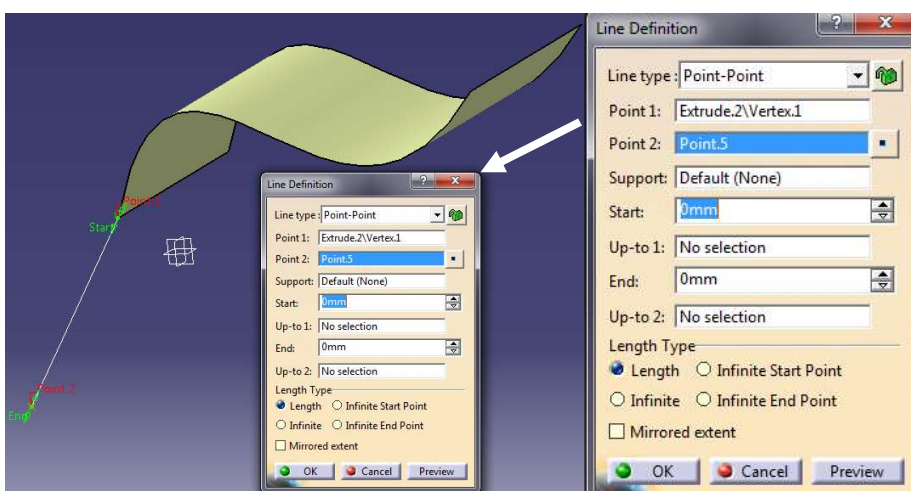
Ćwiczenie 1.4a Wyciąganie krawędzi powierzchni po linii

Wybieramy linię *Line.1* i klikając prawym klawiszem myszki ukrywamy ją poleceniem  **Hide/Show**. To samo zadanie wykonujemy w odniesieniu do punktów *Point.1–4* oraz profilu *Spline.1*. Następnie wybieramy polecenie *Insert/Geometrical Set...* i tworzymy nową .

W kolejnym kroku rysujemy linię *Line.1* poprzez zdefiniowanie punktu o poniższych współrzędnych, a następnie połączenia go z punktem leżącym w narożniku profilu (rys. 4.1.4.6 oraz rys. 4.1.4.7).

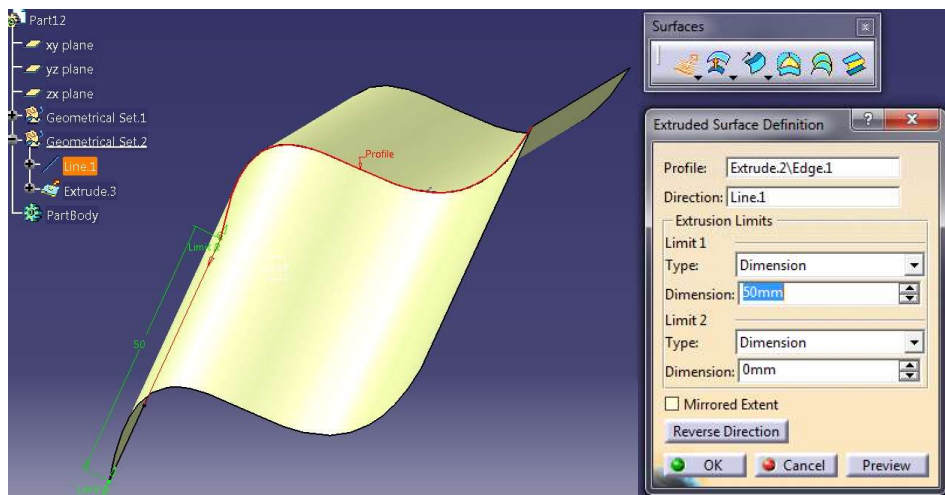


Rys. 4.1.4.6. Współrzędne punktu linii 1



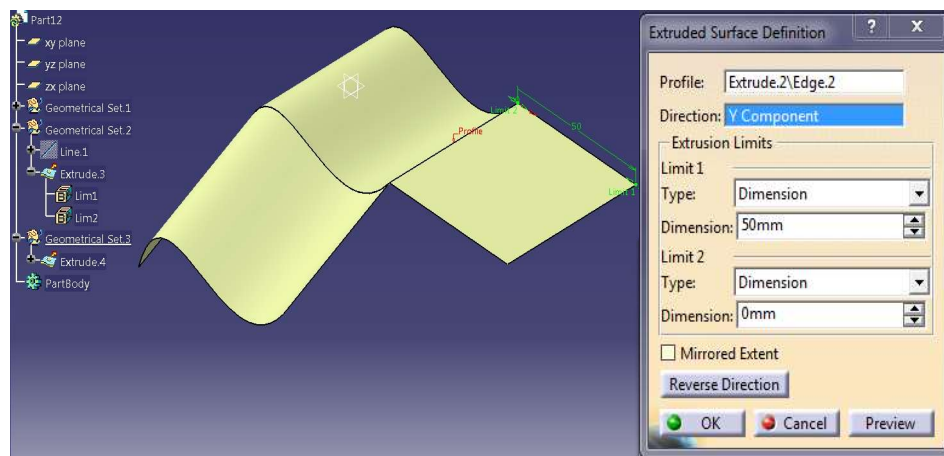
Rys. 4.1.4.7. Definicja linii 1

Po wybraniu polecenia *Extrude* wyciągamy krawędź profilu podobnie, jak wykonanego w Ćwiczeniu 1.4 wzdłuż zdefiniowanej linii *Line.1*. Uzyskany efekt przedstawia rysunek 4.1.4.8.



Rys. 4.1.4.8. Wyciągnięcie po linii 1

Po wybraniu linii *Line.1* ukrywamy ją wykorzystując polecenie *Hide/Show*. W tym ćwiczeniu wykonana zostanie jeszcze jedna powierzchnia. Tworzymy następny *Geometrical Set...*






Rys. 4.1.4.9. Wyciągnięcie istniejącej krawędzi w kierunku osi Y

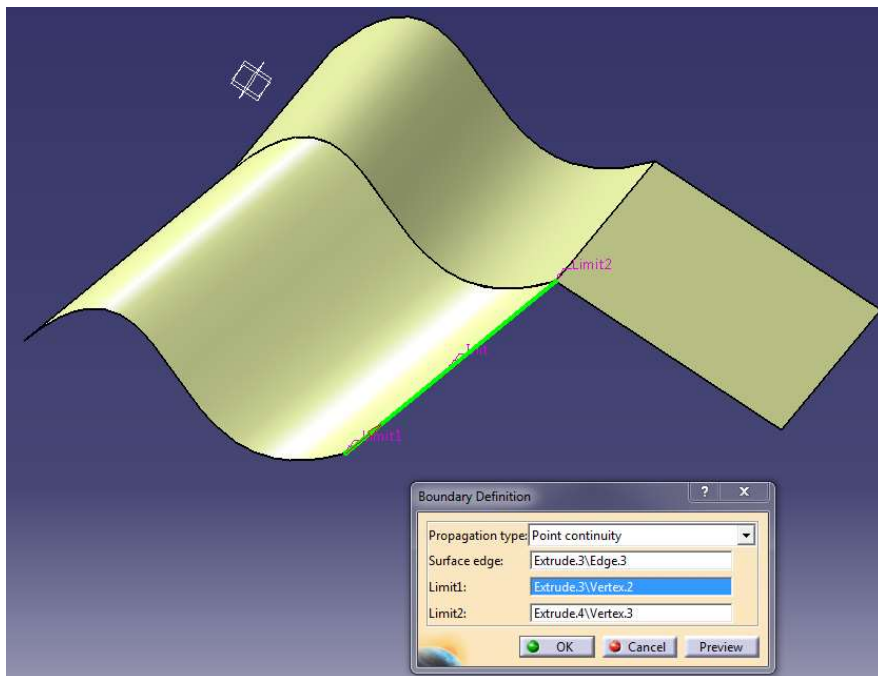
Wybieramy polecenie *Extrude*  i wyciągamy krawędź profilu wykonanego w Ćwiczeniu 1.4 wzdłuż osi *Y* na długości 50mm tak, jak na rysunku 4.1.4.9.

Przy niewyłączonym oknie przystępujemy do wykonania następnego ćwiczenia przy wykorzystaniu otrzymanej powierzchni.

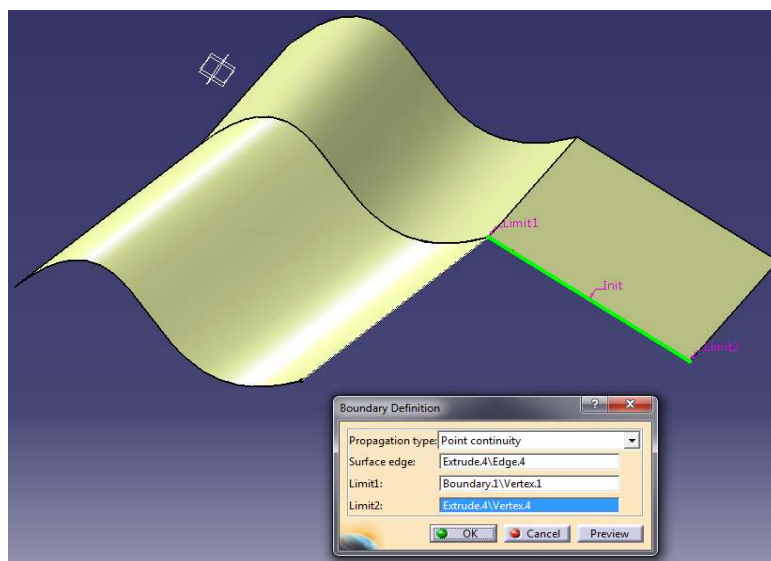
Ćwiczenie 1.4b Wyciąganie krawędzi powierzchni wzdłuż krawędzi innej powierzchni z wykorzystaniem polecenia *Boundary*

Polecenie *Boundary*  służy do tworzenia krzywych granicznych powierzchni. Zastosowanie jego podczas wyciągania krzywej przestrzennej gwarantuje zachowanie ciągłości typu G0.

Otwieramy nowy  *Geometrical Set...*, a następnie wybieramy polecenie *Insert/Operations/Boundary* . Tworzymy *Boundary.1* zaznaczając krawędź powierzchni i ograniczając ją *Limit.1* oraz *Limit.2* wybierając punkty w narożnikach, jak przedstawiono na rysunku 4.1.4.10, a następnie *Boundary.2* na drugiej powierzchni – rysunek 4.1.4.11.

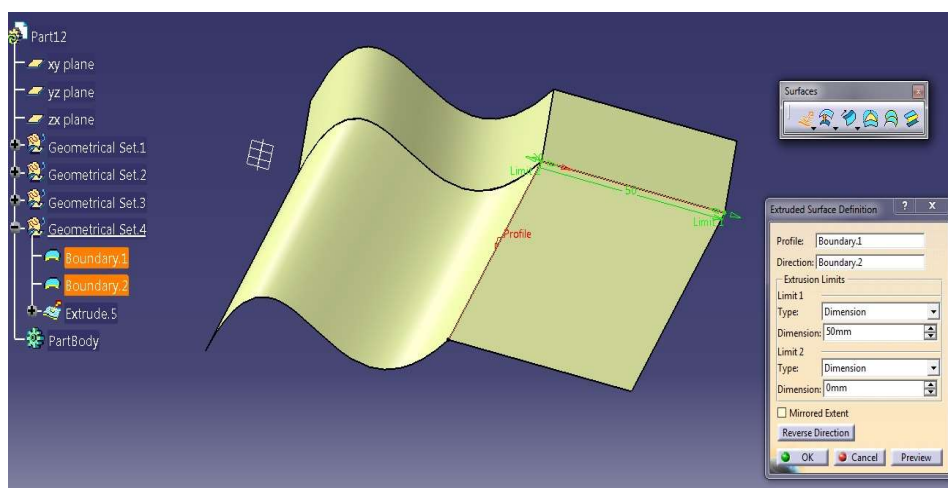


Rys. 4.1.4.10. Definiowanie linii granicznej 1




Rys. 4.1.4.11. Definiowanie linii granicznej 2

Przy wykorzystaniu polecenia *Extrude* wyciągamy płaszczyznę z utworzonej krzywej granicznej powierzchni *Boundary.1* w kierunku *Boundary.2*. Otrzymujemy nową płaszczyznę z zachowaniem ciągłości typu *G0*, co przedstawia rysunek 4.1.4.12.



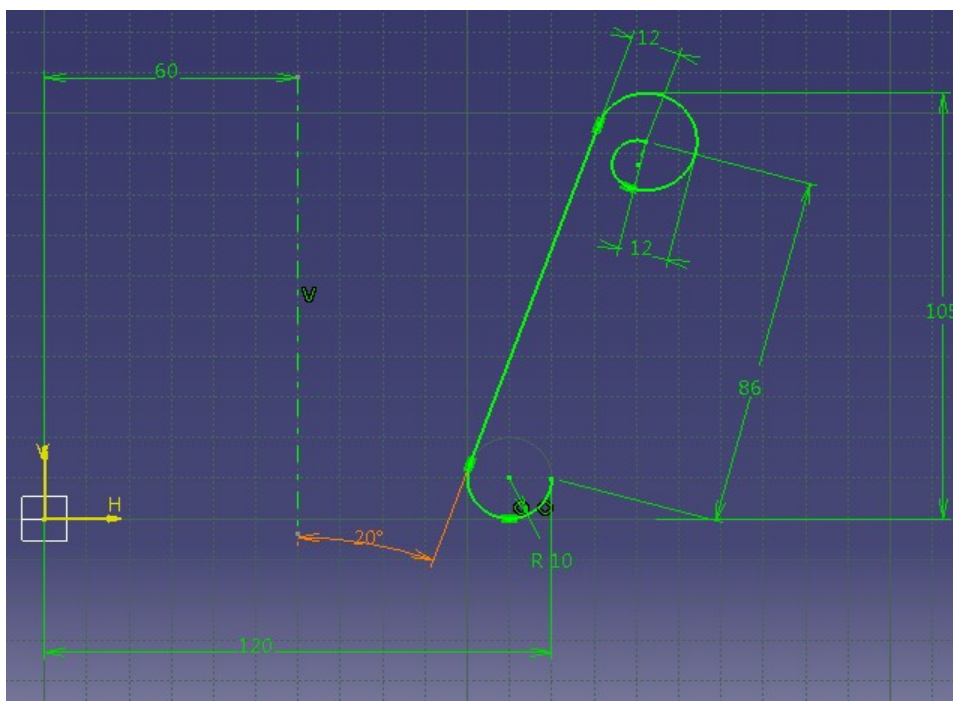
Rys. 4.1.4.12. Wyciągnięcie na podstawie 2 linii granicznych

4.2 Polecenie *Revolve*


Polecenie *Revolve*  służy do wykonania dowolnej powierzchni obrotowej. Do zdefiniowania tego polecenia potrzebne jest wskazanie elementu obracanego, osi, względem której będzie on obracany oraz wprowadzenie granicznych wartości kątów obrotu.

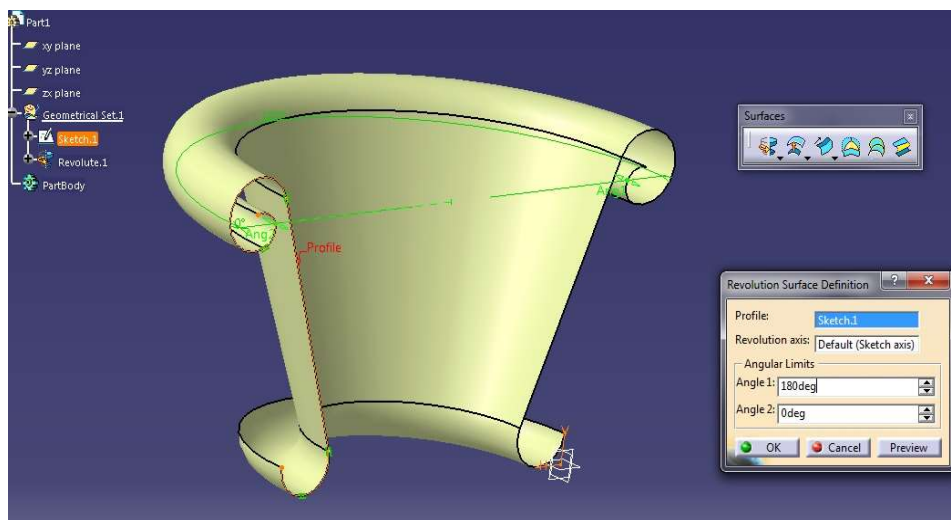
Ćwiczenie 2.1 Powierzchnia obrotowa opracowana na podstawie szkicu

Rysujemy *Sketch.1* oraz oś *Axis*, która posłuży następnie jako oś obrotu. Opracowany szkic prezentuje rysunek 4.2.1.1.



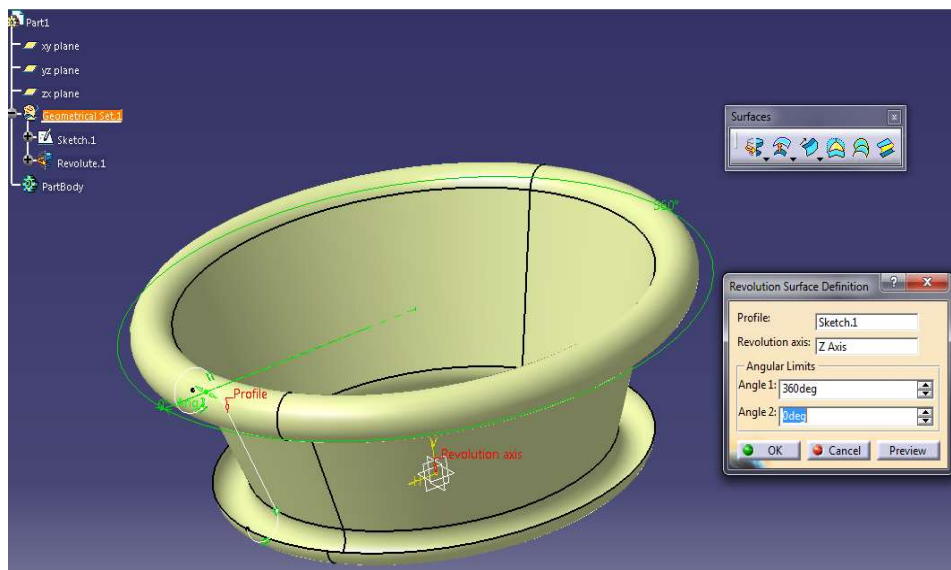
Rys. 4.2.1.1. Szkic 1

Następnie wybieramy polecenie *Revolve*  i wskazujemy *Sketch.1* jako *Profile*. Oś obrotu *Revolution axis* powinna się wczytać automatycznie, jeżeli jest prawidłowo zdefiniowana. Profil jest obracany o kąt 180° . Rezultat poprawnie wykonanych działań przedstawia rysunek 4.2.1.2.



Rys. 4.2.1.2. Powierzchnia obrotowa otrzymana na podstawie szkicu

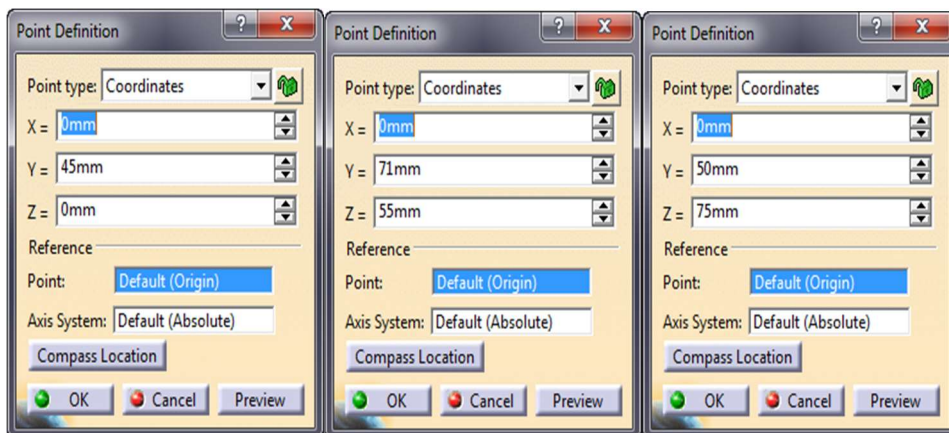
W dalszym kroku wybieramy *Axis Z* jako *Revolution axis* oraz wpisujemy *Angle1: 360°*, czyli pełny obrót. W rezultacie otrzymujemy następującą postać modelu – rysunek 4.2.1.3.



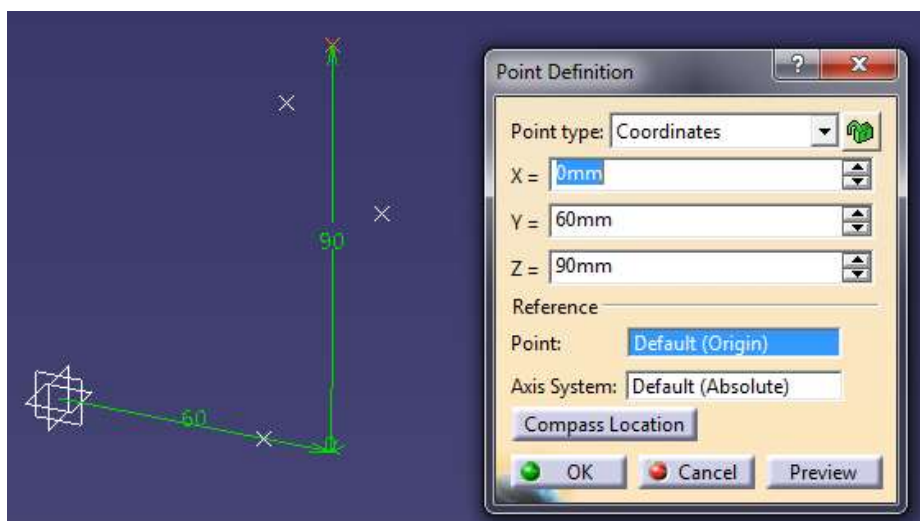
Rys. 4.2.1.3. Zamknięta powierzchnia obrotowa

Ćwiczenie 2.2 Powierzchnia obrotowa wykonana narzędziem *Spline*

W pierwszym kroku ćwiczenia definiujemy cztery punkty o współrzędnych pokazanych na rysunku 4.2.2.1 oraz rysunku 4.2.2.2.

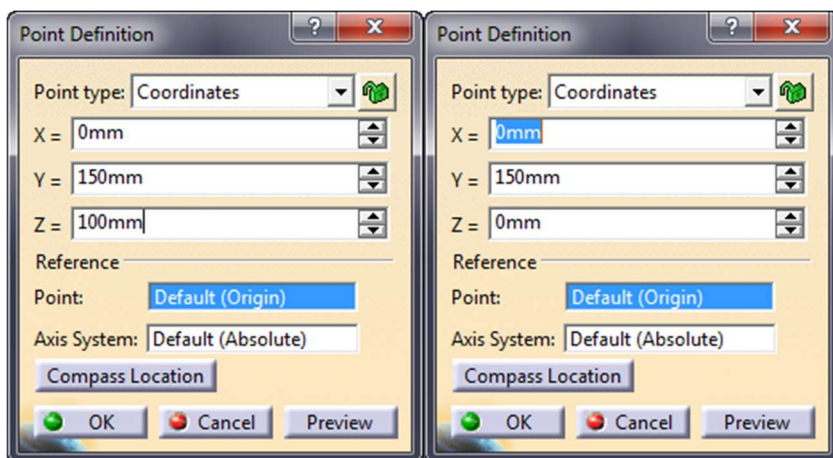


Rys. 4.2.2.1. Współrzędne trzech pierwszych punktów

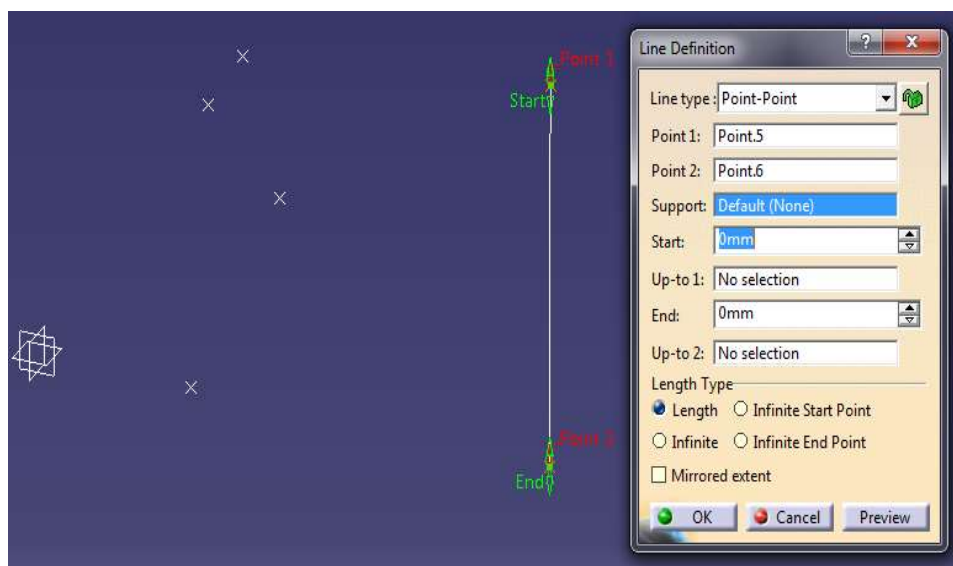


Rys. 4.2.2.2. Współrzędne czwartego punktu

W kolejnym kroku wykonana zostanie oś obrotu (rys. 4.2.2.4) na podstawie punktów przestrzennych o współrzędnych przedstawionych na rysunku 4.2.2.3.

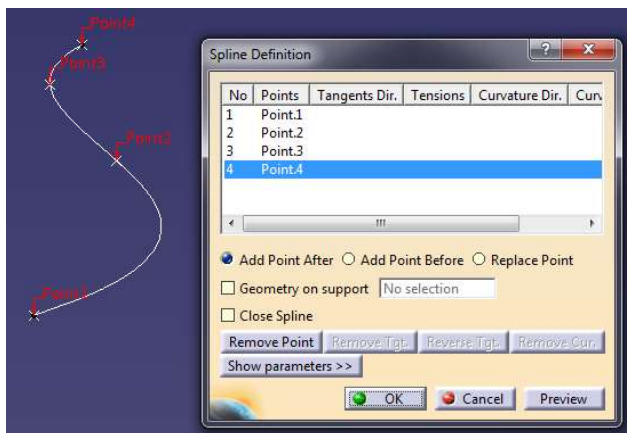


Rys. 4.2.2.3. Współrzędne osi obrotu



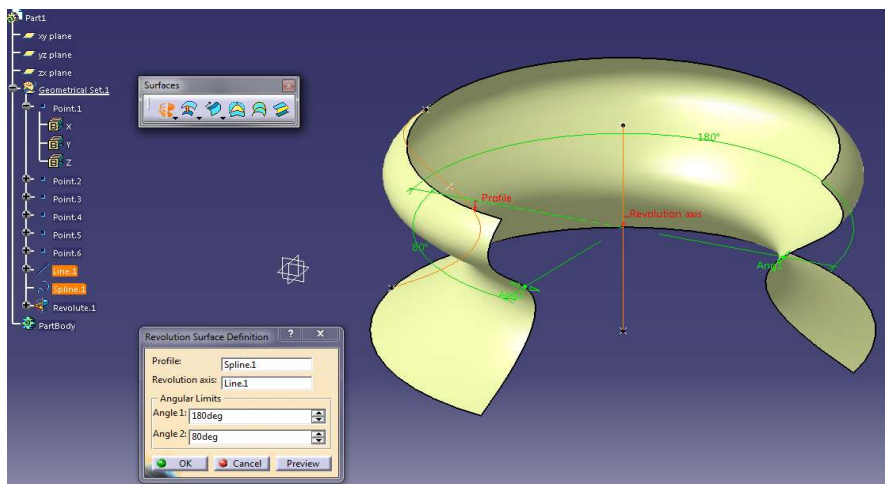
Rys. 4.2.2.4. Definicja osi obrotu

Kolejno należy wykonać krzywą na podstawie wykonanych wcześniej czterech punktów przestrzennych. Do tego zadania wybieramy polecenie *Spline* i łączymy punkty tworząc krzywą. Uzyskany efekt został przedstawiony na rysunku 4.2.2.5.




Rys. 4.2.2.5. Definicja krzywej

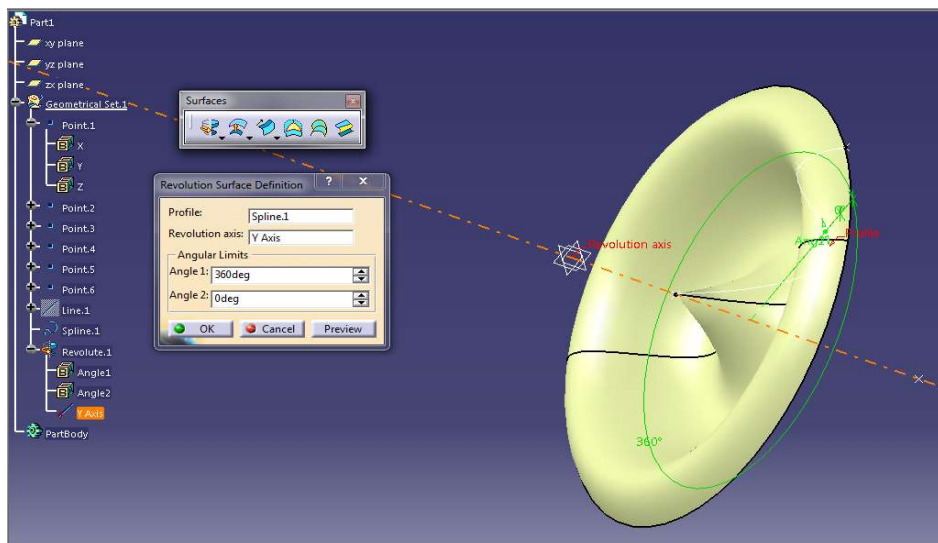
Za pomocą polecenia *Revolve* wykonujemy powierzchnię obrotową. Profil *Spline.1* obracamy względem *Line.1* po wprowadzeniu wartości kąta obrotu: *Angle1*: 180° oraz *Angle2*: 80° . Uzyskany model przedstawia rysunek 4.2.2.6.



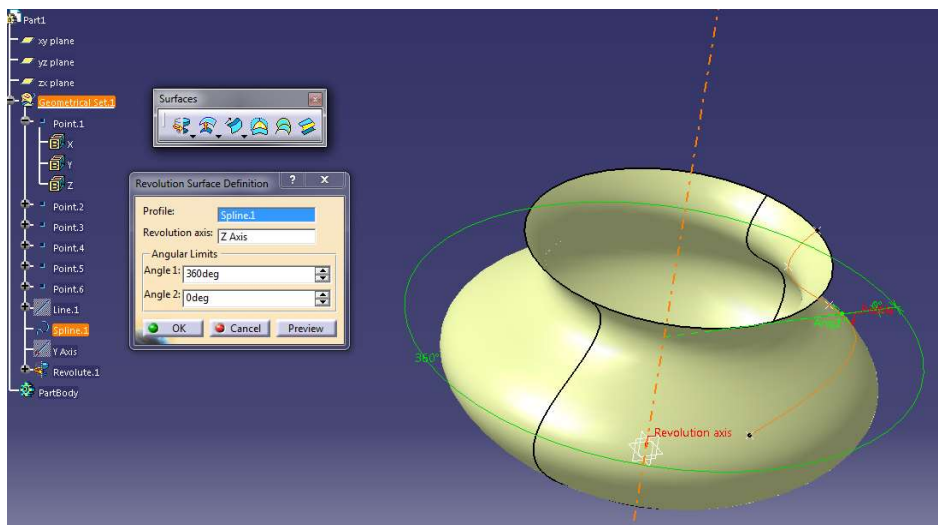
Rys. 4.2.2.6. Powierzchnia obrotowa wykonana na podstawie krzywej oraz linii 1

Powracamy do uprzednio wykonanego ćwiczenia i wybieramy polecenie *Revolution.1* oraz zmieniamy *Revolution axis* na *Y Axis*, a następnie na *Z Axis*. Uzyskane modele powierzchniowe przedstawiają: rysunek 4.2.2.7 oraz rysunek 4.2.2.8.

Prezentowany przykład przedstawia możliwość uzyskania z jednego profilu wielu różnych powierzchni przy wykorzystaniu narzędzia *Revolve*  .



Rys. 4.2.2.7. Powierzchnia obrotowa wykonana na podstawie krzywej oraz osi Y



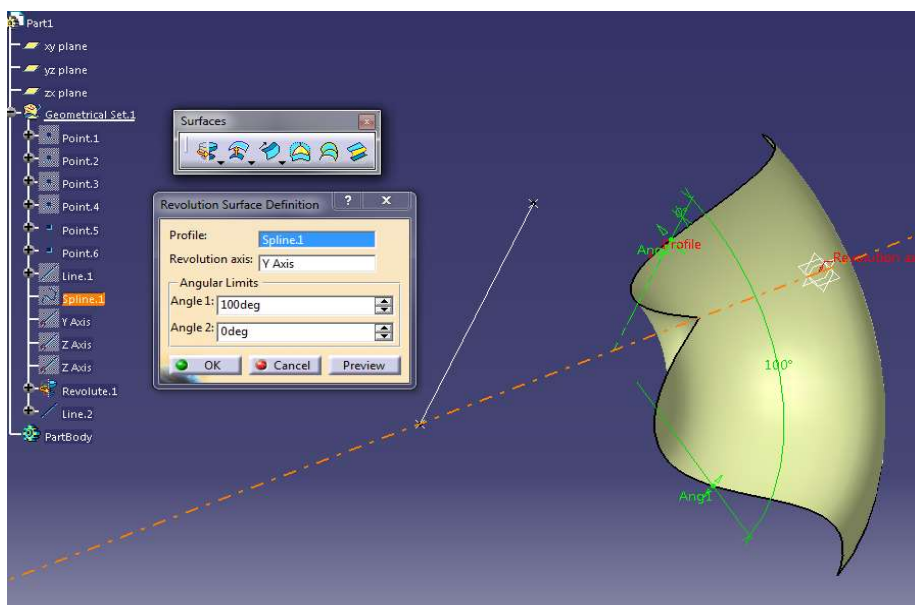
Rys. 4.2.2.7. Powierzchnia obrotowa wykonana na podstawie krzywej oraz osi Z

Na tym przykładzie widać, jak z wykorzystaniem funkcji *Revolve* z jednego profilu można uzyskać wiele różnych modeli powierzchniowych.

Nie wyłączamy okna z wykonaną powierzchnią, ponieważ wykorzystana zostanie do wykonania dalszego ćwiczenia.

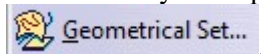
Ćwiczenie 2.3 Powierzchnia obrotowa wykonana w oparciu o krawędź powierzchni

Definiujemy *Revolution.1* z Ćwiczenia 2.2 wprowadzając parametry przedstawione na rysunku 4.2.3.1.

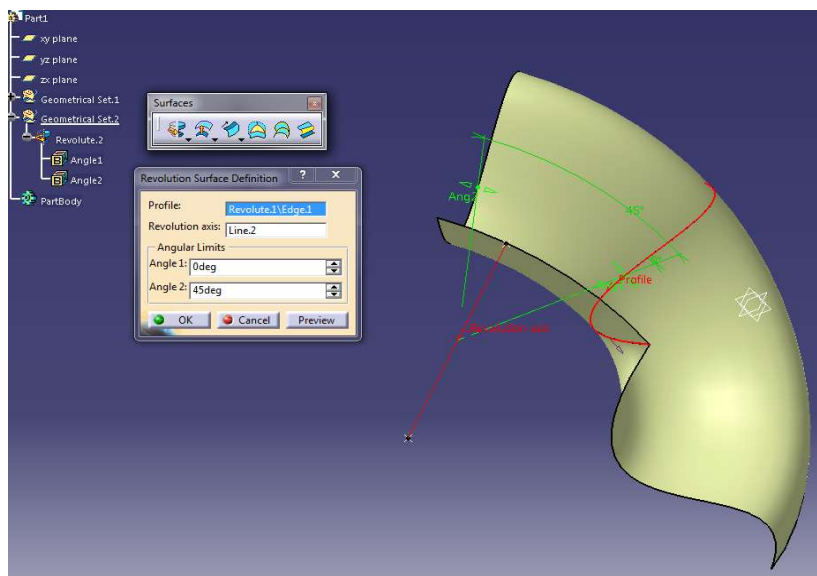


Rys. 4.2.3.1. Modyfikacja wykonanej powierzchni obrotowej

Ukrywamy punkty *Point.1* do *Point.4* oraz *Spline.1* za pomocą polecenia **Hide/Show**, ponieważ nie będą używane podczas wykonywania ćwiczenia. Przechodzimy do polecenia *Insert/Geometrical Set...* i tworzymy nowy



Następnie za pomocą polecenia *Revolve* wykonujemy powierzchnię obrotową zdefiniowaną w oparciu o krawędź powierzchni *Revolute.1*. Uzyskany efekt prezentuje rysunek 4.2.3.2.



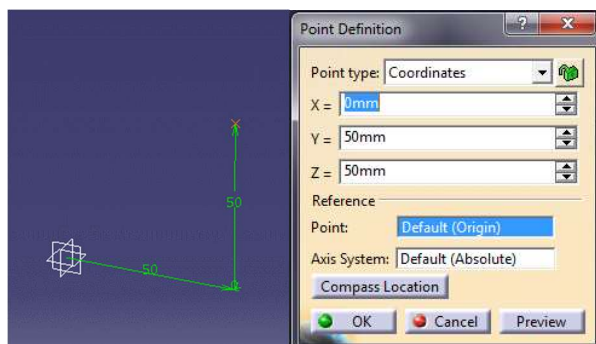
Rys. 4.2.3.2. Powierzchnia obrotowa wykonana na podstawie istniejącej krawędzi

4.3 Polecenie *Sphere*


Polecenie *Sphere* służy do wykonywania powierzchni sferycznych.

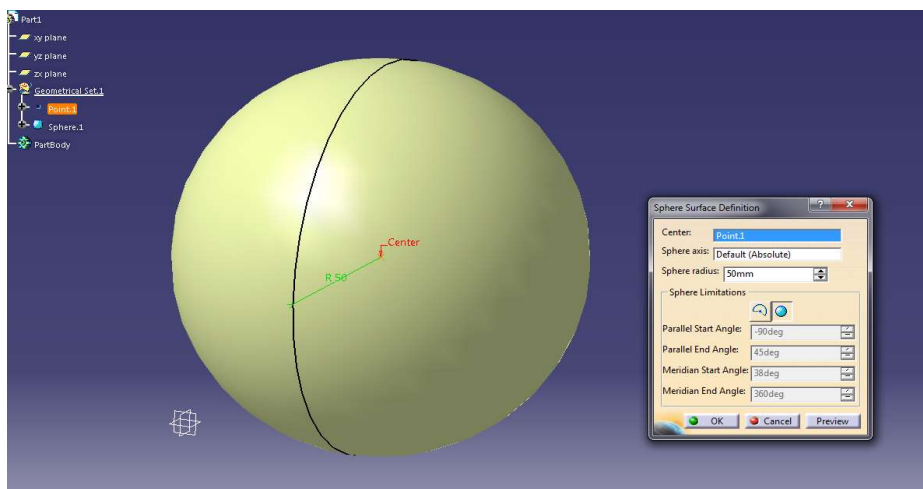
Ćwiczenie 3.1 Definiowanie powierzchni sferycznej

Określamy punkt w przestrzeni 3D w oparciu o wprowadzone współrzędne, który będzie stanowić środek powierzchni sferycznej *Center* (rys. 4.3.1.1).



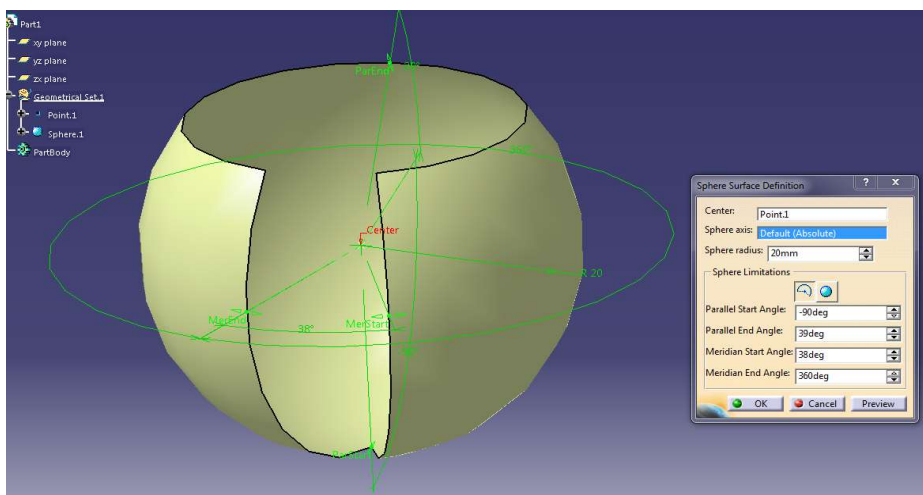
Rys. 4.3.1.1. Współrzędne środka powierzchni sferycznej

Przechodzimy do polecenia *Insert/Surface/Sphere* , jako *Center* wskazujemy *Point.1*. Definiujemy wartość promienia i zaznaczamy funkcję zamknięcia powierzchni. W wyniku otrzymujemy powierzchnię kulistą pokazaną na rysunku 4.3.1.2.



Rys. 4.3.1.2. Powierzchnia sferyczna

Kontynuując ćwiczenie wyłączmy funkcję zamknięcia powierzchni i zmieniamy parametry, co prezentuje rysunek 4.3.1.3.



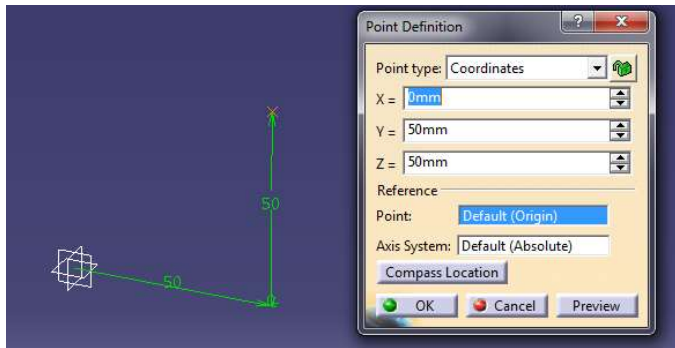
Rys. 4.3.1.3. Zmodyfikowana powierzchnia typu sfera

4.4 Polecenie *Cylinder*


Polecenie *Cylinder* służy do tworzenia powierzchni cylindrycznych.

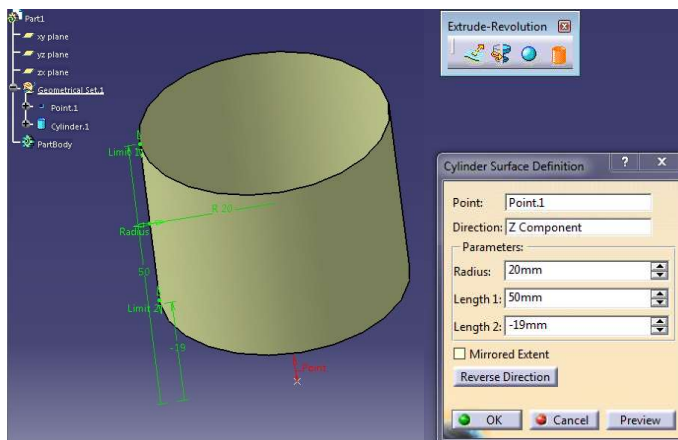
Ćwiczenie 4.1 Definiowanie powierzchni cylindrycznej

Analogicznie jak w *Ćwiczeniu 3.1* wyznaczamy punkt *Point.1* o współrzędnych przedstawionych na rysunku 4.4.1.1.



Rys. 4.4.1.1. Współrzędne punktu osi powierzchni cylindrycznej

Następnie wybieramy polecenie *Cylinder*  *Insert/Surface/Cylinder* oraz wprowadzamy wartości parametrów przedstawione na rysunku 4.4.1.2, uzyskując w efekcie powierzchnię cylindryczną.




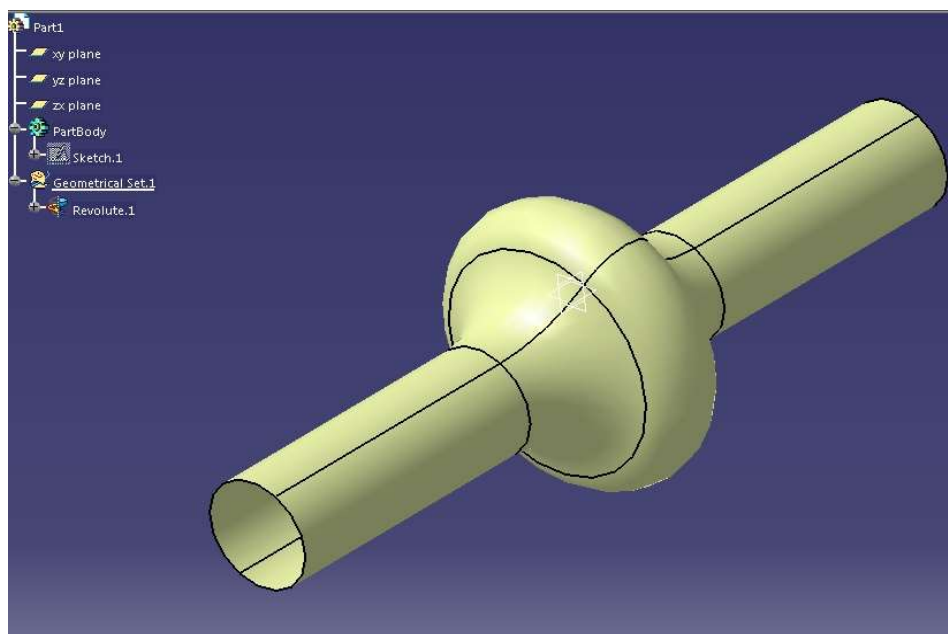
Rys. 4.4.1.2. Definiowanie powierzchni cylindrycznej

4.5 Polecenie *Offset*


Narzędzia z grupy *Offset* pozwalają na tworzenie powierzchni odsuniętych o zadaną odległość w określonym kierunku.


Ćwiczenie 5.1 Definiowanie polecenia *Offset*

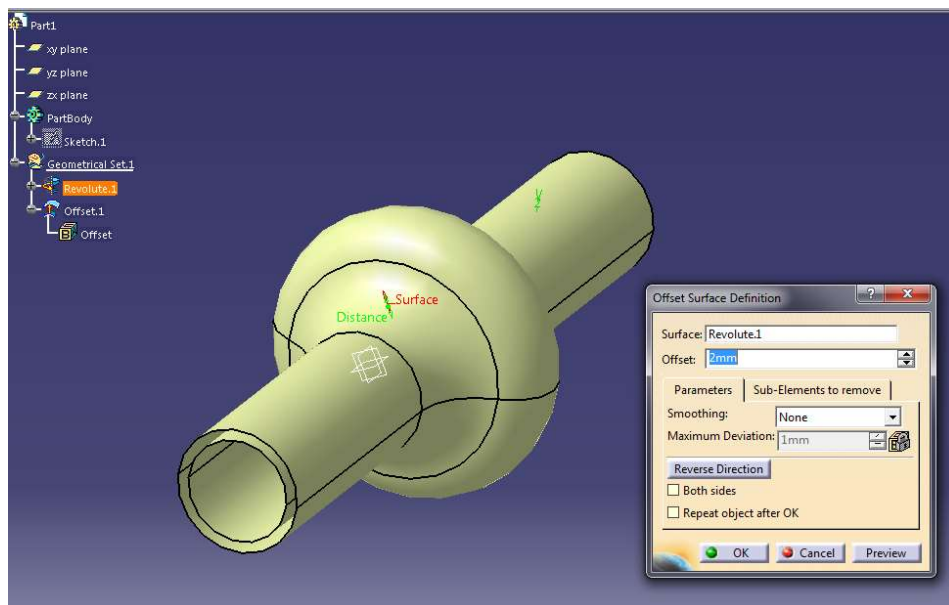
Tworzymy powierzchnię za pomocą polecenia *Revolve*  zaprezentowaną na rysunku 4.5.1.1. Powierzchnię obrotową należy wykonać na podstawie szkicu składającego się z dwóch linii i trzech stycznych do nich łuków.



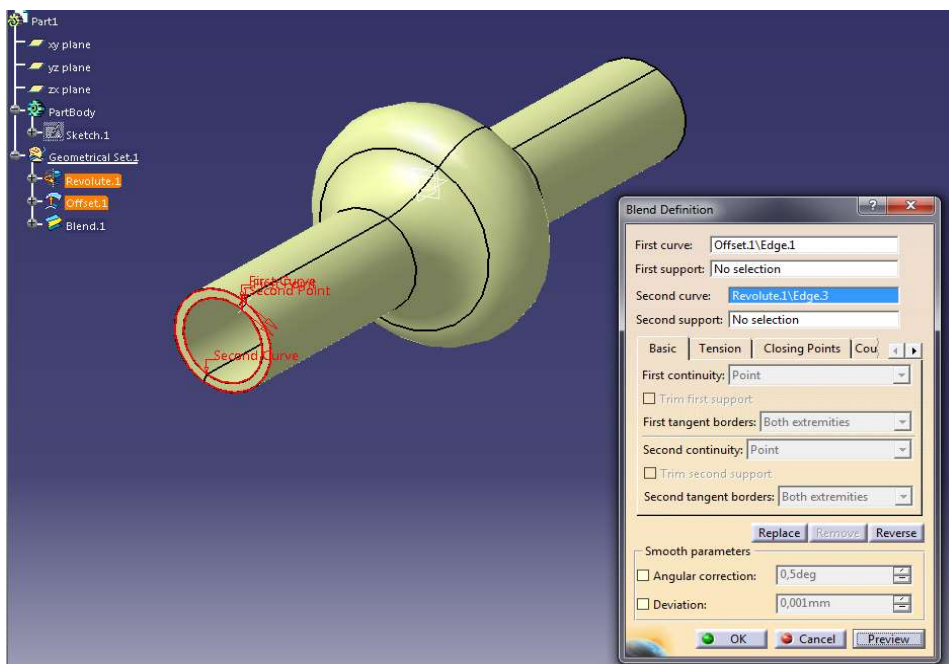
Rys. 4.5.1.1. Powierzchnia obrotowa na podstawie szkicu

Następnie wybieramy polecenie *Offset*  i definiujemy powierzchnię odsuniętą od wcześniej wykonanej powierzchni zgodnie z wprowadzonym parametrem *Offset* 2mm. Uzyskany efekt w postaci osiowo symetrycznych powierzchni prezentuje rysunek 4.5.1.2.

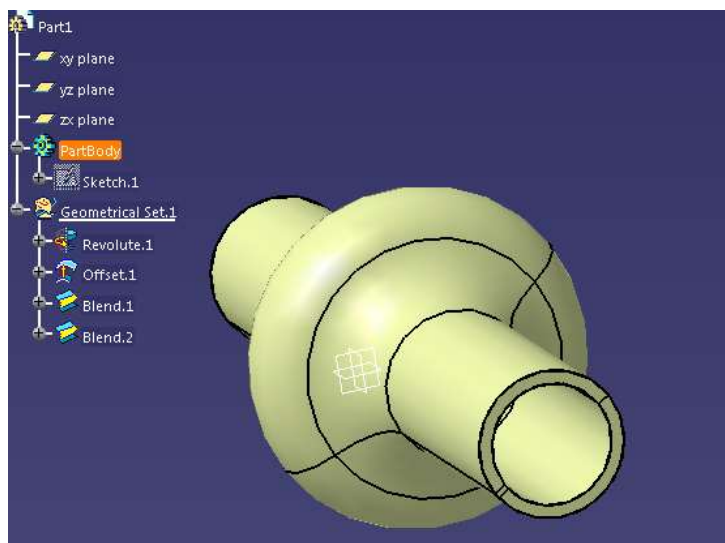
W kolejnym kroku zamykamy wykonane powierzchnie za pomocą funkcji *Blend* , wskazując odpowiednio dwie krawędzie (rys. 4.5.1.3). Analogicznie postępujemy w odniesieniu do przeciwnej strony modelu – rysunek 4.5.1.4.




Rys. 4.5.1.2. Powierzchnia obrotowa uzyskana poprzez odsunięcie

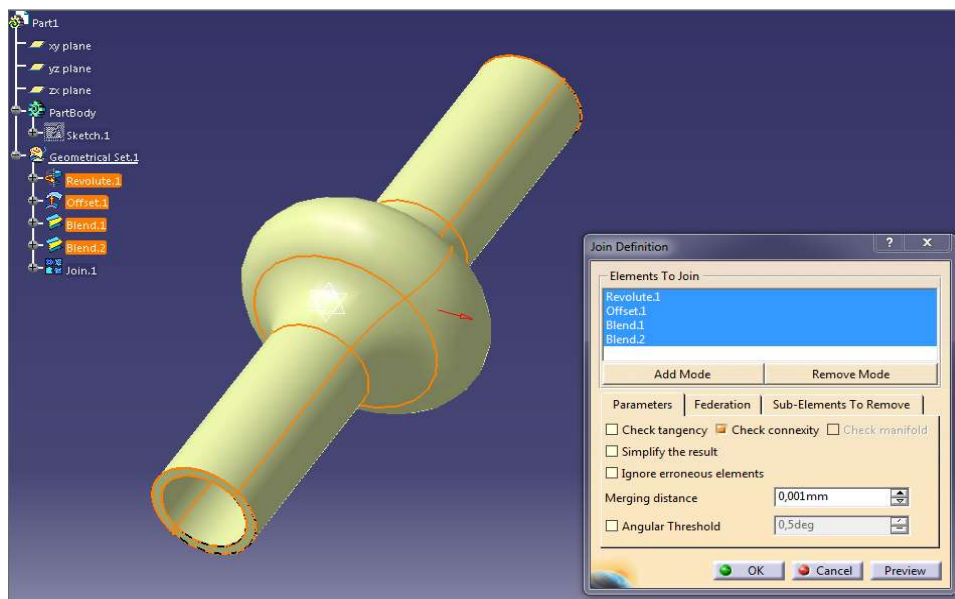


Rys. 4.5.1.3. Zastosowanie polecenia Blend




Rys. 4.5.1.4. Zamknięcie dwóch powierzchni obrotowych za pomocą polecenia *Blend*

Kończąc ćwiczenie łączymy wykonane powierzchnie poleceniem *Join* , otrzymując jednolity model powierzchniowy pokazany na rysunku 4.5.1.5.

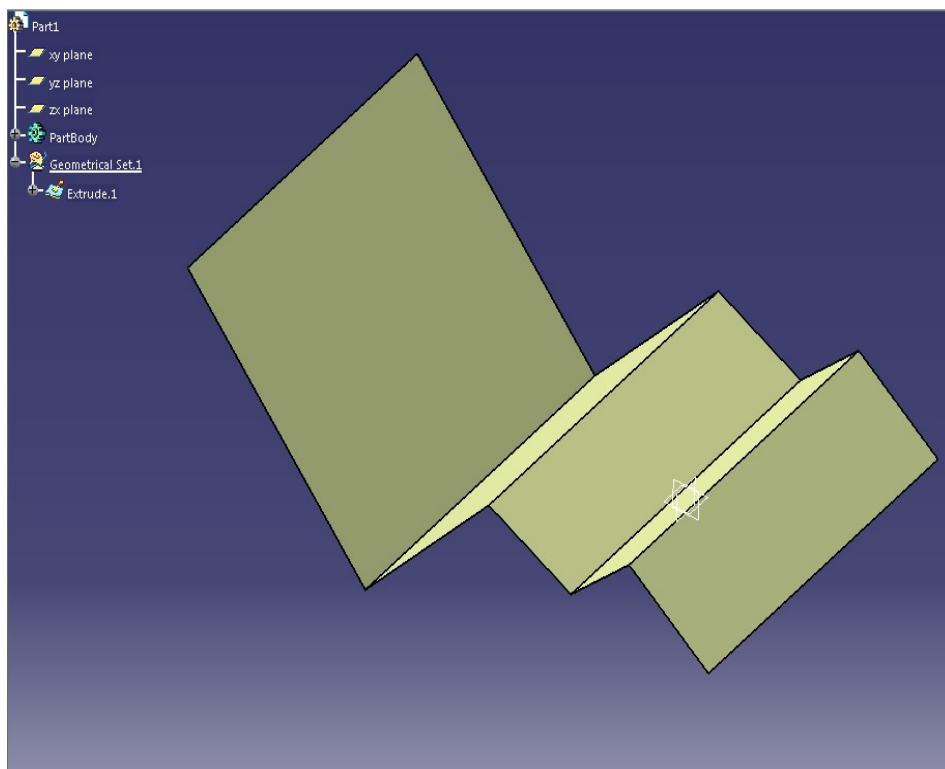


Rys. 4.5.1.5. Scalenie wykonanych powierzchni


Ćwiczenie 5.2 Definiowanie polecenia *Rough Offset*


Polecenie *Rough Offset*  służy do tworzenia wygładzonych krawędzi odsuniętych. Efekt wygładzenia powierzchni rośnie progresywnie wraz z wartością odsunięcia (*Offset*).

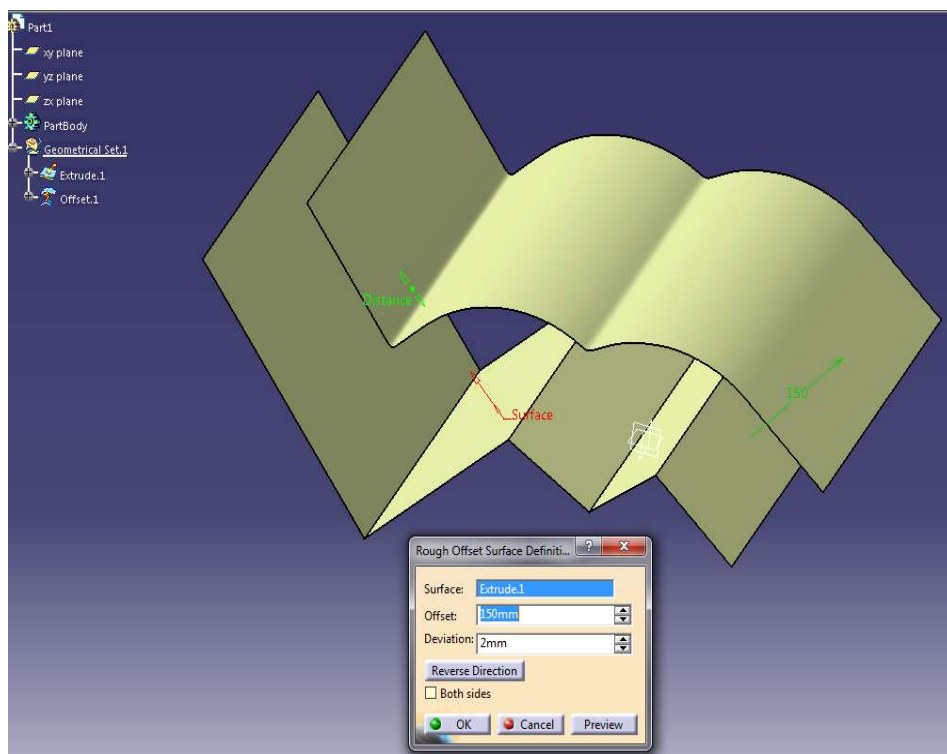
Modelujemy powierzchnię poprzez wyciągnięcie na podstawie szkicu wykonanego na wybranej płaszczyźnie. Efekt zadania przedstawiono na rysunku 4.5.2.1.



Rys. 4.5.2.1. Powierzchnia otrzymana w wyniku wyciągnięcie szkicu

Po wyborze narzędzia *Wygładzenie poprzez Odsunięcie – Rough Offset*  zaznaczamy wykonane wyciągnięcie *Extrude.1* oraz wprowadzamy pozostałe wartości parametrów: odsunięcie – *offset* = 150mm oraz naruszenie krzywizny struktury – *deviation* = 2mm. Uzyskany efekt zastosowania polecenia

Rough Offset  prezentuje rysunek 4.5.2.2.



Rys. 4.5.2.2. Powierzchnia otrzymana w wyniku zastosowania narzędzia *Rough Offset*

4.6 Polecenie *Swept*


Funkcją narzędzia *Swept*  jest utworzenie powierzchni pomiędzy zadanymi punktami charakterystycznymi należącymi do istniejących powierzchni.

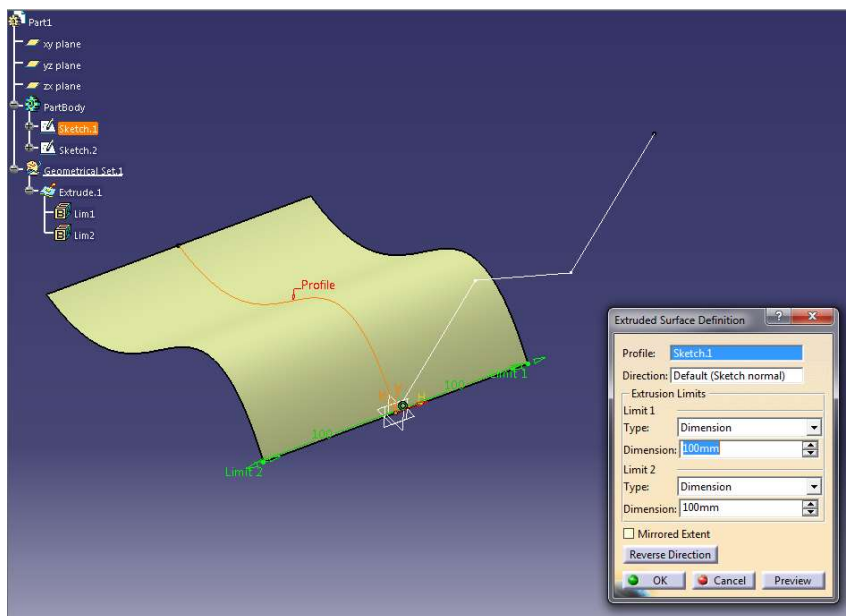
Ćwiczenie 6.1 Definiowanie polecenia *Swept* – with reference Surface

W tym ćwiczeniu na wstępie należy wykonać dwa szkice na prostopadłych do siebie płaszczyznach. Pierwszy szkic składa się z krzywej typu *Spline*, natomiast drugi narysowany jest w oparciu o narzędzie *Profile*. Wykonane szkice muszą posiadać punkt wspólny o współrzędnych $[0, 0]$. Wynik opisanych zadań przedstawiono na rysunku 4.6.1.1.




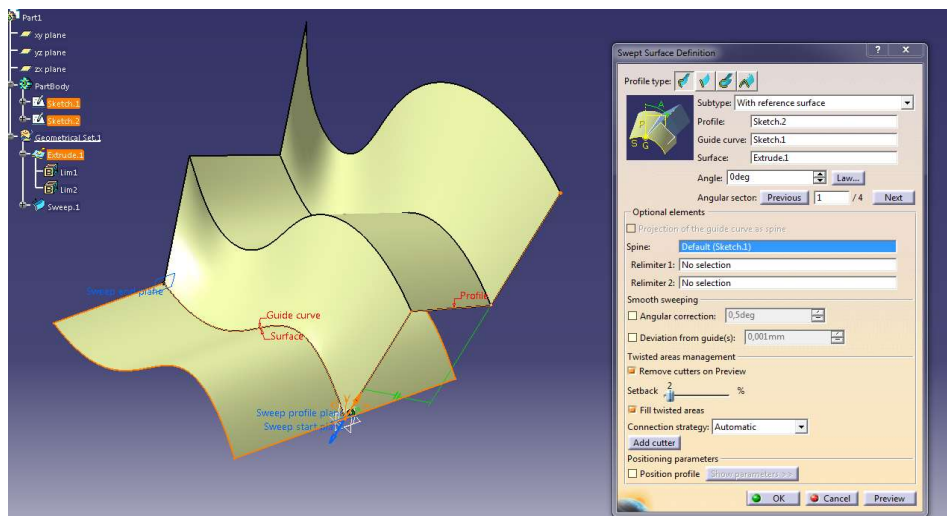
Rys. 4.6.1.1. Dwa prostopadłe do siebie szkice charakteryzujące się punktem wspólnym

Wyciągamy *Sketch.1* poleceniem *Extrude*  zgodnie z zadanymi wartościami parametrów wyciągnięcia *Dimension* = 100mm. Uzyskujemy model powierzchniowy zaprezentowany na rysunku 4.6.1.2.



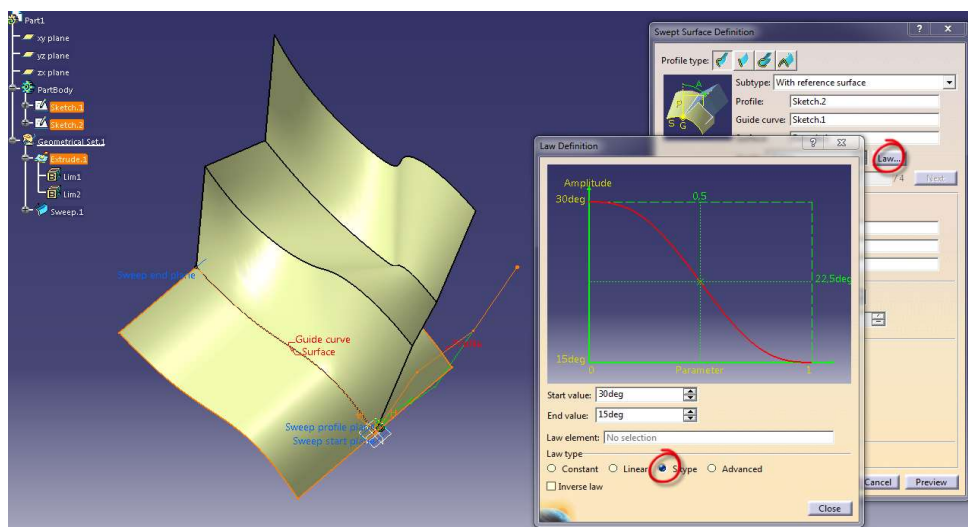
Rys. 4.6.1.2. Wyciągnięcie pierwszego szkicu w kierunku normalnym

Wybieramy narzędzie *Swept*  *With reference surfaces* oraz definiujemy parametry okna tak, jak zaprezentowano na rysunku 4.6.1.3.




Rys. 4.6.1.3. Wyciągnięcie krzywej po ścieżce względem powierzchni referencyjnej

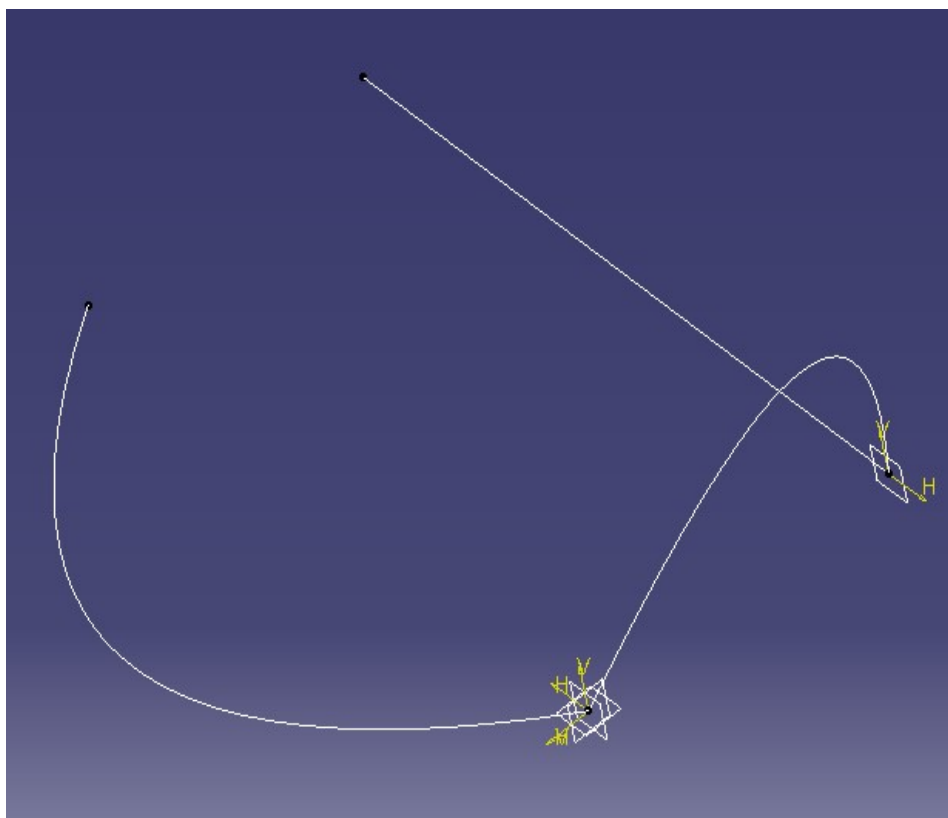
Następnie wybieramy w oknie *Law Definition* przycisk *Stype* i wprowadzamy wartości parametrów, co pokazano na rysunku 4.6.1.4.




Rys. 4.6.1.4. Efekt wymuszenia krzywizny powierzchni według narzuconego prawa

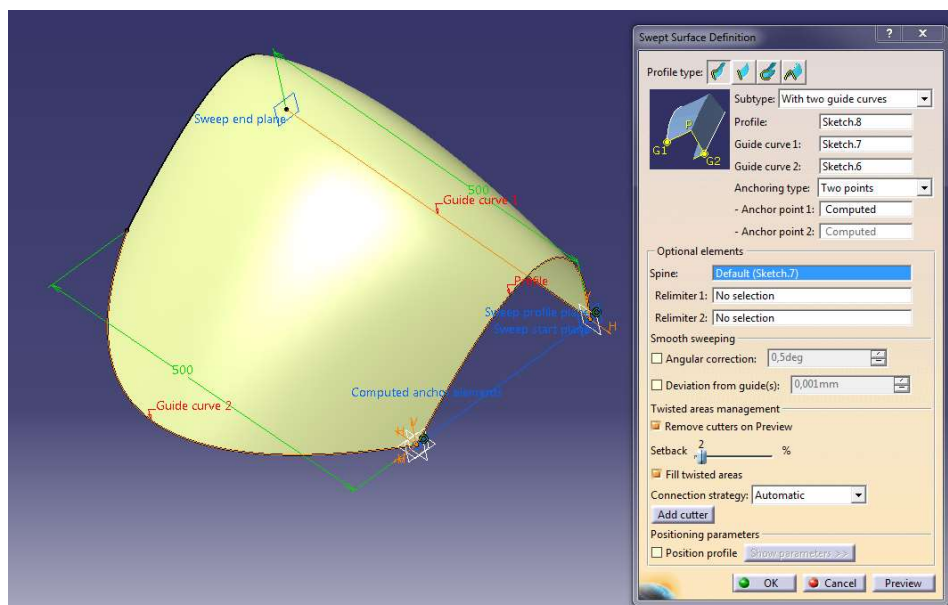
Ćwiczenie 6.2 Definiowanie polecenia *Swept* – with two guide curves

Wykonujemy dwa szkice  na równoległych płaszczyznach oraz jeden na płaszczyźnie prostopadłej tak, by wszystkie linie się stykały. Celem otrzymania pożądanego efektu ćwiczenia dwa szkice znajdujące się na tej samej powierzchni powinny posiadać ten sam poziomy wymiar. Układ linii przedstawia rysunek 4.6.2.1.



Rys. 4.6.2.1. Trzy składowe szkice charakteryzujące się punktami wspólnymi

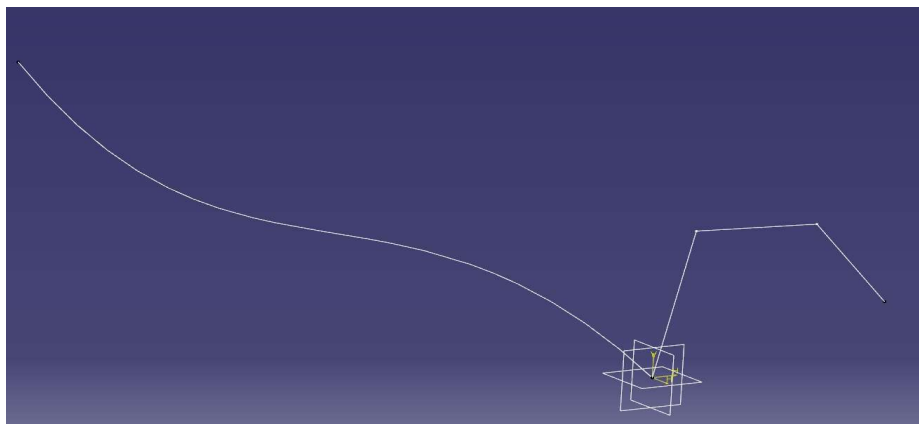
Następnie w celu wykonania powierzchni wybieramy narzędzie *Swept*  *With two guide curves* oraz wprowadzamy kolejno poszczególne cechy tak, jak zaprezentowano na rysunku 4.6.2.2. W efekcie otrzymujemy powierzchnię, która jest wyciągnięciem profilu po dwóch zadanych ścieżkach. Rezultat poprawnie wykonanego ćwiczenia zaprezentowano na rysunku 4.6.2.2.




Rys. 4.6.2.2. Powierzchnia wykonana na podstawie wyciągnięcia profilu po dwóch ścieżkach

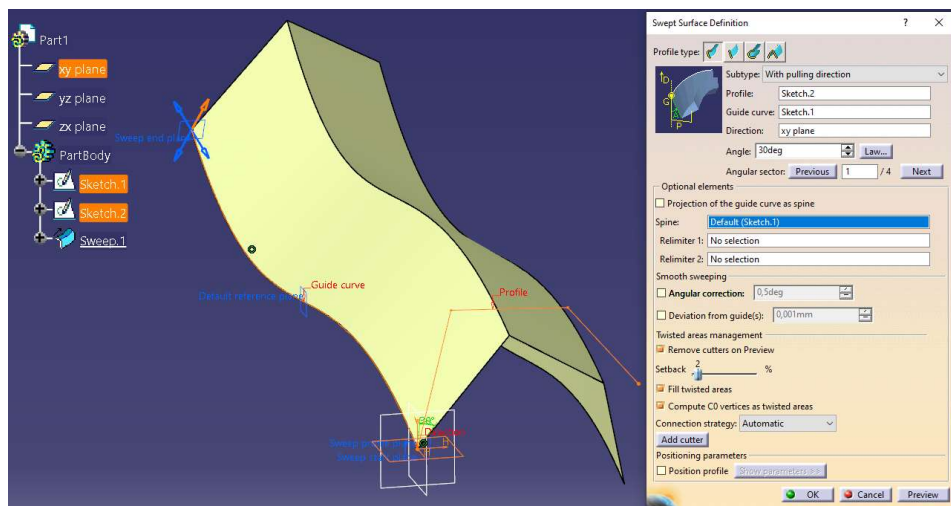
Ćwiczenie 6.3 Definiowanie polecenia *Swept* – with pullind direction

Wykonujemy dwa prostopadłe do siebie szkice (rozpoczynając w punkcie o współrzędnych: [0; 0]): pierwszy typu *Spline* oraz drugi typu *Profile* zgodnie z rysunkiem 4.6.3.1.



Rys. 4.6.3.1. Dwa szkice charakteryzujące się punktem wspólnym

Przy wykorzystaniu polecenia *Swept*  *With pulling direction* odpowiednio definiujemy okno *Swept Surface Definition*, co prezentuje rysunek 4.6.3.2. i jednocześnie uwidacznia otrzymany model powierzchniowy.




Rys. 4.6.3.2. Wyciągnięcie na podstawie profilu wyciągniętego w zdefiniowanym kierunku

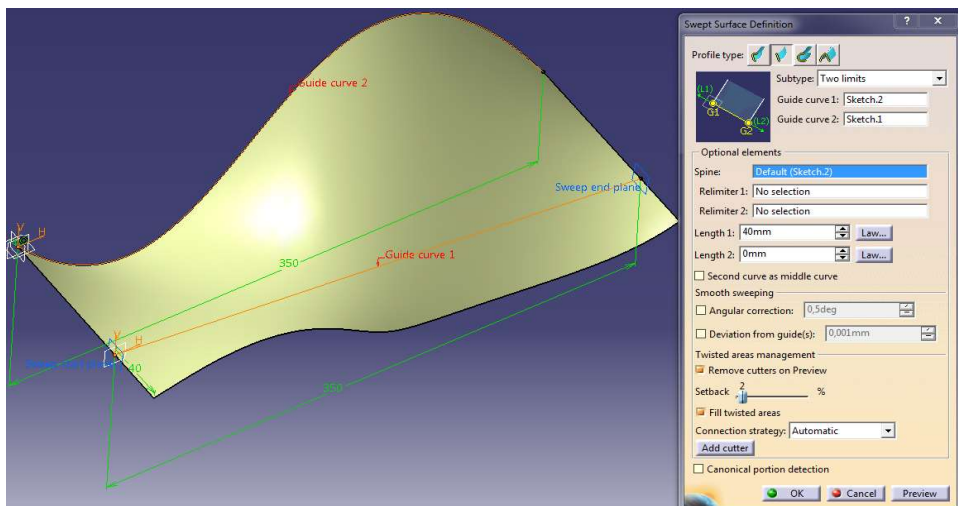
Ćwiczenie 6.4 Definiowanie polecenia *Swept – Two limits*

Wykonujemy dwa szkice  jak pokazano na rysunku 4.6.4.1.



Rys. 4.6.4.1. Dwa szkice wykonane na odsuniętych płaszczyznach

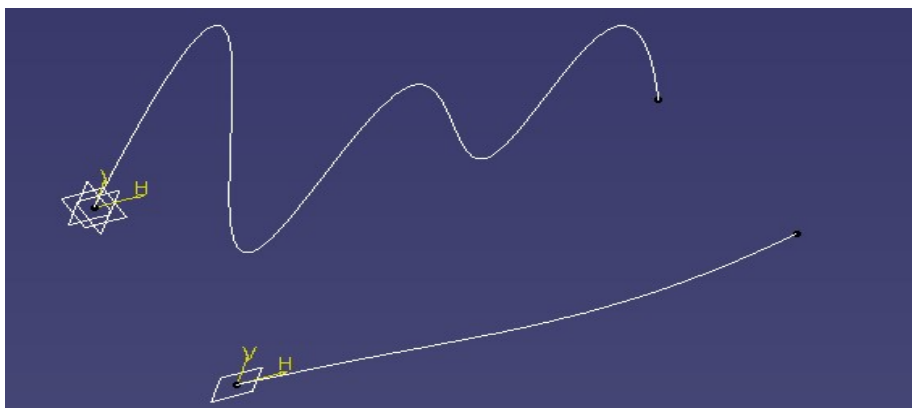
Po wybraniu narzędzia *Swept*  *Two limits* definiujemy parametry okna *Swept Surface Definition* i w efekcie otrzymujemy powierzchnię przedstawioną na rysunku 4.6.4.2.




Rys. 4.6.4.2. Powierzchnia wymuszona poprzez krzywiznę dwóch linii

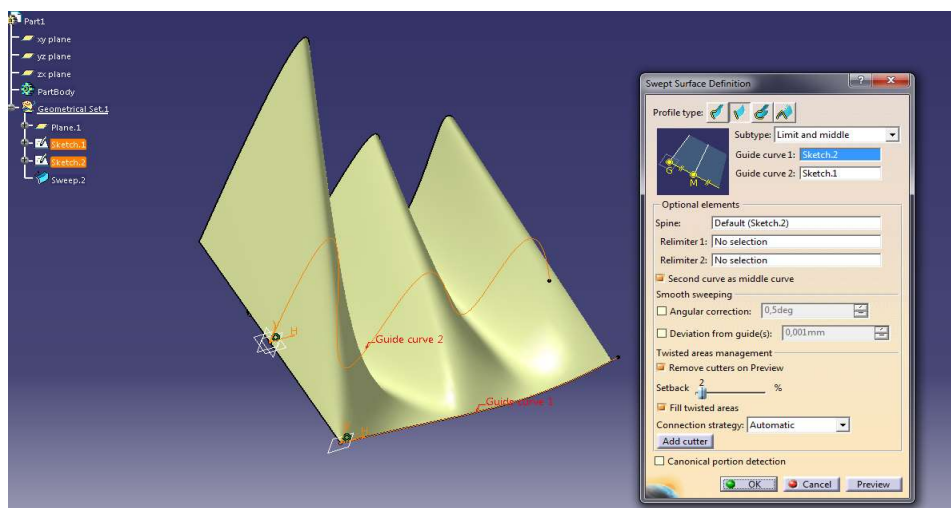
Ćwiczenie 6.5 Definiowanie polecenia *Swept* – *Limit and middle*

Analogicznie jak w przypadku *Ćwiczenia 6.4* rysujemy dwie krzywe przedstawione na rysunku 6.5.5.1.



Rys. 4.6.5.1. Dwa odsunięte względem siebie szkice

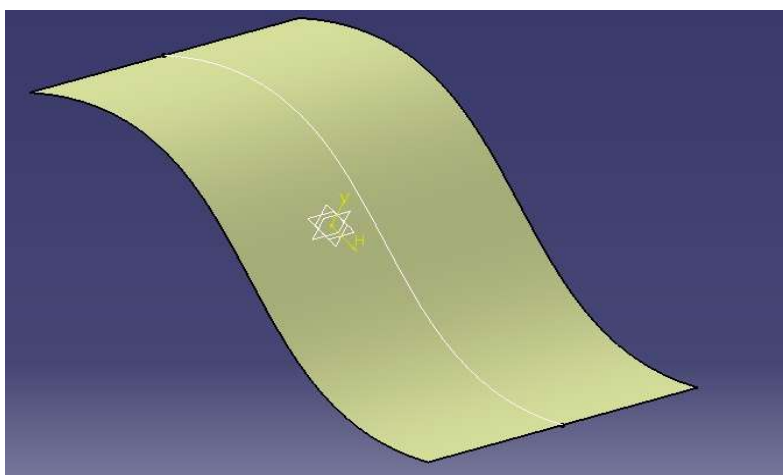
Wykorzystujemy narzędzie *Swept*  *Limit and middle* i definiujemy parametry okna *Swept Surface Definition*. Rysunek 4.6.5.2 prezentuje wprowadzone parametry oraz uzyskany model powierzchniowy.




Rys. 4.6.5.2. Powierzchnia otrzymana na podstawie krzywych typu granica-środek

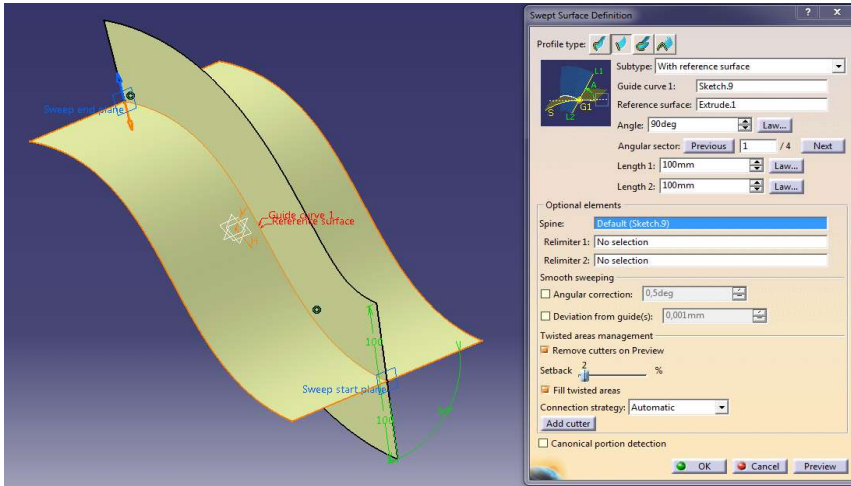
Ćwiczenie 6.6 Definiowanie polecenia *Swept* – *With reference Surface*

Wykonujemy wyciągnięcie symetryczne krzywej zgodnie z rysunkiem 4.6.6.1.



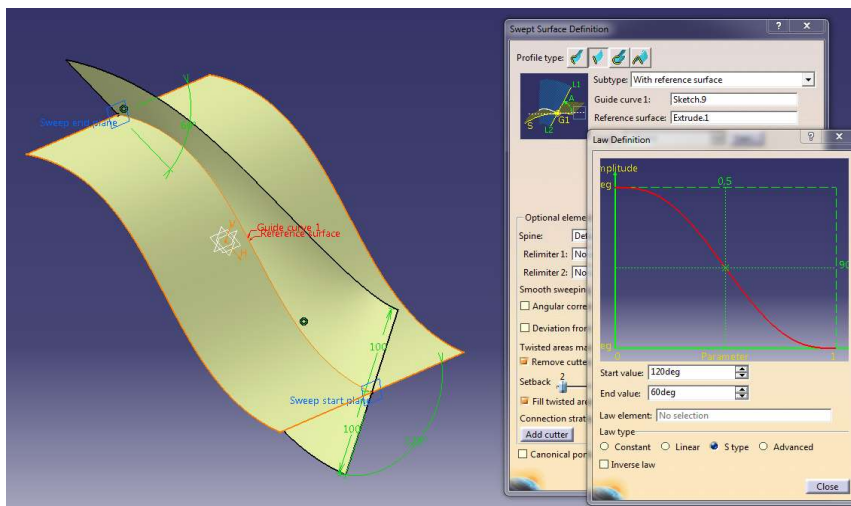
Rys. 4.6.6.1. Powierzchnia otrzymana poprzez symetryczne wyciągnięcie krzywej

Wybieramy narzędzie *Swept*  *With reference surface* oraz wprowadzamy parametry w oknie *Swept Surface Definition* zaprezentowane na rysunku 4.6.6.2, który przedstawia jednocześnie otrzymany model powierzchniowy.




Rys. 4.6.6.2. Powierzchnia wykonana na podstawie powierzchni referencyjnej

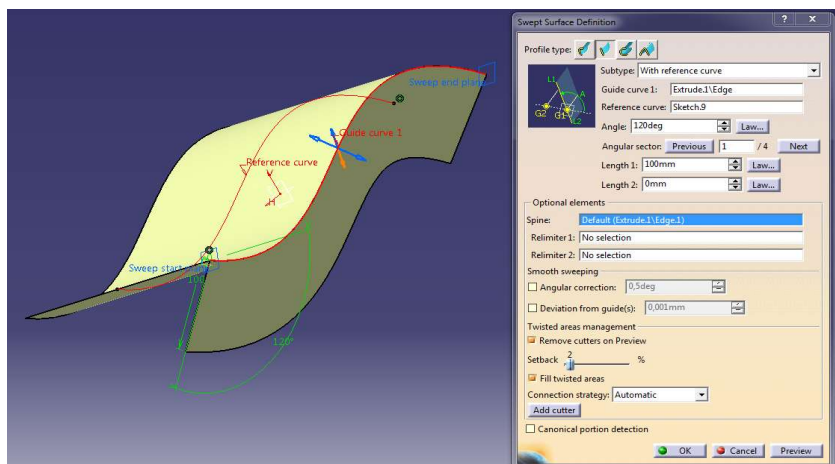
W dalszej części ćwiczenia korzystamy z polecenia *Law* i po odpowiednim wprowadzeniu parametrów reguły pokazanych na rysunku 4.6.6.3 otrzymujemy model powierzchniowy zaprezentowany poniżej.



Rys. 4.6.6.3. Zastosowanie reguły *Law* w celu wymuszenia krzywizny powierzchni

Ćwiczenie 6.7 Definiowanie polecenia *Swept* – *With reference curve*

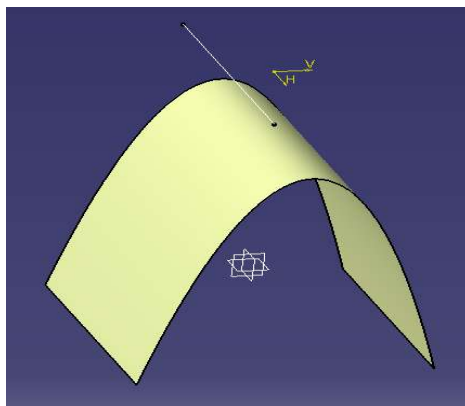
Wykonujemy wyciągnięcie analogicznie jak w Ćwiczeniu 6.6 (rysunek 4.6.6.1). Wybieramy narzędzie *Swept*  *With reference curve* i budujemy powierzchnię przedstawioną na rysunku 4.6.7.1 w oparciu o wprowadzone parametry okna *Swept Surface Definition*.




Rys. 4.6.7.1. Powierzchnia wykonana na podstawie istniejącej krzywej referencyjnej

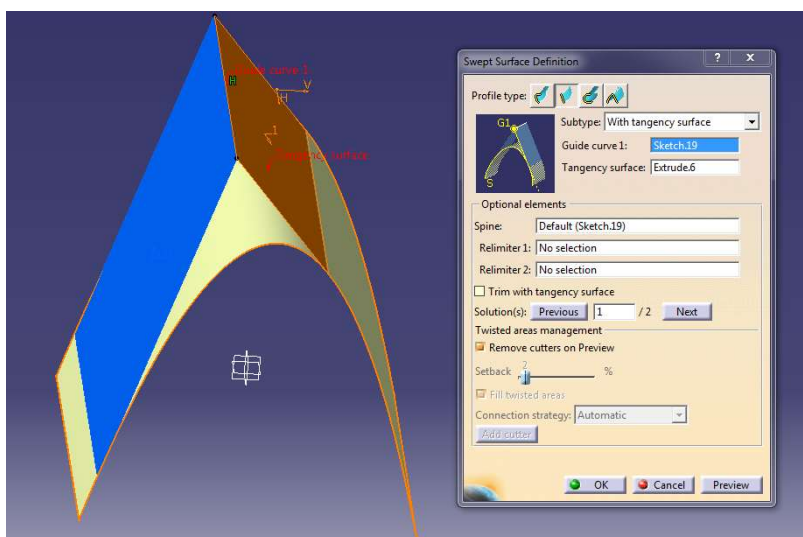
Ćwiczenie 6.8 Definiowanie polecenia *Swept* – *With tangency Surface*

Wykonujemy wyciągnięcie oraz szkicujemy odcinek linii analogicznie, jak przedstawiono na rysunku 4.6.8.1.

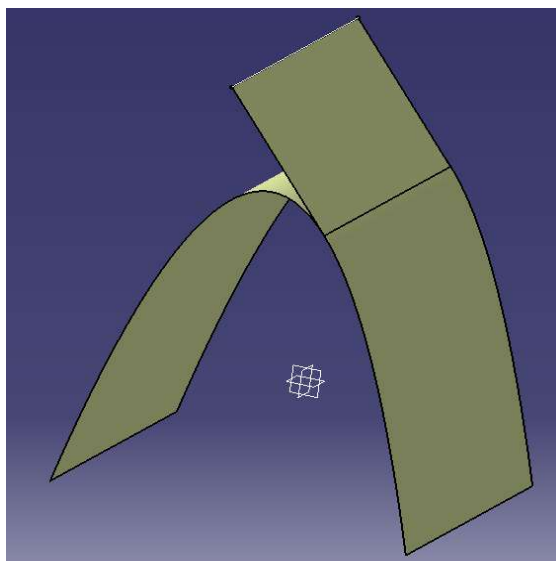


Rys. 4.6.8.1. Powierzchnia powstała poprzez wyciągnięcie oraz linia leżąca nad nią

Wykorzystujemy narzędzie *Swept*  *With tangency surface* oraz definiujemy odpowiednio parametry okna *Swept Surface Definition* (rys. 4.6.8.2). Otrzymany w efekcie model powierzchniowy zaprezentowano na rysunku 4.6.8.3.



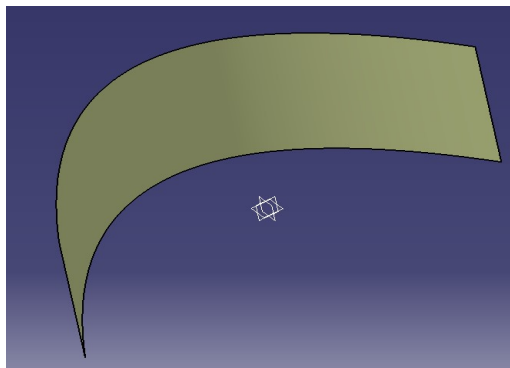
Rys. 4.6.8.2. Definiowanie powierzchni za pomocą polecenia *Swept – With tangency Surface*




Rys. 4.6.8.3. Powierzchnia rozpięta pomiędzy linią i styczną powierzchnią

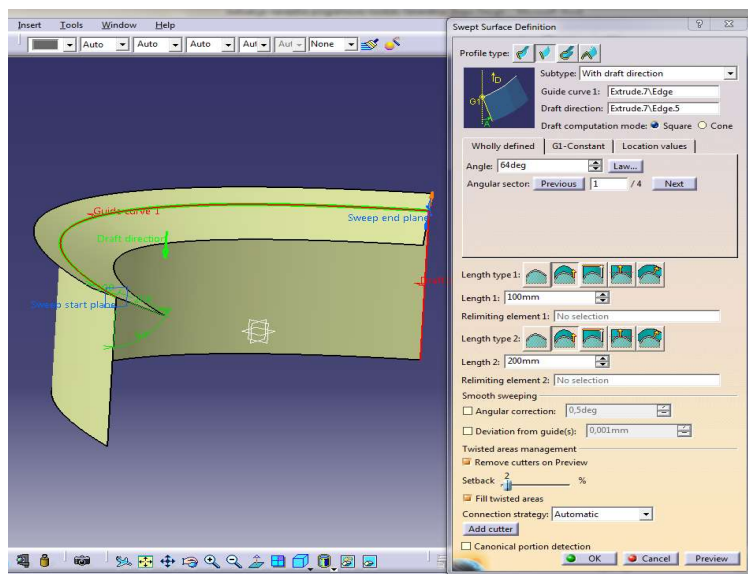
Ćwiczenie 6.9 Definiowanie polecenia *Swept* – *With draft direction*

Wykonujemy wyciągnięcie, w efekcie którego otrzymujemy model powierzchniowy przedstawiony na rysunku 4.6.9.1.



Rys. 4.6.9.1. Powierzchnia otrzymana poprzez wyciągnięcie

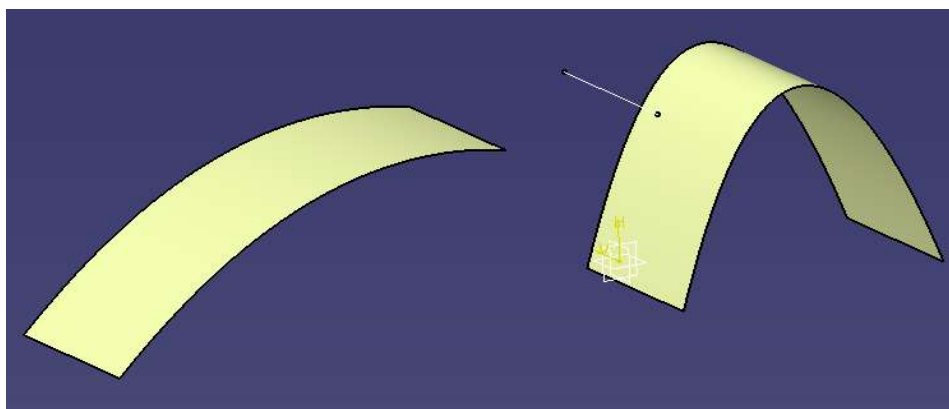
Wybieramy narzędzie *Swept*  *With draft direction* oraz wprowadzamy odpowiednie parametry okna *Swept Surface Definition* otrzymując w wyniku model powierzchniowy zaprezentowany na rysunku 4.6.9.2.




Rys. 4.6.9.2. Powierzchnia wykonana na podstawie krzywej i linii kierunkowej

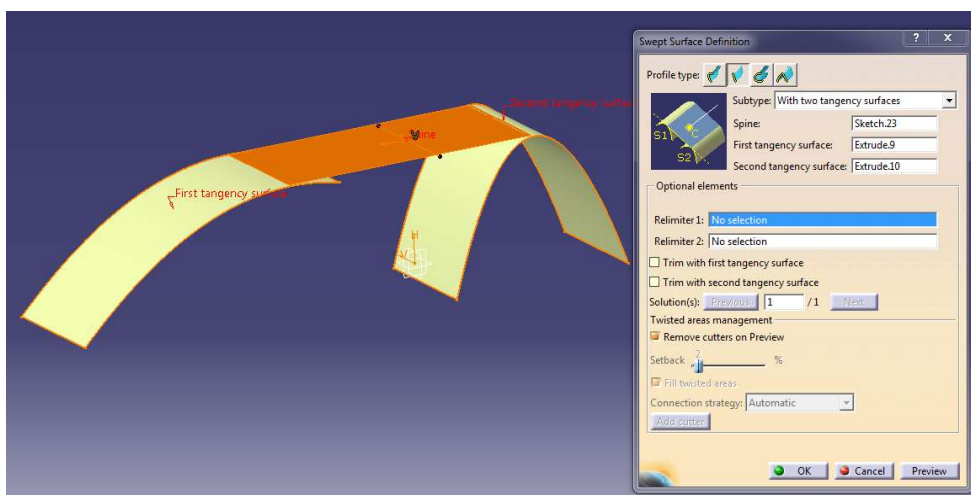
Ćwiczenie 6.10 Definiowanie polecenia *Swept* – *Swept Surface Definition*

Wykonujemy dwa wyciągnięcia i rysujemy pomiędzy nimi odcinek linii. W wyniku otrzymujemy dwie powierzchnie oraz odcinek linii przedstawione na rysunku 4.6.10.1.



Rys. 4.6.10.1. Dwie powierzchnie oraz linia

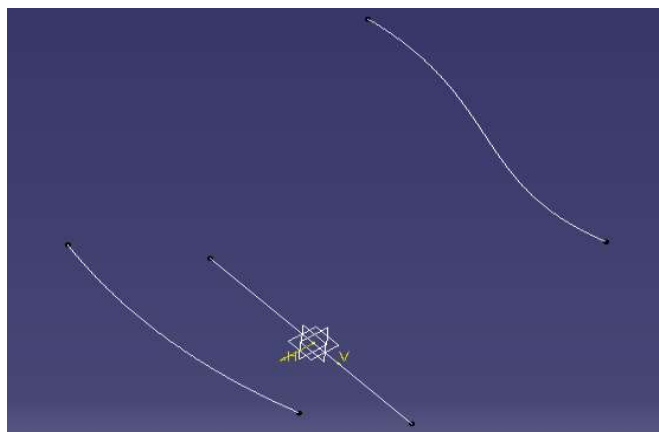
Korzystamy z narzędzia *Swept*  *With two tangency surfaces* oraz wprowadzamy parametry okna *Swept Surface Definition* otrzymując w wyniku model powierzchniowy pokazany na rysunku 4.6.10.2.




Rys. 4.6.10.2. Powierzchnia rozpięta przez linię styczną do dwóch innych powierzchni

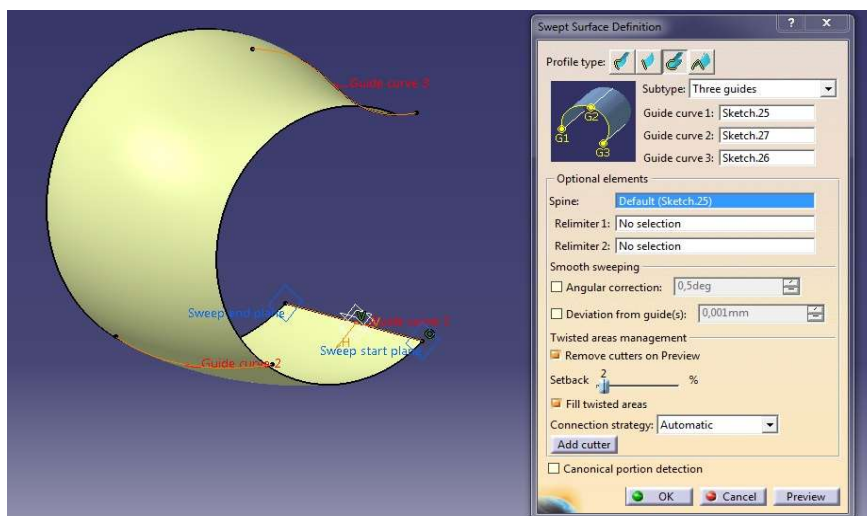
Ćwiczenie 6.11 Definiowanie polecenia *Swept – Three Guides*

Wykonujemy trzy szkice na odsuniętych płaszczyznach, otrzymując trzy krzywe pokazane na rysunku 4.6.11.1.



Rys. 4.6.11.1. Trzy linie zaprezentowane w środowisku 3D

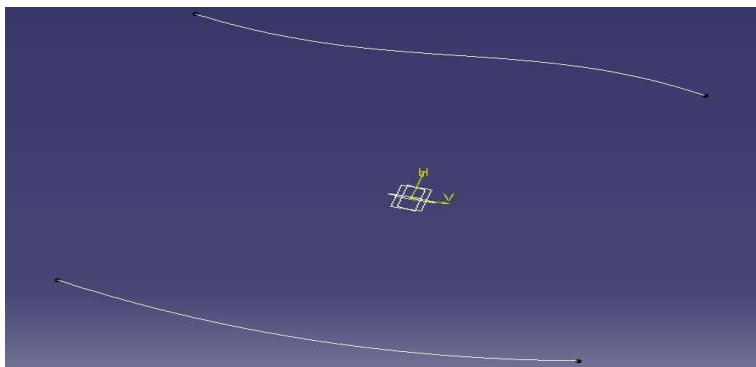
Korzystamy z narzędzia *Swept*  *Three guides* oraz definiujemy parametry okna *Swept Surface Definition*, otrzymując w rezultacie model powierzchniowy przedstawiony na rysunku 4.6.11.2.




Rys. 4.6.11.2. Powierzchnia obrotowa wykonana na podstawie trzech krzywych

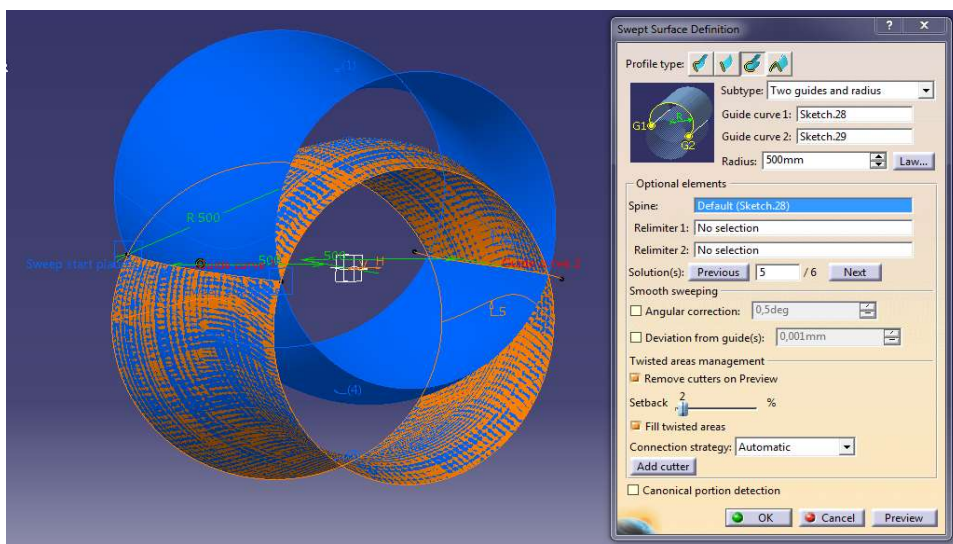
Ćwiczenie 6.12 Definiowanie polecenia *Swept – Two guides and radius*

Wykonujemy kolejno dwa szkice, otrzymując dwie krzywe pokazane na rysunku 4.6.12.1.



Rys. 4.6.12.1. Dwie krzywe typu *Spline*

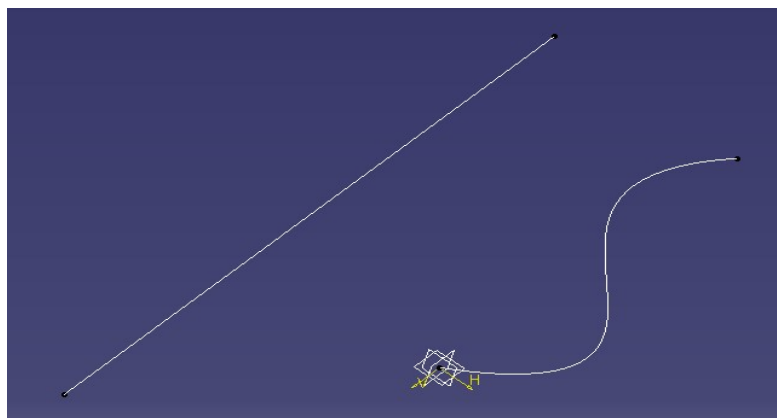
Wybieramy narzędzie *Swept*  *Two guides and radius*, następnie wskazujemy naszkicowane krzywe przy wprowadzonych poprawnie parametrach okna *Swept Surface Definition*. Rysunek 4.6.12.2 przedstawia wygląd okna oraz otrzymany model powierzchniowy.




Rys. 4.6.12.2. Powierzchnia obrotowa na podstawie dwóch krzywych oraz promienia

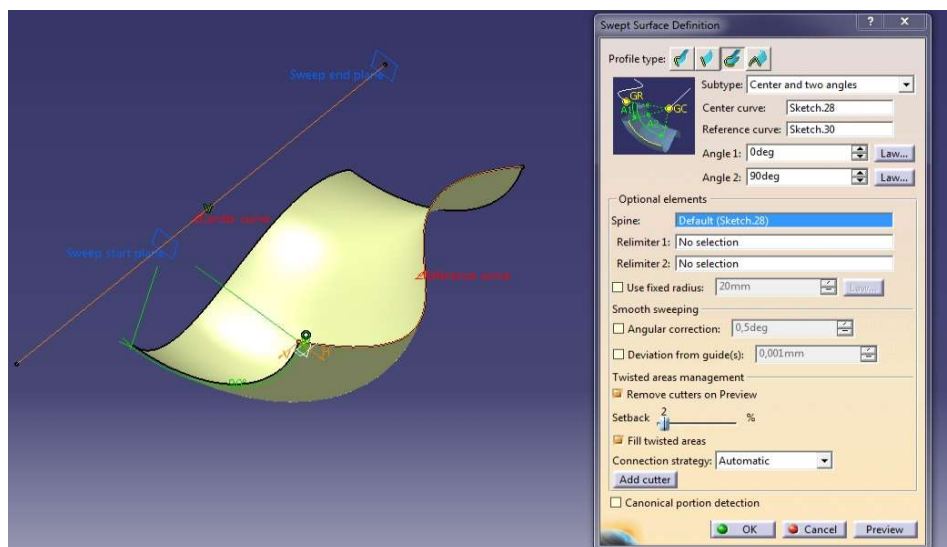
Ćwiczenie 6.13 Definiowanie polecenia *Swept – Center and two angles*

Wykonujemy szkic dwóch linii pokazanych na rysunku 4.6.13.1.



Rys. 4.6.13.1. Dwie linie zaprezentowane w przestrzeni 3D

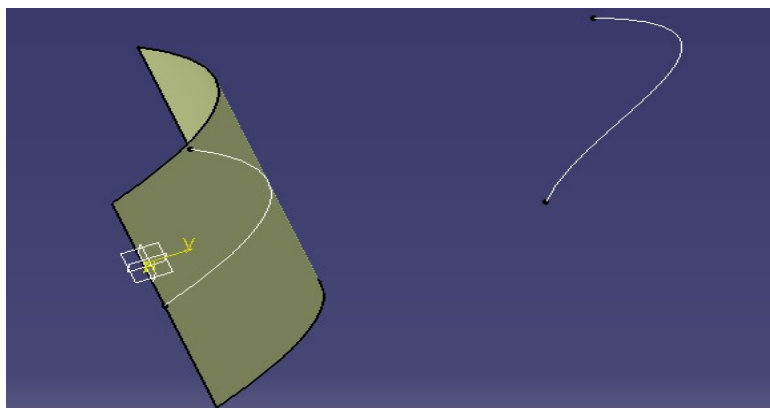
Korzystamy z narzędzia *Swept*  *Center and two angles* i wskazujemy narysowane linie po wprowadzeniu odpowiednich parametrów w oknie *Swept Surface Definition*. Wygląd otrzymanego modelu prezentuje rysunek 4.6.13.2.




Rys. 4.6.13.2. Powierzchnia otrzymana na podstawie krzywej i linii definiującej oś obrotu

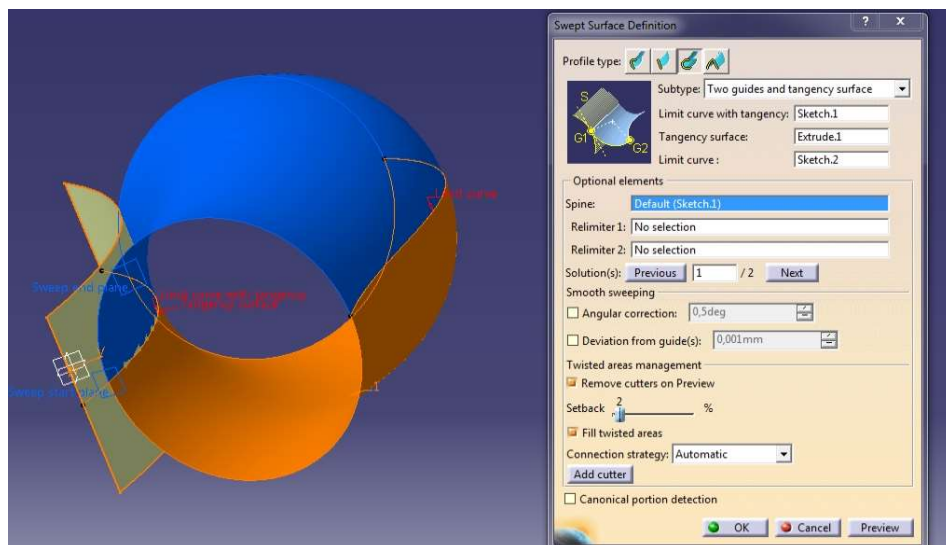
Ćwiczenie 6.14 Definiowanie *Swept – Two guides and tangency surface*

Rysujemy dwie linie, następnie wyciągamy krzywą po lewej stronie ekranu uzyskując model powierzchniowy, co prezentuje rysunek 4.6.14.1.



Rys. 4.6.14.1. Krzywa typu *Spline* oraz wyciągnięcie w kierunku normalnym do szkicu

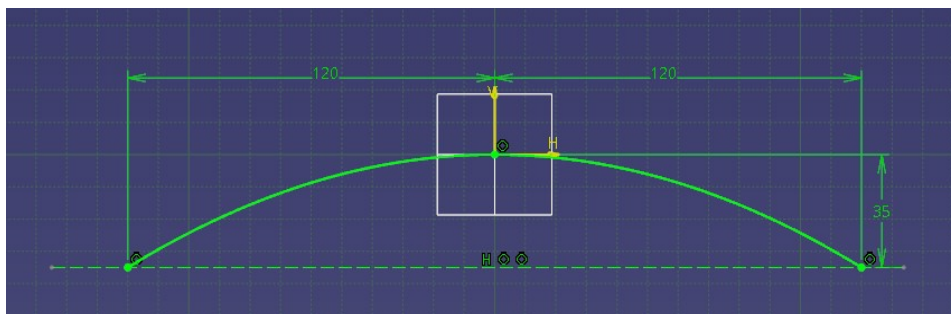
Po wybraniu funkcji *Swept*  *Two guides and tangency surface* oraz zdefiniowaniu parametrów okna *Swept Surface Definition* otrzymujemy model powierzchni przedstawiony na rysunku 4.6.14.2.



Rys. 4.6.14.2. Wyciągnięcie przez dwie linie styczne do powierzchni bazowej

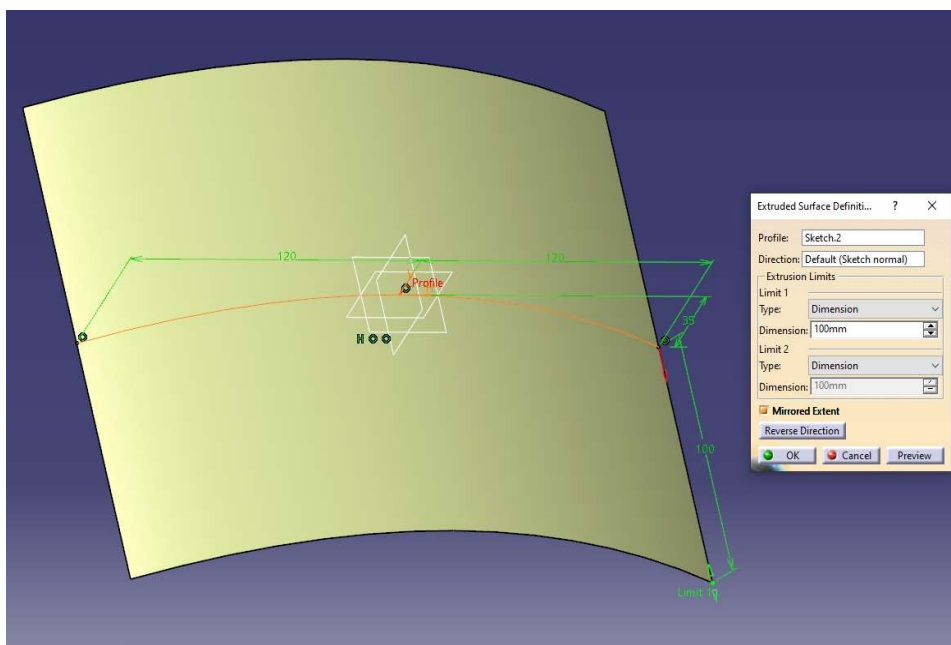
Ćwiczenie 6.15 Definiowanie *Swept – One guide and tangency Surface*

Wybieramy płaszczyznę i wykonujemy szkic analogicznie jak pokazano na rysunku 4.6.15.1.



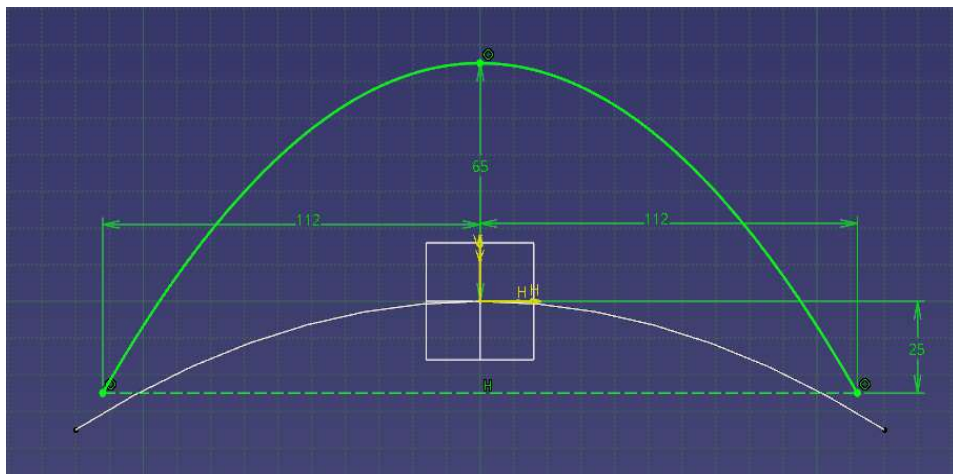
Rys. 4.6.15.1. Szkic krzywej typu *Spline*

W oparciu o wykonany szkic wykonujemy wyciągnięcie po wprowadzeniu założonych parametrów funkcji *Extrude Surface Definition*, otrzymując w rezultacie model powierzchni przedstawiony na rysunku 4.6.15.2.



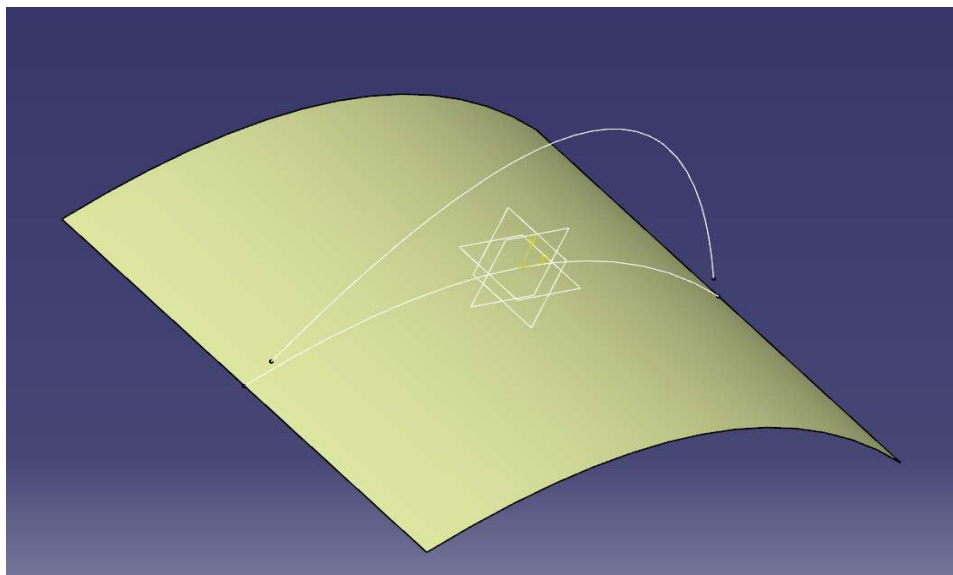
Rys. 4.6.15.2. Symetryczne wyciągnięcie szkicu w kierunku normalnym

Następnie wykonujemy szkic drugiej krzywej typu *Spline* na płaszczyźnie prostopadłej do kierunku wyciągnięcia zgodnie z rysunkiem 4.6.15.3.




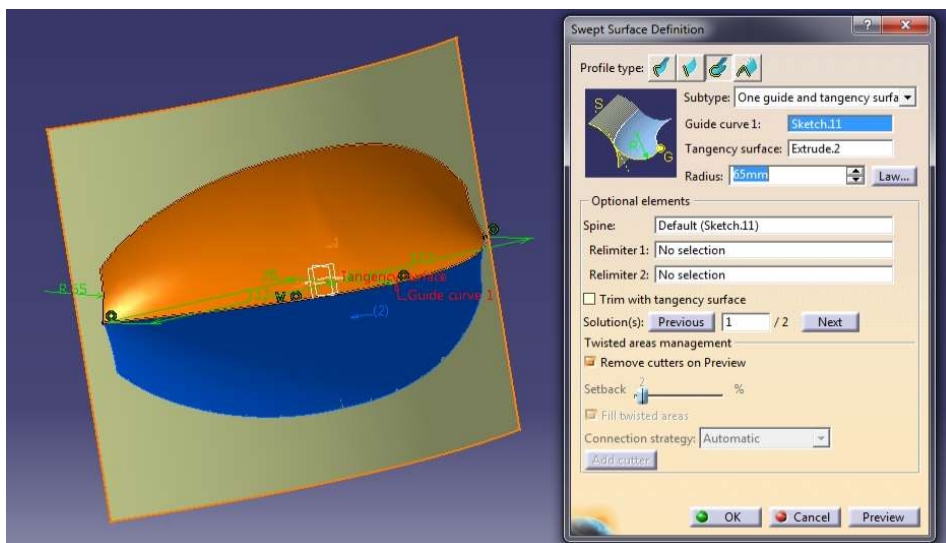
Rys. 4.6.15.3. Szkic na drugiej krzywej typu *Spline*

Wynik poprawnie wykonanego szkicu w odniesieniu do wyciągniętej powierzchni przedstawiono na rysunku 4.6.15.4.



Rys. 4.6.15.4. Wykonany szkic przedstawiony w środowisku 3D

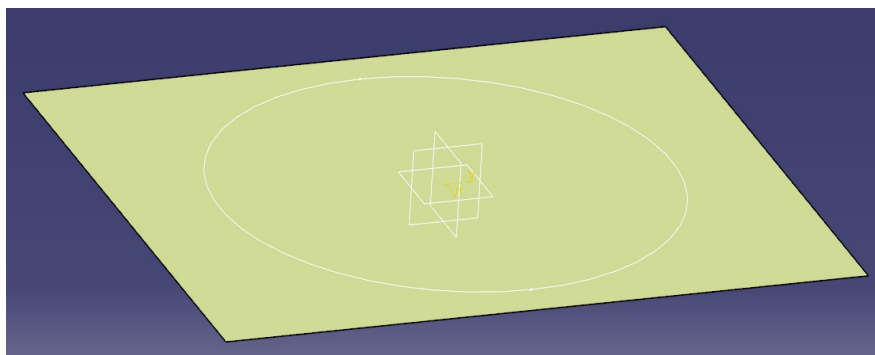
Wybieramy narzędzie *Swept*  *One guide and tangency Surface*. Po zdefiniowaniu pokazanych w oknie funkcji *Swept Surface Definition* parametrów tworzony jest model powierzchni przedstawiony na rysunku 4.6.15.5.




Rys. 4.6.15.5. Geometria powstała w efekcie wskazania krzywej i prostopadłej powierzchni

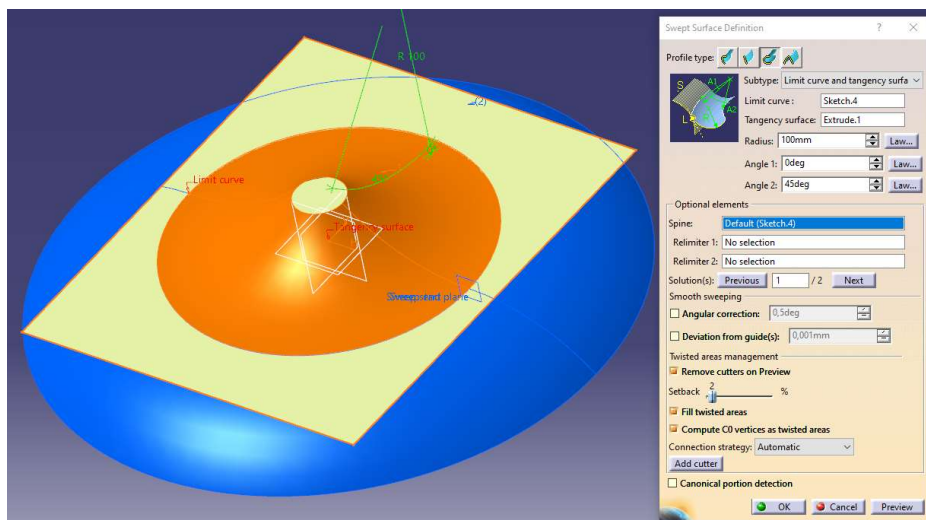
Ćwiczenie 6.16 Definiowanie *Swept* – *Limit curve and tangency Surface*

Wykonujemy powierzchnię poprzez wyciągnięcie, następnie na wykonanej powierzchni narysuj okrąg tak, jak zaprezentowano na rysunku 4.6.16.1.



Rys. 4.6.16.1. Geometria bazowa składająca się z powierzchni oraz leżącego na niej okręgu

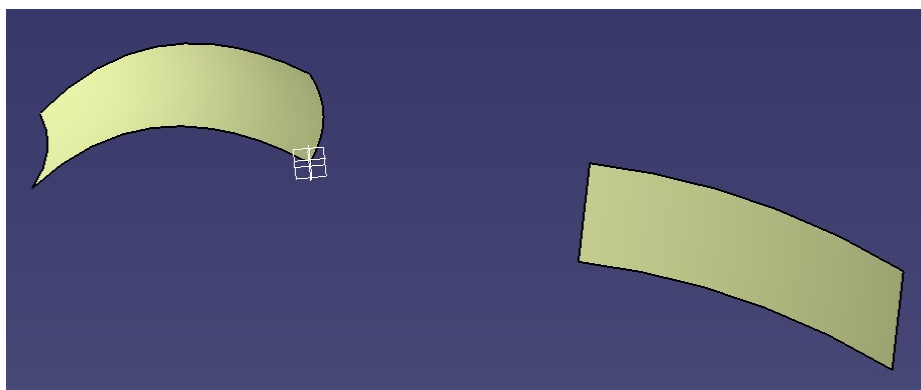
Wybieramy narzędzie *Swept*  *Limit curve and tangency Surface*. Po zdefiniowaniu pokazanych w oknie funkcji *Swept Surface Definition* parametrów tworzony jest model powierzchni przedstawiony na rysunku 4.6.16.2.




Rys. 4.6.16.2. Geometria powstała na podstawie zarysu i stycznej powierzchni

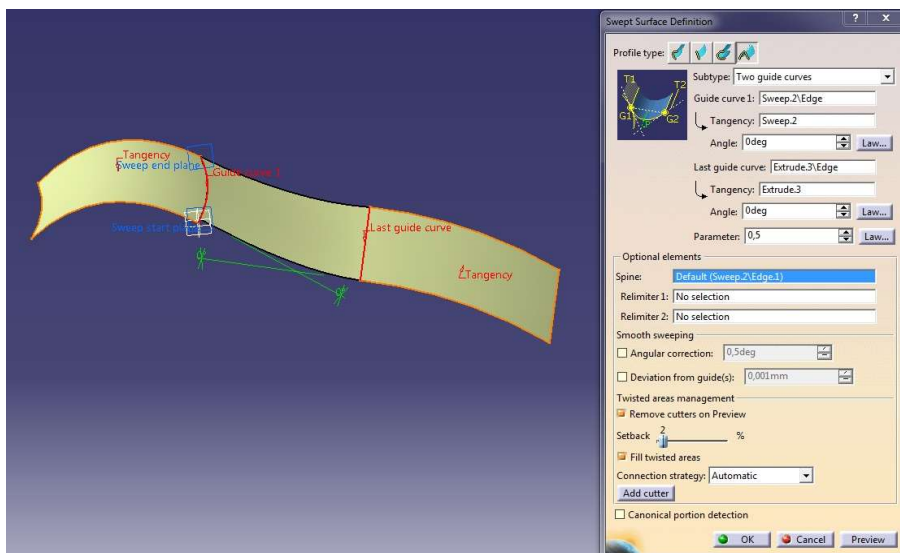
Ćwiczenie 6.17 Definiowanie polecenia *Swept* – *Two guide curves*

Modelujemy dwie niezależne powierzchnie odsunięte od siebie tak, jak zaprezentowano na rysunku 4.6.17.1.



Rys. 4.6.17.1. Dwie odsunięte od siebie powierzchnie

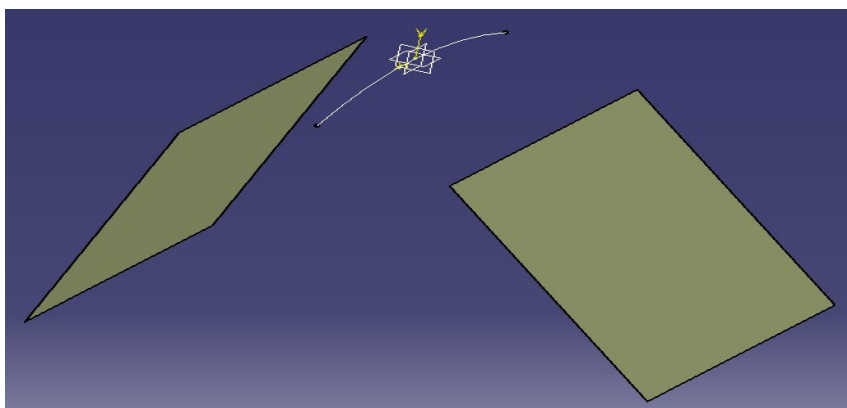
Wybieramy narzędzie *Swept*  *Two guide curves*. Po zdefiniowaniu pokazanych w oknie funkcji *Swept Surface Definition* parametrów tworzona jest powierzchnia przedstawiona na rysunku 4.6.17.2.



Rys. 4.6.17.2. Powierzchnia styczna do geometrii bazowej

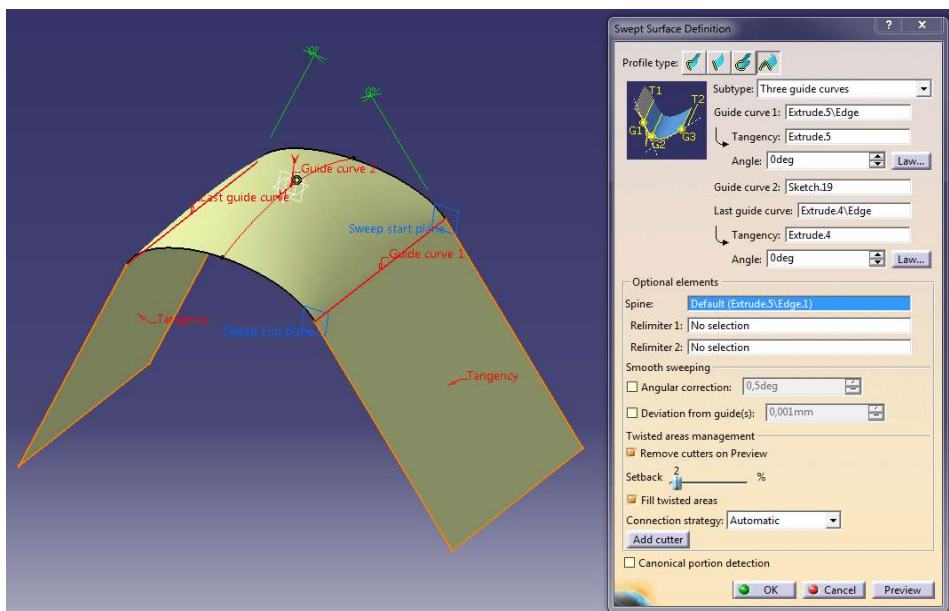
Ćwiczenie 6.18 Definiowanie polecenia *Swept* – *Three guide curves*

Wykonujemy dwie powierzchnie oraz linię tak, jak na rysunku 4.6.18.1.



Rys. 4.6.18.1. Geometria bazowa składająca się z dwóch powierzchni oraz linii

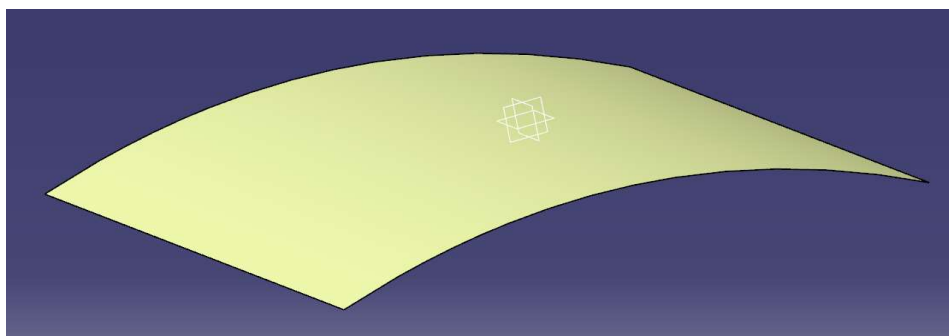
Po wybraniu funkcji *Swept*  *Three guide curves* oraz zdefiniowaniu parametrów okna *Swept Surface Definition* otrzymujemy model powierzchni przedstawiony na rysunku 4.6.18.2.



Rys. 4.6.18.2. Powierzchnia rozpięta stycznie do geometrii przez trzy linie

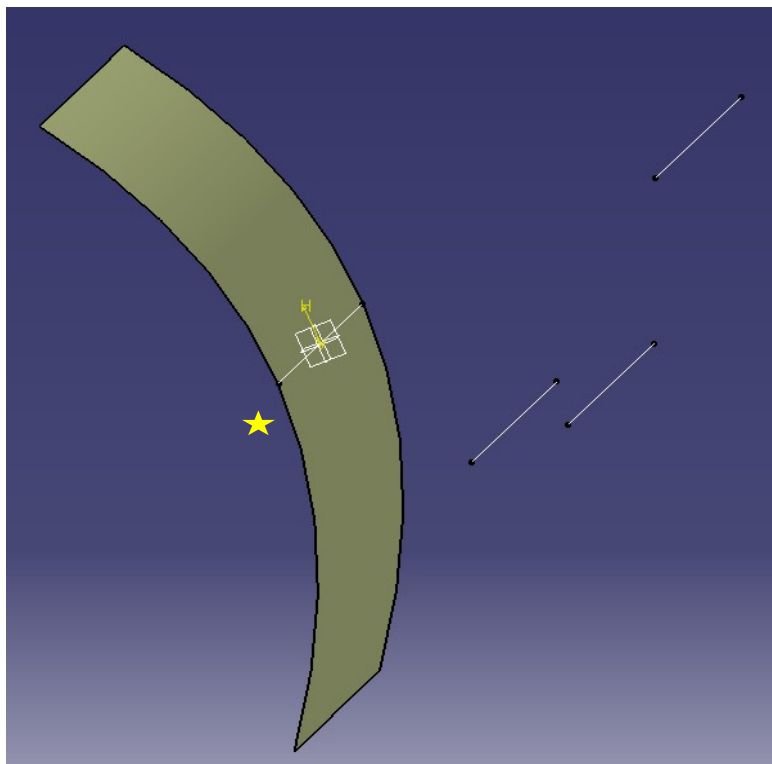
Ćwiczenie 6.19 Definiowanie polecenia *Swept* – *Four guide curves*

Wykonujemy powierzchnię poprzez wyciągnięcie tak jak na rysunku 4.6.19.1.



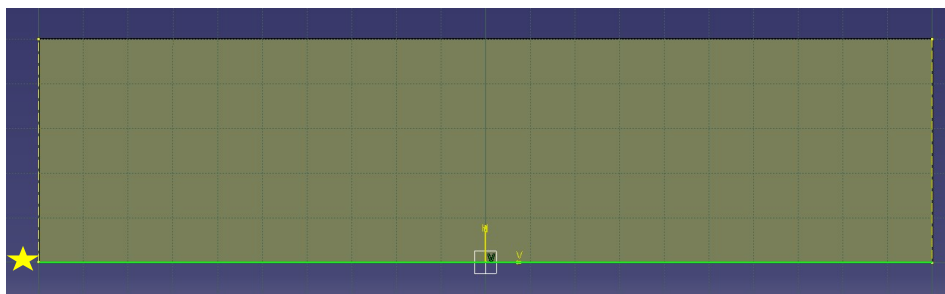
Rys. 4.6.19.1. Powierzchnia otrzymana poprzez wyciągnięcie

Następnie wykonujemy kolejno cztery odcinki, zaczynając od linii leżącej na powierzchni wyciągniętej, co prezentuje rysunek 4.6.19.2.




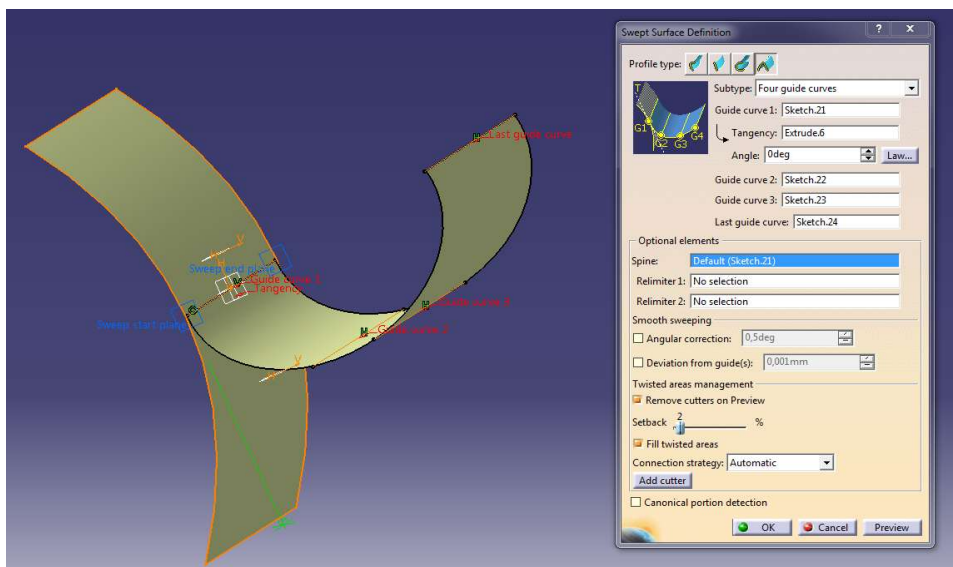
Rys. 4.6.19.2. Wykonane odcinki w odniesieniu do powierzchni

Pierwsza linia powinna być styczna do wykonanej wcześniej powierzchni (należy narysować ją poprawnie) tak, jak zaprezentowano na rysunku 4.6.19.3.



Rys. 4.6.19.3. Pierwszy odcinek wykonany stycznie do powierzchni

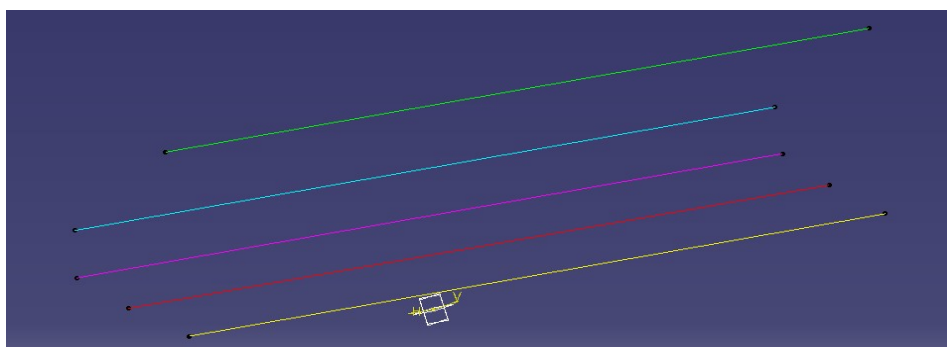
Po wybraniu funkcji *Swept*  *Four guide curves* oraz zdefiniowaniu parametrów okna *Swept Surface Definition* otrzymujemy powierzchnię przedstawioną na rysunku 4.6.19.4.




Rys. 4.6.19.4. Powierzchnia otrzymana na podstawie czterech linii

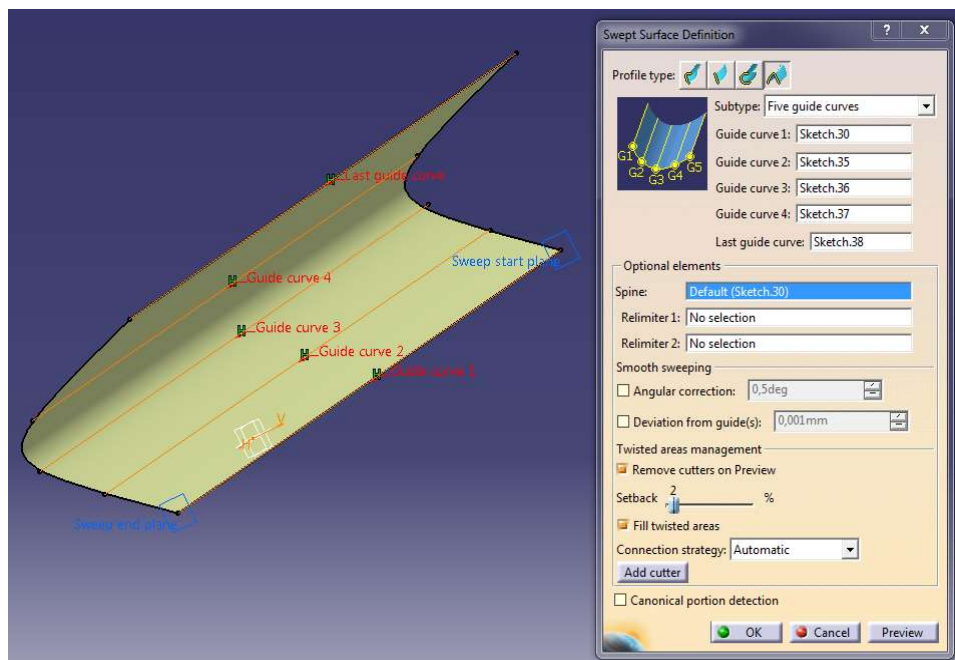
Ćwiczenie 6.20 Definiowanie polecenia *Swept* – *Five guide curves*

W tym ćwiczeniu należy narysować 5 linii rozmieszczonych w przestrzeni (dwie kolejne linie nie mogą leżeć na tej samej płaszczyźnie) – rysunek 4.6.20.1.




Rys. 4.6.20.1. Pięć linii w przestrzeni 3D

Wybieramy funkcję *Swept*  *Five guide curves*. Następnie należy zdefiniować parametry okna *Swept Surface Definition* w wyniku czego otrzymujemy powierzchnię przedstawioną na rysunku 4.6.20.2.



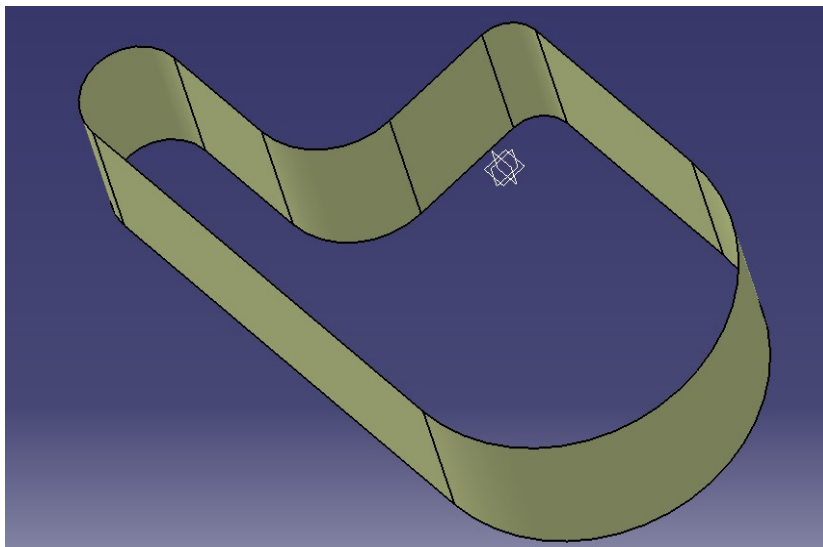
Rys. 4.6.20.2. Powierzchnia powstała na podstawie pięciu linii

4.7 Polecenie *Fill*


Polecenie *Fill*  służy do tworzenia wypełnień między powierzchniami. Narzędzie pozwala na generowanie powierzchni zapewniając ich ciągłość do klasy G1. Dodatkowo funkcja *Fill* umożliwia naprawę topologiczną geometrii, która posiada nieciągłości nie większe niż 0,1mm.

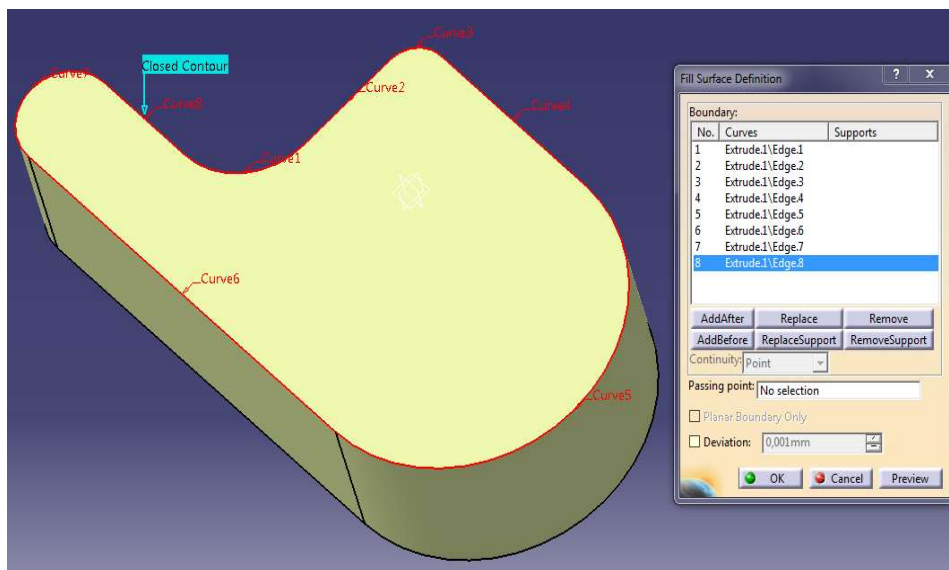
Ćwiczenie 7.1 Definiowanie polecenia *Fill*

Wybieramy płaszczyznę szkicu i rysujemy profil zamknięty. W kolejnym kroku definiujemy wyciągnięcie w kierunku normalnym. W efekcie tego zadania otrzymujemy powierzchnię przedstawioną na rysunku 4.7.1.1.




Rys. 4.7.1.1. Powierzchnia powstała na podstawie wyciągnięcia profilu zamkniętego

W celu wykonania powierzchni wybieramy polecenie *Fill* , następnie zamykamy profil wskazując kolejno poszczególne jego krawędzie. W efekcie otrzymujemy model powierzchniowy przedstawiony na rysunku. 4.7.1.2.



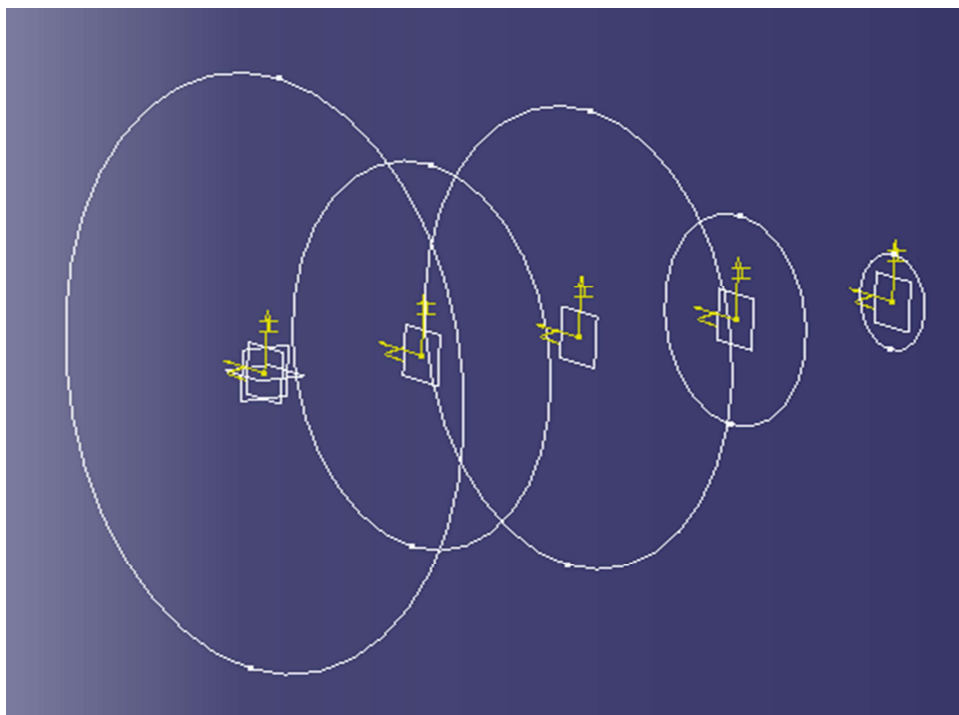
Rys. 4.7.1.2. Powierzchnia zamykająca profil

4.8 Polecenie *Multi-section Surfaces*


Polecenie *Multi-section Surfaces*  umożliwia wygenerowanie powierzchni poprzez rozpięcie jej na wcześniej przygotowanych profilach. Za pomocą opisywanej funkcji możliwe jest wykonywanie powierzchni stycznych do istniejących. Rozpinanie powierzchni pomiędzy powierzchniami odbywa się w sposób automatyczny lub poprzez wygenerowanie krzywych przejścia. Dodatkowo polecenie posiada narzędzie topologiczne służące do naprawy ciągłości modelowanych powierzchni.

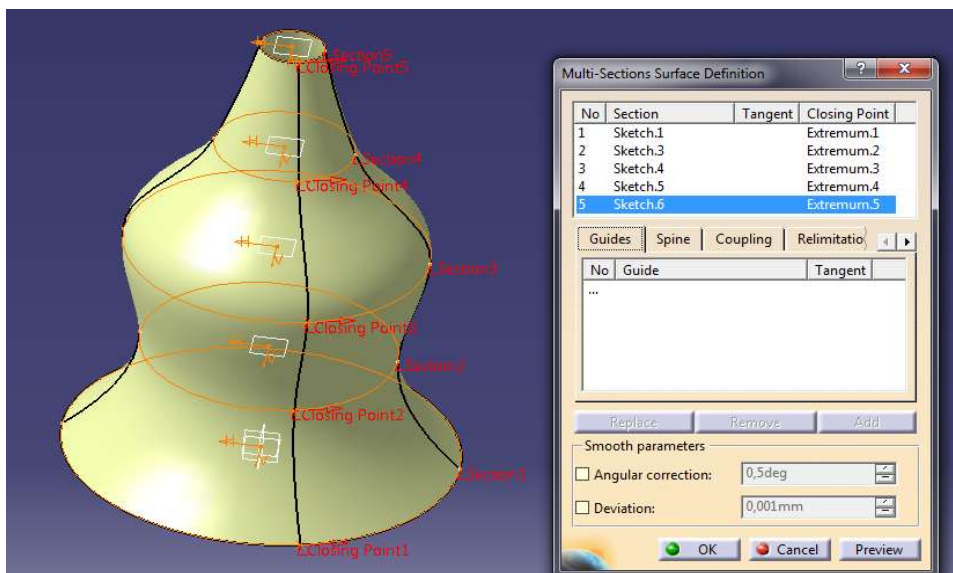
Ćwiczenie 8.1 Definiowanie polecenia *Multi-section Surfaces*

Wykonujemy kolejno cztery płaszczyzny typu *offset* oddalone jedna od drugiej w określonej odległości. Na każdej z nich rozpoczynając od płaszczyzny określonej przez system szkicujemy okrąg. W wyniku otrzymujemy pięć okręgów odsuniętych od siebie – rysunek 4.8.1.1.




Rys. 4.8.1.1. Szkic pięciu okręgów

Następnie wybieramy polecenie *Multi-section Surfaces*  i wskazujemy kolejno wykonane szkice. W efekcie otrzymujemy model powierzchniowy zaprezentowany na rysunku 4.8.1.2.



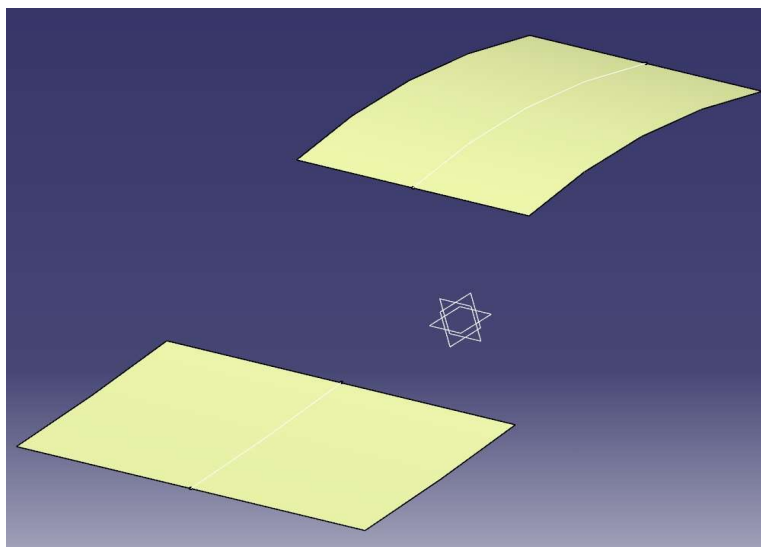
Rys. 4.8.1.2. Powierzchnia wygenerowana na podstawie pięciu profili

4.9 Polecenie *Blend*


Narzędzie *Blend*  służy do tworzenia powierzchni wpasowanej rozpiętej pomiędzy krawędziami dwóch istniejących powierzchni. Generowana powierzchnia może posiadać zdefiniowany typ ciągłości względem istniejącej geometrii. Dodatkowo polecenie posiada narzędzie topologiczne służące do naprawy ciągłości modelowanych powierzchni.

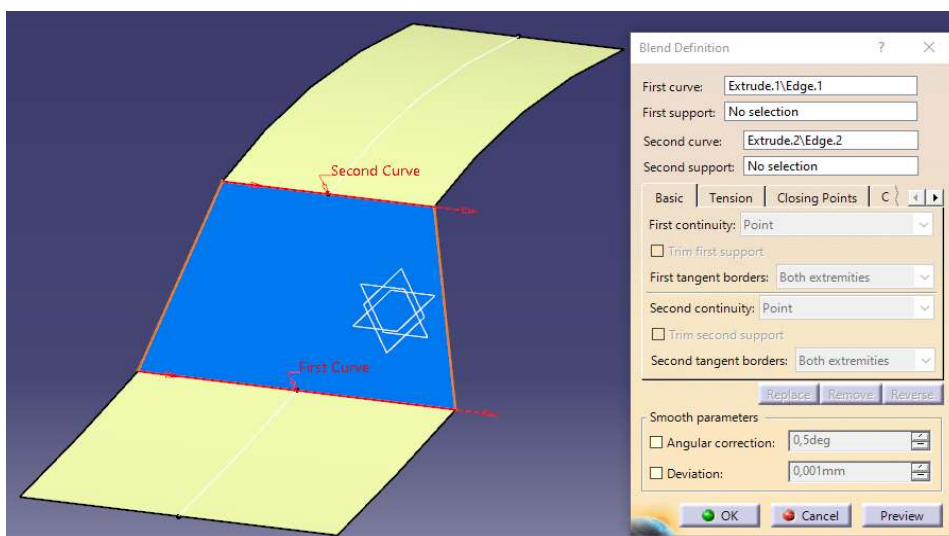
Ćwiczenie 9.1 Definiowanie polecenia *Blend*

Na wstępie należy wykonać dwie niezależne powierzchnie leżące na płaszczyznach przesuniętych względem siebie. W tym celu szkicujemy dwa szkice a następnie wyciągamy je na zbliżoną długość. W efekcie otrzymujemy geometrię przedstawioną na rysunku 4.9.1.1.



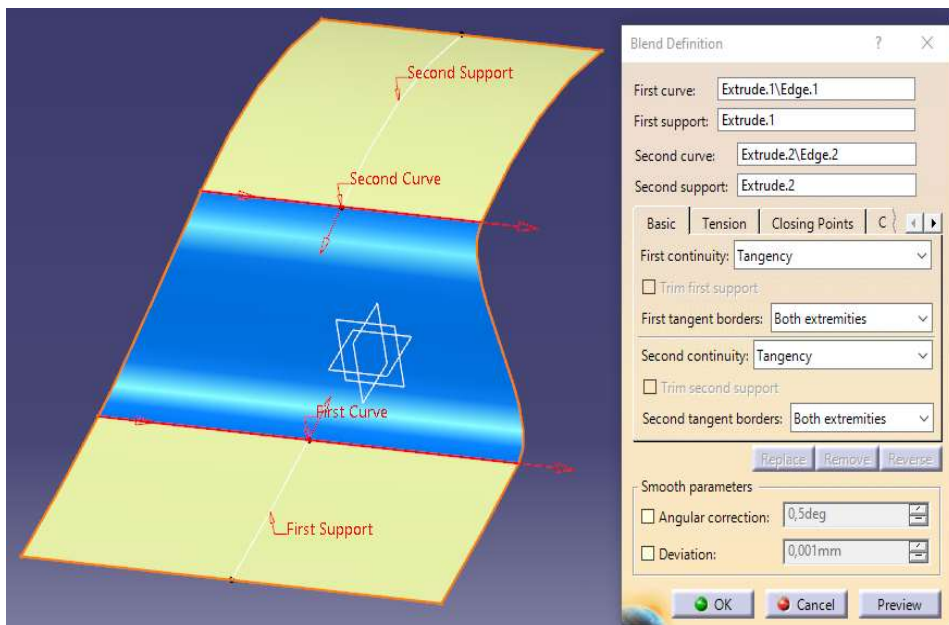
Rys. 4.9.1.1. Powierzchnie otrzymane na podstawie wyciągnięcia krzywych

Wybieramy polecenie *Blend*  i definiujemy kolejno parametry okna *Blend Definition* łącząc odpowiednie krawędzie wskazanych powierzchni. Efekt powstałej powierzchni przejścia o ciągłości G0 zaprezentowano na rysunku 4.9.1.2.




Rys. 4.9.1.2. Powierzchnia przejścia – ciągłość typu G0

W celu otrzymania stycznej powierzchni przejścia należy zmodyfikować parametry okna *Blend Definition* zgodnie z rysunkiem 4.9.1.3.



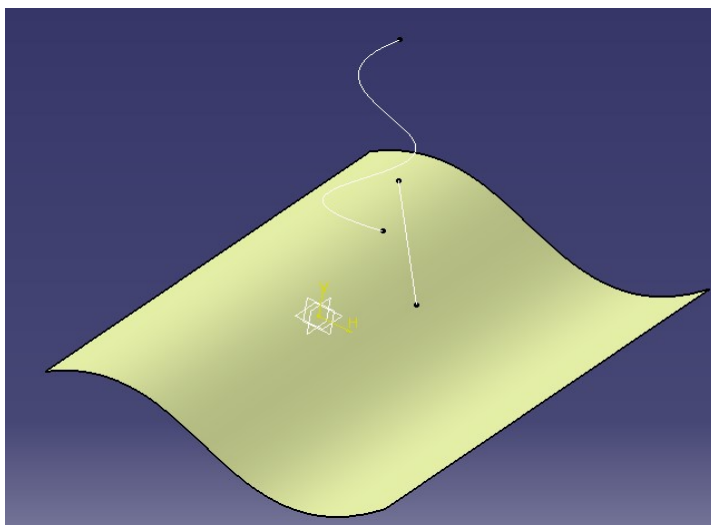
Rys. 4.9.1.3. Powierzchnia przejścia – ciągłość typu G1

4.10 Polecenie *Projection*


Polecenie *Projection*  służy do tworzenia rzutu zarysu na powierzchni. Rzutowaną geometrią mogą być zarówno wykonane szkice, jak również wyodrębnione krawędzie istniejącego modelu powierzchniowego. Omawiane polecenie umożliwia definiowanie kierunku rzutowania.

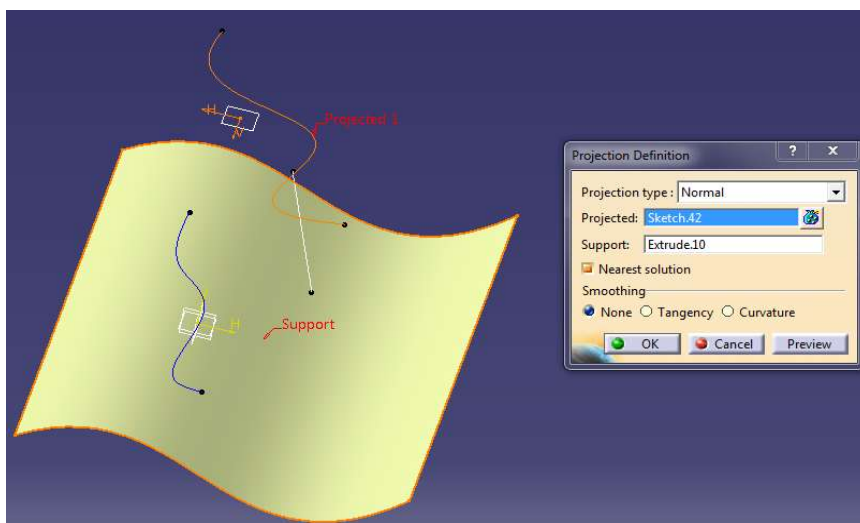
Ćwiczenie 10.1 Definiowanie polecenia *Projection*

Wykonujemy powierzchnię poprzez wyciągnięcie krzywej typu *Spline* oraz prowadnicę do rzutowania (odcinek prostej). W efekcie otrzymujemy geometrię bazową do ćwiczenia zaprezentowaną na rysunku 4.10.1.1.




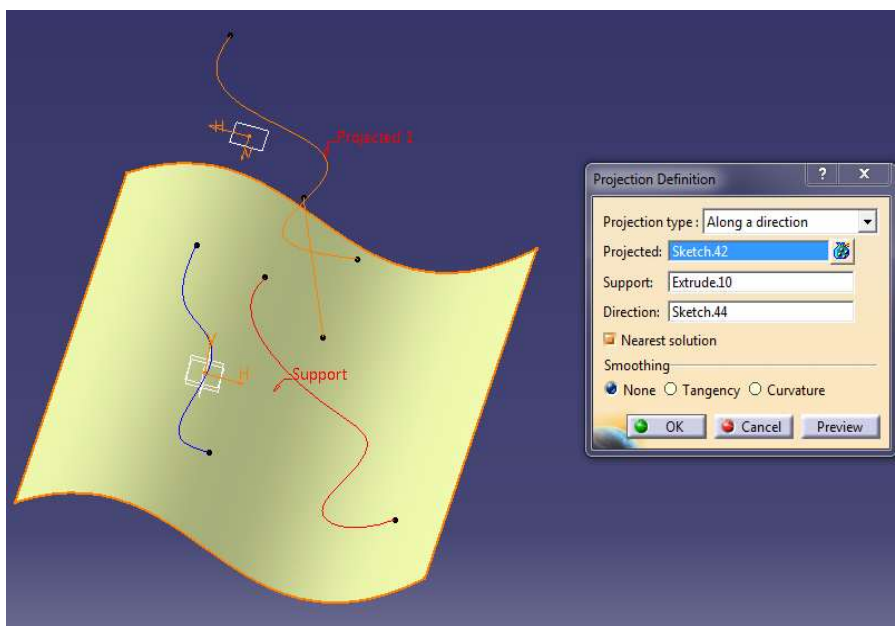
Rys. 4.10.1.1. Geometria bazowa: powierzchnia, krzywa oraz odcinek

Wybieramy polecenie *Projection* , następnie definiujemy okno *Projection Definition*: wskazujemy krzywą oraz powierzchnię rzutowania. Rzut krzywej typu *Spline* na wskazaną powierzchnię w kierunku normalnym zaprezentowano na rysunku 4.10.1.2.



Rys. 4.10.1.2. Rzut krzywej na powierzchnię w kierunku normalnym

W celu zrzutowania krzywej w zadanym kierunku należy wybrać ponownie narzędzie *Projection* , następnie zmienić ustawienie *Projection type* na *Along a direction* i wskazać wykonany na wstępie odcinek. Efekt wykonanego ćwiczenia zaprezentowano na rysunku 4.10.1.3.



Rys. 4.10.1.3. Rzut krzywej na powierzchnię w zdefiniowanym przez odcinek kierunku

W niniejszym rozdziale opisane zostały na podstawie elementarnych ćwiczeń niezbędne narzędzia służące do generowania podstawowych powierzchni w systemie *CATIA V5*. Należy mieć na uwadze, że znajomość wyżej przedstawionych poleceń modułu *Generative Shape Design* jest wstępem podczas wdrażania się w proces modelowania powierzchniowego. Kolejny krok nauki projektowania wiąże się z poznaniem operacji wykorzystujących powierzchnie elementarne w celu wygenerowania skomplikowanych geometrii przestrzennych.

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