

KOMPUTEROWE WSPOMAGANIE PROJEKTOWANIA

PODRĘCZNIK. STUDIA PRZYPADKÓW



MIROSLAW GUZIK

10
TOM

KOMPUTEROWE WSPOMAGANIE PROJEKTOWANIA

**Część pierwsza
Podręcznik**

Mirosław Guzik

Lublin 2021

Seria wydawnicza:
Kompetencje, Wiedza, Innowacje – Zintegrowany Program Rozwoju WSEI w Lublinie –
Etap II
Tom 10

KOMPUTEROWE WSPOMAGANIE PROJEKTOWANIA
Cz. I – Podręcznik Cz. II – Studia przypadków

Autor:
Miroslaw Guzik
ORCID: 0000-0003-3351-9039

Recenzenci:
dr inż. Arkadiusz Małek
dr inż. Paweł Lonkwic

Korekta:
Teresa Markowska

Skład, łamanie:
Marta Krysińska-Kudlak

Projekt okładki:
Patrycja Kaczmarek

Grafika na okładce:
mindandi/ Freepik.com
rawpixel.com/Freepik.com

@Copyright by
Innovatio Press, Lublin 2021

Wszelkie prawa zastrzeżone. W sprawie kopiowania lub rozpowszechniania fragmentów
albo całości niniejszej pracy należy kontaktować się z wydawcą.

Publikacja oraz recenzje zrealizowano w ramach Programu Operacyjnego Wiedza Edukacja
Rozwój 2014-2020 współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego.

Proces wydawniczy (korekta, skład) sfinansowano z dotacji na zadania związane z zapew-
nieniem osobom niepełnosprawnym warunków do pełnego udziału w procesie kształcenia.

Printed in Poland
Innovatio Press Wydawnictwo Naukowe
Wyższej Szkoły Ekonomii i Innowacji
20-209 Lublin, ul. Projektowa 4
tel.: +48 81 749 17 77, fax: + 48 81 749 32 13
www.wsei.lublin.pl

ISBN – wersja elektroniczna: 978-83-66159-84-6

Spis treści

Wstęp	5
1. Pojęcie i obszary komputerowego wspomagania projektowania	7
1.1. Rys historyczny i rozwój funkcjonalności oprogramowania CAD	8
1.2. Obszary komputerowo wspomaganego projektowania	12
1.3. Grafika wektorowa i rastrowa w zastosowaniach CAD	13
2. Podstawy modelowania bryłowego	15
2.1. Szkice płaskie w operacjach bryłowych	16
2.2. Metody tworzenia najprostszych brył	18
2.3. Tryb synchroniczny i sekwencyjny	22
3. Złożenia – wirtualne zespoły części	26
4. Wykonywanie technicznej dokumentacji rysunkowej na podstawie modeli 3D	30
5. Metody generowania krzywych	34
6. Kolejne metody tworzenia brył.....	39
6.1. Wyciągnięcie przez przekroje.....	40
6.2. Wyciągnięcie śrubowe.....	41
6.3. Wyciągnięcie po ścieżce	43
7. Specjalistyczne narzędzia Solid Edge.....	46
7.1. Modelowanie części blaszanych	47
7.2 Konstrukcje ramowe	52

8. Zagadnienia inżynierii odwrotnej	59
8.1. Proces skanowania 3D.....	60
8.2. Od skanowania do edytowalnego modelu CAD	62
9. Zagadnienia kontroli jakości wymiarowej	65
10. ĆWICZENIA – Kurs laboratorium CAD.....	72
10.1. ZADANIE 1	72
10.2. ZADANIE 2.....	78
10.3. ZADANIE 3	82
10.4. ZADANIE 4	86
10.5. ZADANIE 5	89
10.6. ZADANIE 6.....	95
10.7. ZADANIE 7	102
10.7.1. Wykonanie modelu pojemnika.....	102
10.7.2. Wykonanie modelu pokrywy.....	106
10.7.3. Wykonanie modelu śrubki.....	107
10.7.4. Model złożenia wykonanych elementów.....	109
10.8. ZADANIE – Model 3D tłoka silnika spalinowego.....	112
11. KOŁOKWIUM – model zespołu piasty.....	117
11.1. Treść zadania	117
11.2. Przykładowe rozwiązanie	118
Literatura	122

Wstęp

Podręcznik stanowi zbiór materiałów przeznaczonych do realizacji zajęć opierających się na podstawowej funkcjonalności aktualnej wersji oprogramowania CAD Solid Edge na licencji studenckiej w zakresie modułu „Komputerowe wspomaganie projektowania”. Przedstawione przykłady i zadania dotyczą głównie modelowania bryłowego w środowisku ‘Część (ISO metryczne)’. W tym celu niezbędne są umiejętności rysowania płaskich szkiców, które były jednym z najważniejszych zagadnień praktycznych modułu ‘Rysunek techniczny cz. 2’. Naukę należałoby zatem rozpocząć od przypomnienia sobie tych zagadnień.

Skrypt podzielony jest na dwie części. Pierwsza dotyczy kursu wykładów, gdzie opisane są ogólne zagadnienia, związane z dziedziną komputerowego wspomagania projektowania oraz te związane z praktycznymi możliwościami oprogramowania CAD. Uwzględniono także przykłady z obszarów pochodnych komputerowego wspomagania projektowania, jak zagadnienia inżynierii odwrotnej oraz kontroli jakości wymiarowej.

Druga część skryptu zawiera szczegółowy opis zadań, wykonywanych w ramach kursu laboratorium. Zadania przeznaczone są do wykonania w środowisku ‘Część (ISO metryczne)’ w trybie synchronicznym oraz w środowisku ‘Złożenie (ISO metryczne)’. Zadania mają na celu nabycie praktycznych umiejętności tworzenia części w oparciu o podstawowe metody modelowania bryłowego oraz modelowania zespołów, składających się z niewielkiej liczby elementów.

Nauka oczywiście nie kończy się na kilkunastu godzinach laboratorium. Celem modułu jest zachęcenie studentów do własnych eksperymentów z oprogramowaniem Solid Edge i przekonanie o jego wszechstronności w zastosowaniach technicznych. Dotyczy to w szczególności indywidualnych pomysłów, których realizacja może być dużo łatwiejsza przy użyciu oprogramowania CAD i może za-

pewnić rozwiązanie o znacznie lepszej jakości. Samodzielna realizacja tego rodzaju projektów daje dużo satysfakcji i możliwość rozwoju swoich umiejętności.

Podsumowując, o ile mamy w głowie techniczne pomysły i chcemy je zrealizować, warto skorzystać z tego rodzaju narzędzi. Po pierwsze, zaczniemy coś robić, nawet jeśli nie mamy materiału i nie wszystko skompletowaliśmy. Po drugie, nasza realizacja będzie dzięki temu dużo doskonalsza i przemyślana. Przewidzimy wiele problemów już na etapie projektowania, a projekt będziemy mogli wielokrotnie ulepszać. Poza tym nauczymy się czegoś ciekawego. Jeśli byłby to nawet projekt półki na ścianę w module 'Część' lub plan rozmieszczenia wyposażenia łazienki w module 'Rysunek' to warto od tego zacząć. Przy okazji uczymy się ciekawych i pożytecznych rzeczy, które będą nam się przydawać coraz częściej.

1. Pojęcie i obszary komputerowego wspomagania projektowania



Z definicji **Komputerowo Wspomagane Projektowanie** (ang. *Computer Aided Design*) w skrócie **CAD** oznacza zastosowanie sprzętu i oprogramowania komputerowego w projektowaniu technicznym. Metodologia CAD znajduje zastosowanie między innymi w inżynierii mechanicznej, elektrycznej, budowlanej.



WAŻNE

Znamienne dla CAD jest cyfrowe modelowanie geometryczne, mające na celu opracowanie zapisu konstrukcji wyrobu (jednego obiektu technicznego lub ich zespołu).

1.1. Rys historyczny i rozwój funkcjonalności oprogramowania CAD

Pojęcie komputerowego wspomagania projektowania jest dość szerokie i stale się zwiększa wraz z rozwojem nowoczesnych technologii. Na przykład 20–30 lat temu możliwości sprzętowe systemów komputerowych nie były na tyle wysokie, aby zapewniać wydajną obróbkę wektorowej grafiki trójwymiarowej. Pod pojęciem systemów CAD rozumiało się wówczas oprogramowanie umożliwiające tworzenie rysunków technicznych, które następnie mogły być drukowane lub bardziej profesjonalnie – wykreślane przy użyciu ploterów, posługujących się pisakami o różnych kolorach i grubościach.

Pionierskim oprogramowaniem był wówczas system **AutoCAD firmy Autodesk**. W pierwszych wersjach tego programu rysowanie polegało na wpisywaniu instrukcji w oknie systemowym, które powodowały kreślenie danych elementów wektorowych o odpowiednio zadanych parametrach liczbowych. Zapis konstrukcji, nawet w tak wydawałoby się uciążliwy sposób, miał nieporównywalne zalety względem tradycyjnych technik kreślarskich. Umożliwiał przede wszystkim edytowalność projektu i łatwe generowanie jego kopii.

Klasyczną alternatywą było skrobanie żyłką wykreślonych w tuszu linii lub pracochłonne kreślenie rapitografami kolejnych kopii na kalce technicznej.

Kolejne wersje tego oprogramowania zapewniły możliwość wyboru narzędzi, zgrupowanych w boksie z ikonami oraz rysowania przy użyciu kursora myszki. Wykonane raz elementy można było grupować, kopiować i wklejać, co znacznie przyspieszało proces projektowania. Można powiedzieć, że funkcjonalność oprogramowania wzrosła do takiej, jaką znamy z typowych programów do tworzenia **grafiki wektorowej 2D**. Jednak oprogramowanie AutoCAD znacznie lepiej nadawało się do zastosowań inżynierskich od popularnego do dzisiaj pakietu **CorelDRAW**, bo było tworzone właśnie w tym celu. Ułatwiało np. zadawanie ciągów wymiarowych oraz zapewniało zgodność z normami branżowych rysunków technicznych.

Jednocześnie **w dziedzinie grafiki komputerowej intensywnie rozwijało się oprogramowanie do wektorowej grafiki 3D**, które np. umożliwiało **generowanie fotorealistycznych obrazów**. Ze względu na ograniczone możliwości komputerów, technika ta była dość statyczna i polegała na konstruowaniu prostych obiektów trójwymiarowych, którym przypisywano właściwości optyczne określone m.in. próbkami obrazów, symulującymi powierzchnię różnorodnych materiałów.

Generowanie obrazu polegało na tzw. Ray Tracing'u, czyli numerycznym „śledzeniu” promienia światła od jego zadanego źródła, odbijającego się lub załamującego w wirtualnej przestrzeni. W wyniku tych obliczeń generowany był obraz, który można postrzegać jako realistyczny. Do jakiego stopnia ta technika się rozwinięła, możemy sami zaobserwować na przykładzie gier 3D. Obliczenia komputerowe stały się na tyle szybkie, że modele składające się z tysięcy trójkątów, są wizualizowane w czasie rzeczywistym jako szybko poruszające się obiekty. Jednak zasada się nie zmieniła.

Kolejny wielki krok rozwoju systemów CAD polegał zatem na **wykorzystaniu trójwymiarowej grafiki wektorowej**. Początkowo systemy tego rodzaju były zastrzeżone dla wielkich korporacji (np. produkujących samoloty) z powodu wysokich, jak na tamte czasy, wymagań sprzętowych oraz wysokiego kosztu takiego oprogramo-

wania. Pionierami tamtych czasów był amerykański IDEAS oraz francuska CATIA. Była to prawdziwa rewolucja w projektowaniu komputerowym, bo konstruowanie nie polegało już głównie na wyobrażaniu sobie przestrzennego obiektu, którym od tej pory można było dowolnie manipulować w wirtualnej trójwymiarowej przestrzeni.

Dalszy rozwój informatyki upowszechnił możliwości tego rodzaju oprogramowania do **inżynierskiego modelowania 3D**. Na czołówkę popularnych programów wysunął się **program Solid Works**, który oprócz modelowania przestrzennego, zapewnił możliwość wykonywania **złożonych obliczeń inżynierskich i symulacji numerycznych**. Producenci AutoCAD'a chwilowo zatrzymali się, ale następnie także zaczęli intensywnie rozwijać swoje oprogramowanie w kierunku modelowania 3D, tracąc jednak pozycję lidera.

Po kilku latach na rynku pojawiło się **oprogramowanie Solid Edge**, które następnie przejęła firma Siemens. Z zasady, oprogramowanie miało zapewnić intuicyjną łatwość obsługi, charakterystyczną dla typowych aplikacji systemu Windows (nie powstawało na inne platformy). Przyjęcie tej zasady odróżniało ten system od innych programów CAD, których obsługa często była dość specyficzna. Solid Edge zdobył niesłychaną popularność głównie z powodu powszechnej dostępności na bezpłatnych licencjach do zastosowań niekomercyjnych. Natomiast koszt zakupu tego oprogramowania do celów komercyjnych od początku był konkurencyjny.

Oprogramowanie Solid Edge jest stale rozwijane i często aktualizowane. W ciągu roku pojawia się co najmniej jedna nowa wersja. Oprogramowanie standardowo **umożliwia wykonywanie symulacji metodą elementów skończonych, animowania ruchomych złożów oraz tworzenia fotorealistycznych wizualizacji w skojarzonym programie „KeyShot”**. W ciągu ostatnich lat producent upowszechnia tryb synchroniczny już nie jako alternatywną metodę tworzenia części, ale podstawową. Rozwinięcie nazwy Solid Edge ST pochodzi właśnie od słów *Synchronus Technology*. Analogiczne narzędzia do swobodnego modelowania obiektu były w konkurencyjnych systemach oferowane jako osobno kupowany moduł.

Osiągnięta w ten sposób popularność systemu Solid Edge, wykorzystywanego do projektowania, przekłada się na popularność zaawansowanego i znacznie droższego oprogramowania tego samego producenta do komputerowego wspomagania wytwarzania. **System NX** jest obecnie bezkonkurencyjny w zastosowaniach przemysłowych, polegających na **przetwarzaniu modeli 3D elementów w celu przygotowania programów obrabiarek sterowanych numerycznie**. Oprogramowanie NX zapewnia wysoki stopień zgodności z systemami maszyn CNC, umożliwiając dokładną symulację ich pracy oraz wysoką funkcjonalność, polegającą na generowaniu optymalnych ścieżek pracy narzędzia skrawającego. Czynnikiem charakteryzującym oba systemy producenta jest zbliżony interfejs oraz identyczne zasady nawigacji. Dla użytkownika „przesiadającego się” pomiędzy tymi systemami, wydają się one dość intuicyjne.

Równolegle rozwijającym się **obszarem CAD są narzędzia do tzw. inżynierii odwrotnej**. Zapewniają one funkcjonalność polegającą na obróbce siatki trójkątów, będących produktami skanowania i odtwarzania na ich bazie dokładnych modeli bryłowych (zwanymi potocznie modelami CAD). W tym zakresie prym wiedzie firma 3D System, która jest producentem **flagowego oprogramowania do inżynierii odwrotnej Geomagic Design X**. Ten producent także zapewnia pakiet analogicznych programów do modelowania bryłowego dawniej pod nazwą Geomagic Alibre a obecnie Geomagic Design oraz oprogramowania do modelowania powierzchniowego i wizualizacji 3D. Produktem tej firmy jest także **Geomagic Control**, służący do kontroli jakości wymiarowej przez porównywanie skanów rzeczywistych obiektów do ich nominalnych modeli CAD, na podstawie których zostały wytworzone.

Jednak najważniejszym i niezrównanym narzędziem do inżynierii odwrotnej aktualnie pozostaje Geomagic Design X, tym bardziej, że firma postanowiła wzmocnić ten produkt implementując w nim wiele narzędzi znanych z innych modułów, które przedtem należało zakupić osobno. Licencje Geomagic są jednak dość drogie, a bezpłatnie można skorzystać jedynie z dwutygodniowej wersji próbnej.

I tu znowu wracamy **do Solid Edge, w którego kolejnych wersjach implementowane są analogiczne narzędzia do inżynierii odwrotnej w środowisku służącym do modelowania części**. Na-

rzędzia dostępne są w podstawowej wersji i na razie ich funkcjonalność jest dość ograniczona względem Geomagic Design X, który pod tym względem można żartobliwie nazwać „kombajnem”. Jednak dostępność tych uproszczonych narzędzi, szczególnie do indywidualnych celów praktycznych oraz dydaktyki, może poważnie zagrozić drogiemu produktowi firmy 3D System.

Podsumowując ten rozdział, warto zastanowić się nad tym co oznaczało pojęcie komputerowo wspomaganego projektowania załóżmy 30 lat temu i jak się ono rozszerzyło przez kolejne dekady.

1.2. Obszary komputerowo wspomaganego projektowania



WAŻNE

Zakres komputerowo wspomaganego projektowania możemy określić w przykładach jako odwzorowanie konstrukcji, modelowanie numeryczne, wykonywanie dokumentacji rysunkowej z modeli cyfrowych.

Nadal zalicza się do niego zadania polegające na zastosowaniu komputera jako rodzaju elektronicznej deski kreślarskiej.

Można do niego także zaliczyć opracowywanie i zarządzanie bazami danych (elementów znormalizowanych, własności materiałowych itp.).

Kolejne zagadnienia wchodzące w skład CAD to symulacja, wizualizacja i animacja – CAID (cyfrowe prototypowanie, przygotowywanie fotorealistycznych prezentacji itp.).

Obecnie pojęcie **komputerowo wspomaganego projektowania** stało się na tyle szerokie, że w celu usystematyzowania i organizacji konieczne jest wydzielenie analogicznych pojęć, określających kolejne obszary zastosowań inżynierskich.

I tak, możemy wyróżnić:

- **CAE** – Komputerowo wspomagane konstruowanie (ang. *Computer Aided Engineering*);
- **CAM** – Komputerowo wspomagane wytwarzanie (ang. *Computer Aided Manufacturing*);
- **CAQ** – Komputerowo wspomagana kontrola jakości (ang. *Computer Aided Quality Control*).

Do komputerowo wspomaganego konstruowania można zaliczyć **optymalizację konstrukcji i procesów** (analizy kinematyczne, modelowanie przepływów itp.), obliczenia inżynierskie (np. metodą elementów skończonych – MES).

Dalszy podział nie jest jednak wystarczająco ścisły. Można powiedzieć, że jego granice są rozmyte, a przy tym nie uwzględnia on niektórych wyżej wymienionych przykładów. Stąd wyróżniane są kolejne, **pokrewne obszary CAD**, jak np. **inżynieria odwrotna** (ang. *Reverse Engineering*), bazująca głównie na skanowanych obiektach oraz obróbce uzyskanych w ten sposób modeli cyfrowych.

Ze względu na swoją innowacyjność, trudne do zakwalifikowania są takie zagadnienia jak **sieci neuronowe** (algorytmy sztucznej inteligencji). Z drugiej strony, powszechnie stosowane pakiety biurowe, jak **edytory tekstów i arkusze kalkulacyjne**, które oczywiście znajdują zastosowanie w projektowaniu technicznym, także odpowiadają definicji pojęcia CAD.

1.3. Grafika wektorowa i rastrowa w zastosowaniach CAD

Co prawda, **systemy CAD bazują obecnie głównie na elementach trójwymiarowej grafiki wektorowej**, ale znajdują tu równoległe zastosowanie elementy **grafiki rastrowej**. Biorąc pod uwagę rozległe obszary CAD okazuje się, że znaczenie obu rodzajów grafiki komputerowej jest istotne w zastosowaniach inżynierskich. Ogólne zastosowania zostały przedstawione w poniższej tabeli.

ZASTOSOWANIE GRAFIKI	
WEKTOROWEJ	RASTROWEJ
• projekty i rysunki techniczne • grafika prezentacyjna – tabele, wykresy, diagramy, schematy • znaki firmowe – loga • czcionki komputerowe, tekst artystyczny • grafika trójwymiarowa	• zdjęcia cyfrowe lub skanowane dokumenty – obróbka obrazów • tworzenie obrazów naśladowujących tradycyjne techniki graficzne • tworzenie realistycznych obrazów bazujących na grze światła i cieni przy użyciu efektów specjalnych • tekstury wykorzystywane w grafice 2D i 3D • oprawa graficzna stron internetowych

Zastanówmy się, co z wyżej wymienionych rzeczy **nie ma zastosowania w komputerowym wspomaganie projektowania**, rozumianym w klasycznym ujęciu jako praca inżynierska przy użyciu technik komputerowych. Wydaje się, że można wykluczyć tekst artystyczny, tworzenie obrazów, naśladowujących tradycyjne techniki graficzne (np. malarskie) oraz oprawę graficzną stron internetowych. Wymienione zagadnienia bardziej pasują do zadań poligraficznych.

Przykłady zastosowań pozostałych elementów wektorowych w celach inżynierskich można mnożyć. Przyjrzyjmy się zatem tym mniej oczywistym elementom rastrowym, które jednak znajdują zastosowanie w zadaniach CAD. **Zdjęcia cyfrowe i skanowane dokumenty** mogą służyć do odtwarzania modeli przestrzennych na podstawie istniejącej dokumentacji technicznej lub do odtwarzania dokumentacji rysunkowej w cyfrowej postaci. Generowanie realistycznych obrazów jest jednym z ważniejszych aspektów promocji produktu lub jego wizualizacji. Do tego celu służy np. **aplikacja KeyShot**, skojarzona z systemem Solid Edge. Trudno sobie wyobrazić działanie tego programu bez **tekstur rastrowych**, symulujących właściwości dostępnych materiałów oraz obrazów rastrowych, które stanowiłyby **tło dla wizualizowanego modelu CAD**.



2. Podstawy modelowania bryłowego

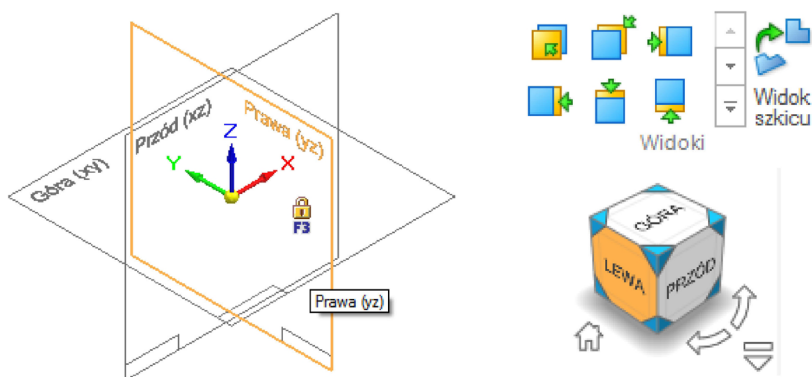


2.1. Szkice płaskie w operacjach bryłowych

Rysowanie szkiców na potrzeby modelowania trójwymiarowego w środowisku 'Część (ISO metryczne)' z zasady niczym się nie różni od rysowania szkiców, stanowiących elementy płaskiej dokumentacji rysunkowej w środowisku 'Rysunek (ISO metryczne)'. Dostępne są w większości te same narzędzia, dobrze znane z modułu 'Rysunek techniczny, cz. 2'. W identyczny sposób zadawane są relacje i wymiary sterujące bądź wymiary zależne.



W domyślnym, synchronicznym trybie pracy środowiska 'Część (ISO metryczne)', narzędzia te są dostępne bezpośrednio w głównej zakładce, analogicznie jak w środowisku rysunku 2D. Z tego względu najłatwiej jest rozpocząć naukę modelowania bryłowego właśnie w tym trybie. **Procedura rysowania szkicu rozpoczyna się od wyboru narzędzia do rysowania.** Wówczas program umożliwi wskazania kursorem myszy płaszczyznę, którą następnie blokuje się przez wciśnięcie klawisza 'F3'.



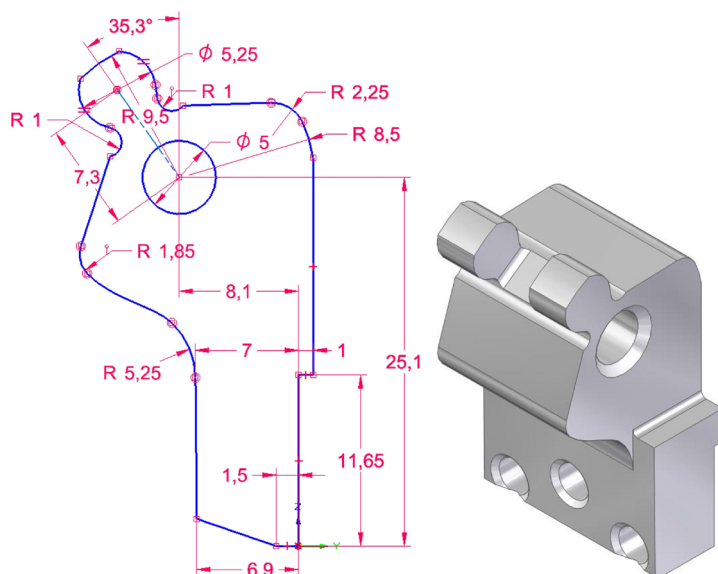
Kolejnym etapem jest zwykle **zmiana widoku na prostopadły do wybranej płaszczyzny szkicu**. W tym celu można skorzystać

z sześcianu szybkiego podglądu (potocznie „kostki”), znajdującego się domyślnie w prawym dolnym rogu lub z odpowiednich ikon znajdujących się w zakładce ‘Widok’.

Następnie **przystępujemy do rysowania szkicu**. Kolor i rodzaj linii nie mają tu znaczenia. Zdecydowanie można pozostać przy domyślnych ustawieniach. Wymiary sterujące oznaczane są kolorem czerwonym, zależne natomiast – niebieskim. Zamknięty szkic zostaje automatycznie wypełniony błękitnym kolorem.

Niekiedy **konstrukcja wymaga użycia linii pomocniczych**, których środowisko nie powinno interpretować jako krawędzie szkicu do wykonania operacji bryłowej. Przed narysowaniem tego rodzaju linii należy włączyć ikonę ‘Utwórz jako konstrukcję’ dostępną w boksie ‘Rysuj’. Natomiast sąsiednia ikona ‘Konstrukcja’ pozwala zmieniać rodzaj już narysowanych linii po ich kliknięciu z właściwego na konstrukcyjny lub odwrotnie.

Poniżej przedstawiono nieco bardziej złożony szkic, którego samodzielnego narysowania na tym etapie nauki nie powinno studentom przysporzyć problemów. Obok przedstawiony jest widok gotowej części, do której wykonania niezbędne było narysowanie jeszcze paru znacznie prostszych szkiców.



2.2. Metody tworzenia najprostszych brył

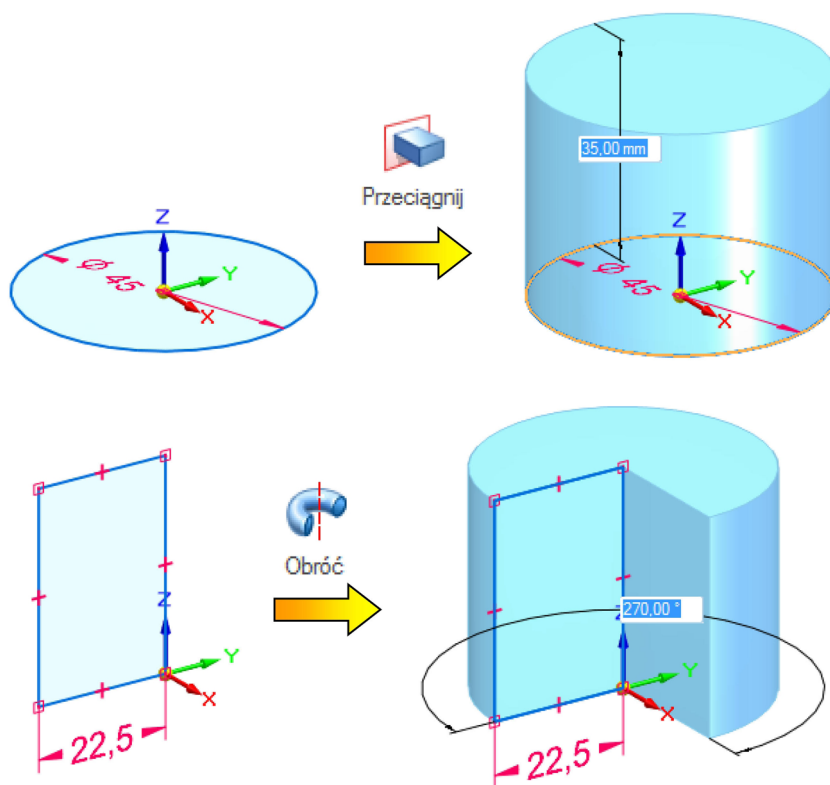


WAŻNE

Podstawowe techniki modelowania bryłowego oparte są na prostym przekształceniu płaskiego szkicu, prowadzącym do otrzymania przestrzennej bryły.

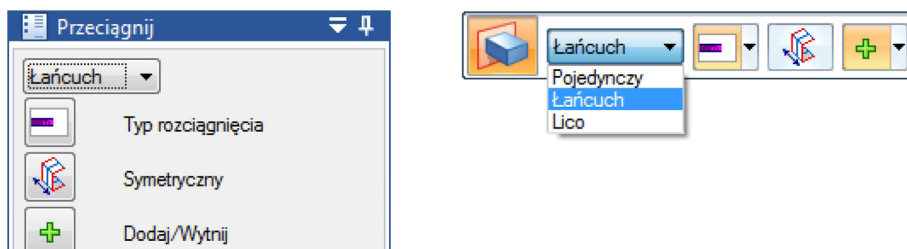
Najprostszym przypadkiem, jaki można sobie wyobrazić, jest **wyciągnięcie szkicu na pewną wysokość, w kierunku prostopadłym do jego płaszczyzny**. Modelowanie 3D zwykle rozpoczyna się właśnie od narysowania szkicu na wybranej płaszczyźnie prostokątnego układu współrzędnych. Rysując pierwszy szkic decydujemy o tym, w jaki sposób utworzona bryła będzie względem niego wyrównana. Położenie bryły względem układu współrzędnych można oczywiście zmienić po jej utworzeniu, ponownie edytując szkic lub korzystając ze specjalnych narzędzi edycyjnych.

Środowiskiem odpowiednim do modelowania bryłowego w Solid Edge jest 'Część (ISO metryczne)'. Technika budowania podstawowych brył (tzw. prymitywów) z zasady jest identyczna we wszystkich systemach CAD. W większości przypadków ten sam kształt bryły można uzyskać na kilka sposobów. Dla przykładu walec możemy utworzyć przez wyciągnięcie proste okręgu lub przez obrót prostokąta wokół jednego z jego boków.



Sposób w jaki utworzyliśmy bryłę nie jest jednak obojętny. W klasycznym trybie pracy programu CAD, **szkice są skojarzone z utworzoną bryłą**. Chcąc zmienić na przykład średnicę walca, gdy został on utworzony przez wyciągnięcie, należy edytować szkic zmieniając średnicę okręgu. Natomiast w przypadku utworzenia takiej samej bryły przez obrót, należy zmienić długość jednego z boków prostokąta, która odpowiada promieniowi podstawy walca.

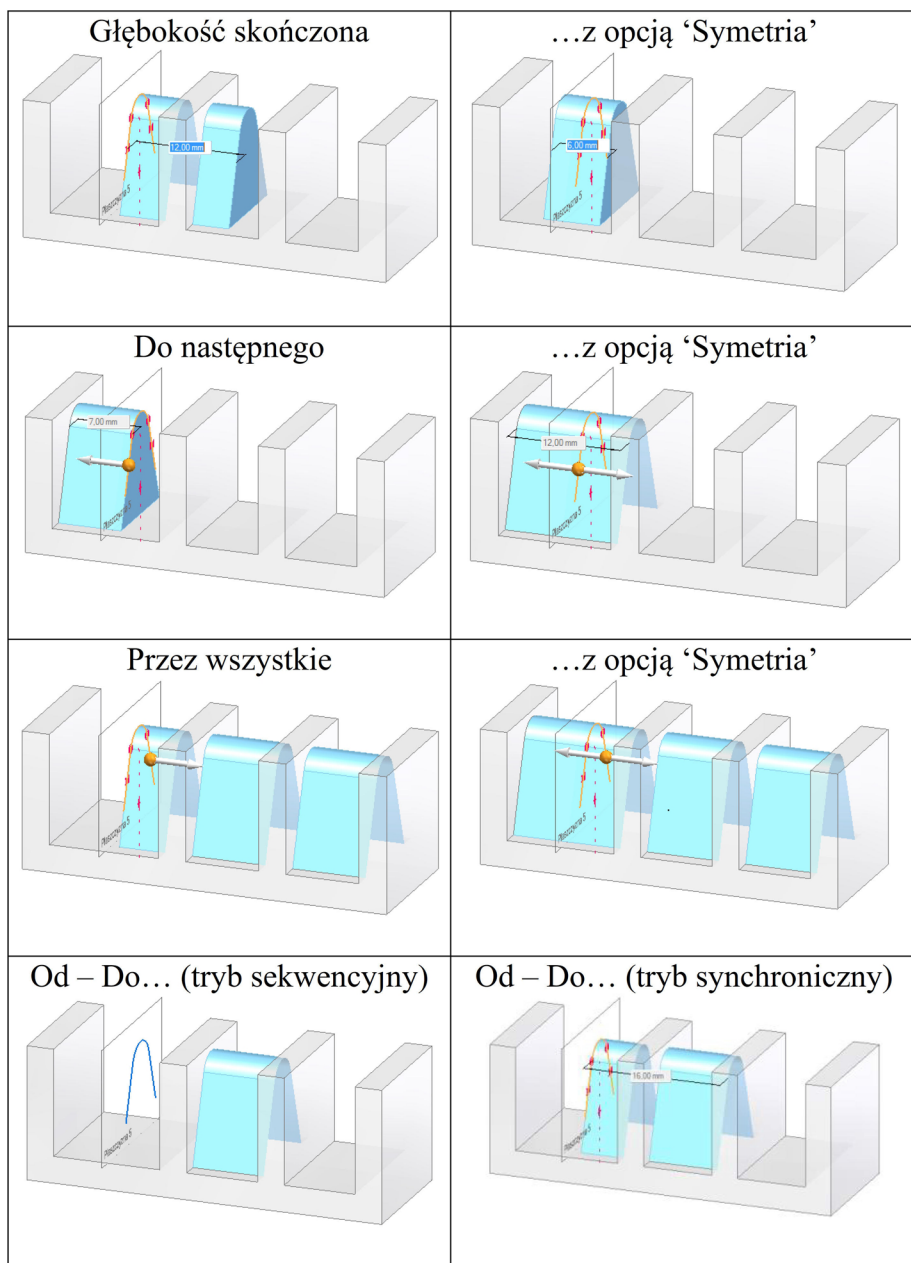
Narzędzia do tworzenia brył w środowisku Solid Edge zgrupowane są w boksie 'Narzędzia główne'. W domyślnym dla środowiska 'Część (ISO metryczna)' trybie synchronicznym, rysowanie szkicu oraz działanie narzędzia do tworzenia bryły są rozłączne. Każde narzędzie tego typu umożliwia dostęp na tzw. pasku narzędzia do opcji określających sposób jego działania.



W pierwszej kolejności należy **wskazać element, który posłuży do wykonania operacji bryłowej**. Dostępne opcje to 'Pojedynczy' (umożliwia wybór szkicu przez wskazywanie kolejnych odcinków), 'Łańcuch' (za jednym wskazaniem wybiera wszystkie połączone odcinki) oraz 'Lico' (wybór lica utworzonej w poprzedniej operacji bryły). Opcja 'Typ rozciągnięcia' pozwala na ustawienie sposobu określania granic rozciągnięcia. Z kolei 'Symetria' powoduje wyciągnięcie obustronne (niekoniecznie symetryczne). Natomiast opcja 'Dodaj/Wytnij' pozwala na określenie, czy wyciągany szkic ma spowodować utworzenie bryły czy wręcz przeciwnie – wykonanie otworu lub przycięcie istniejącej bryły.

W zasadzie **kolejność ustawiania tych opcji w jednej operacji** nie ma znaczenia. Najczęściej jednak zaczyna się od wyboru szkicu, a następnie dostosowuje się dane opcje, ponieważ w ten sposób operacja jest dynamicznie wizualizowana i nie musimy przewidywać efektu końcowego. **Operacja zakończy się automatycznie** w przypadku podania niezbędnych danych i wybrania wszystkich elementów prowadzących do uzyskania prawidłowego rozwiązania.

Poniżej przedstawiono przykłady działania narzędzia 'Wyciągnij' z różnie ustawionymi opcjami 'Typ rozciągnięcia' oraz 'Symetria'.





UWAGA

Słowo komentarza należy się opcji 'Od – Do...'.
Dzięki niej możliwe jest wykonanie wyciągnięcia od in-

nej płaszczyzny lub lica niż ta, na której narysowany jest szkic, ale tylko w trybie sekwencyjnym.

Jest to bardzo wygodne w niektórych przypadkach, ponieważ można na jednym szkicu narysować elementy będące na różnej wysokości.

Szkic wyglądałby zupełnie jak widok w rzucie prostokątnym, niemal identycznie zwymiarowany jak w dokumentacji rysunkowej.

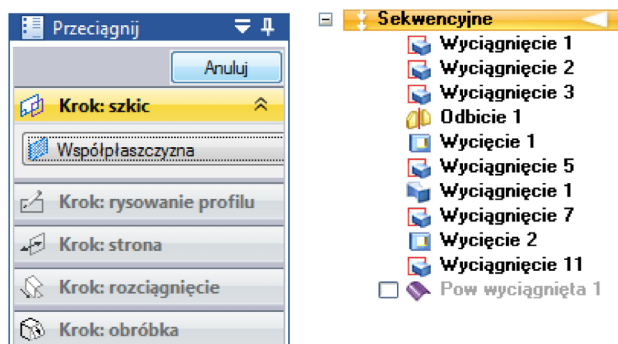
W ten sposób możliwe jest zmniejszenie liczby szkiców, które należy edytować w przypadku poprawek. W trybie synchronicznym płaszczyzna 'Od...' jest już określona jako płaszczyzna szkicu. Możliwy jest tylko wybór płaszczyzny 'Do..', co odróżnia ten typ rozciągnięcia od 'Przez wszystkie' i 'Do następnego'. **Chcąc w tej sytuacji wykonać wyciągnięcie od innej płaszczyzny niż ta, na której leży szkic, trzeba go zrzutować właśnie na tę płaszczyznę.**

2.3. Tryb synchroniczny i sekwencyjny

Środowisko 'Część (ISO metryczne)' **domyślnie pracuje w trybie synchronicznym**, który jest **zdecydowaną innowacją względem trybu sekwencyjnego**, będącego klasyczną odmianą metody modelowania bryłowego. Środowisko Solid Edge jest jednak elastyczne i pozwala użytkownikowi na zmianę preferowanego trybu modelowania, a nawet przełączania pomiędzy trybami podczas pracy z jednym modelem. W takim przypadku może to jednak nieco skomplikować projekt i utrudnić jego późniejszą edycję.

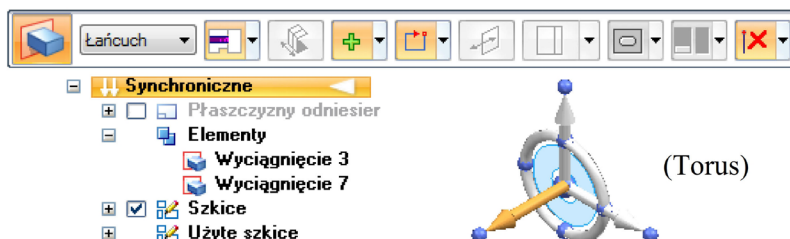
Klasyczny tryb sekwencyjny polega na powiązaniu szkiców z utworzonymi bryłami. Liczba kroków danej operacji jest dłuższa,

ponieważ wybrane narzędzie do modelowania przypomina działanie kreatora, prowadzącego użytkownika przez kolejne etapy.

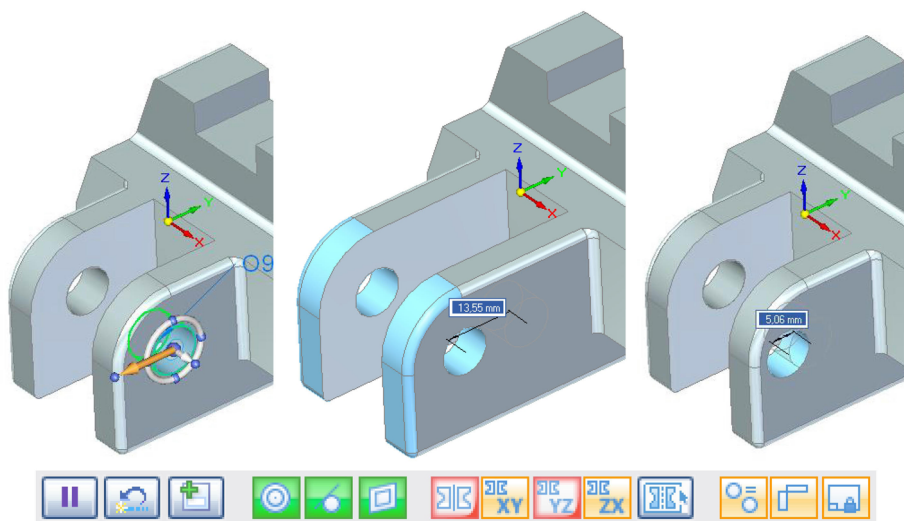


Kolejne operacje układają się w chronologiczne drzewo. Edycja polega najczęściej na wybraniu danej operacji z listy i modyfikacji skojarzonego z nią szkicu. Kolejność operacji na liście (drzewie) można zmienić przez co uzyskuje się inne rozwiązanie, o ile jest to logiczne (np. przesunięcie operacji wycięcia przed operację utworzenia bryły spowoduje niepowodzenie tej pierwszej).

Mimo zdecydowanie większej czasochłonności tej metody jest ona najczęściej **stosowana w przypadku rozpoczynania nowych projektów, które z zasady będą ulegać częstym modyfikacjom.** Pośrednia modyfikacja modelu przez edytowanie skojarzonych z nim szkiców daje przewidywalne rozwiązanie. Starannie wykonane szkice, zachowujące odpowiednie relacje, dają się łatwo edytować przez użycie wymiarów sterujących. **Szkice odpowiadają zwykle rysunkowej dokumentacji technicznej,** co ułatwia wprowadzanie zmian np. przy współpracy z klientem lub w zespole (zmiany zwykle nanosi się wstępnie na rysunkach).



Z kolei **modelowanie w trybie synchronicznym** charakteryzuje się przeciwną ideą. Szkice nie są związane z modelem, choć służą (tymczasowo) do jego utworzenia. Liczy się stan aktualny modelu, nie ważne w jaki sposób został on utworzony. Lista zawiera pogrupowane operacje względem rodzaju, których kolejność nie odpowiada chronologicznemu łańcuchowi przyczynowo-skutkowemu. Natomiast najważniejszym narzędziem edycyjnym jest **koło sterujące**, potocznie zwane **torusem**, które dynamicznie łączy się z wybranym elementem. Następnie wybierany jest **rodzaj i kierunek modyfikacji (obrotu lub przesunięcia)**, która może być przeprowadzona w granicach odblokowanych relacji.



WAŻNE

Modelowanie w trybie synchronicznym jest nieocenioną pomocą w przypadku modyfikowania części pochodzących z systemów CAD różnych producentów.

W przypadku szerszej współpracy niż w obrębie jednego przedsiębiorstwa, modele przekazywane są w uniwersalnych formatach plików, jak np. *.x_t, *.step, *.iges itp. Formaty tego rodzaju nie umożliwiają zachowania drzewa operacji, które jest charakterystyczne dla danego natywnego środowiska CAD, w którym część została utworzona. Pełna edycja importowanych modeli nie jest zatem możliwa.



UWAGA

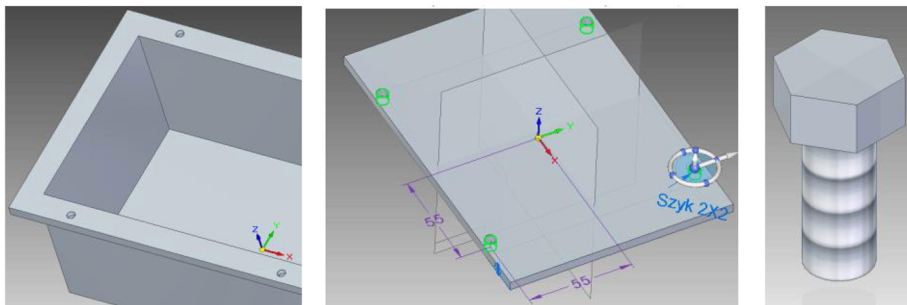
W trybie sekwencyjnym polega ona na nadbudowaniu kolejnych operacji. W trybie synchronicznym jest to edycja bezpośrednia, która niczym nie różni się od modyfikowania rodzimej części.



3. Złożenia – wirtualne zespoły części



Pierwsze trzy obrazy przedstawiają elementy przykładowego złożenia – **obudowę, pokrywę oraz śrubkę**. Modele tych części zostały wykonane w module 'Część (ISO metryczne)'.

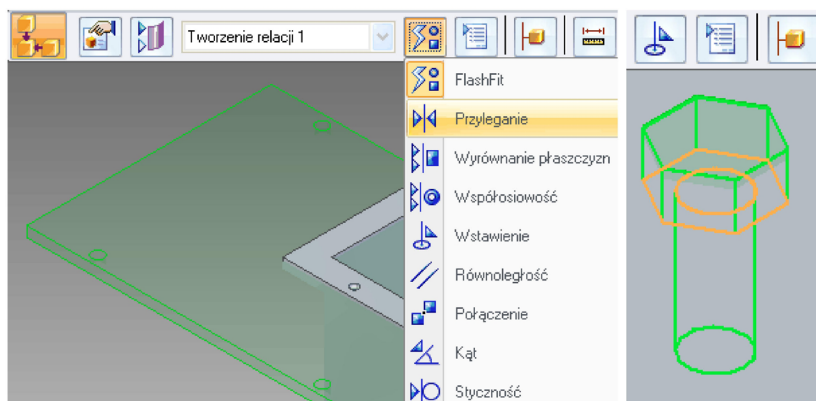


Natomiast złożenia dokonujemy w środowisku 'Assembly – Złożenie ISO metryczne'. W tym środowisku dostępne są narzędzia, polegające na **zadawaniu relacji dla lic, krawędzi, osi elementów, płaszczyzn**. Złożenie polega na odebraniu poszczególnym częściom wybranych stopni swobody właśnie przez zadawanie odpowiednich relacji.



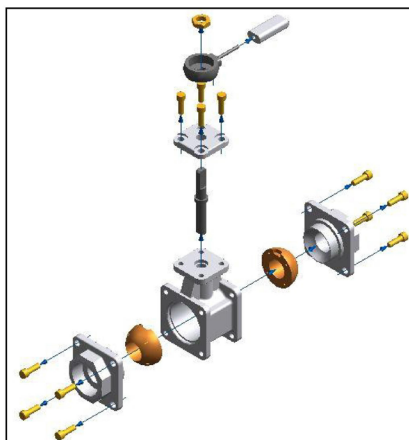
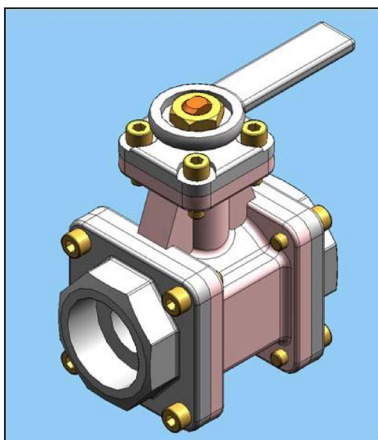
UWAGA

Nie zawsze wskazane jest odebranie wszystkich stopni swobody. Na przykład modelując złożenie, którego częścią jest wał można pozostawić swobodę w zakresie obrotu wokół własnej osi. Umożliwi to z kolei opracowanie animacji pracy elementów złożenia.

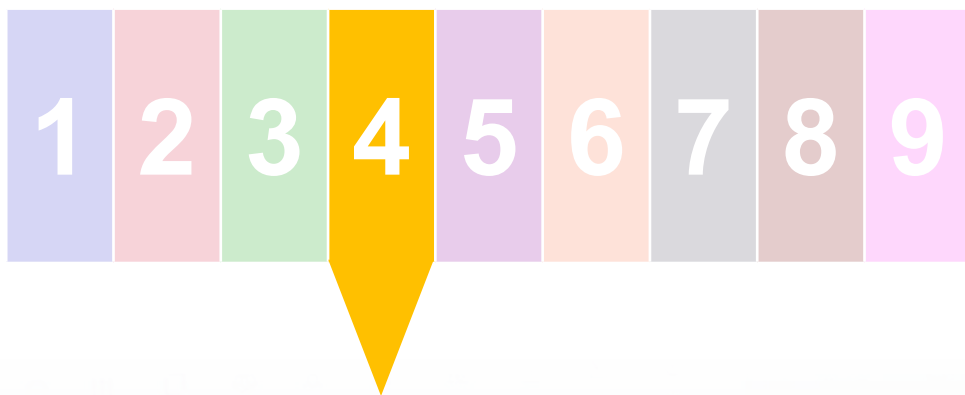


Wracając do przykładu (wykonywanego także na jednych z ćwiczeń laboratoryjnych), w pierwszej kolejności zadano relację przylegania lic pokrywy i kołnierza obudowy. Następnie dodano relacje wyrównania płaszczyzn pionowych. Natomiast śruba została wstawiona w taki sposób, iż zadano współosiowość otworu i rdzenia śruby oraz przyleganie dolnej płaszczyzny łba śruby z górną płaszczyzną pokrywy.

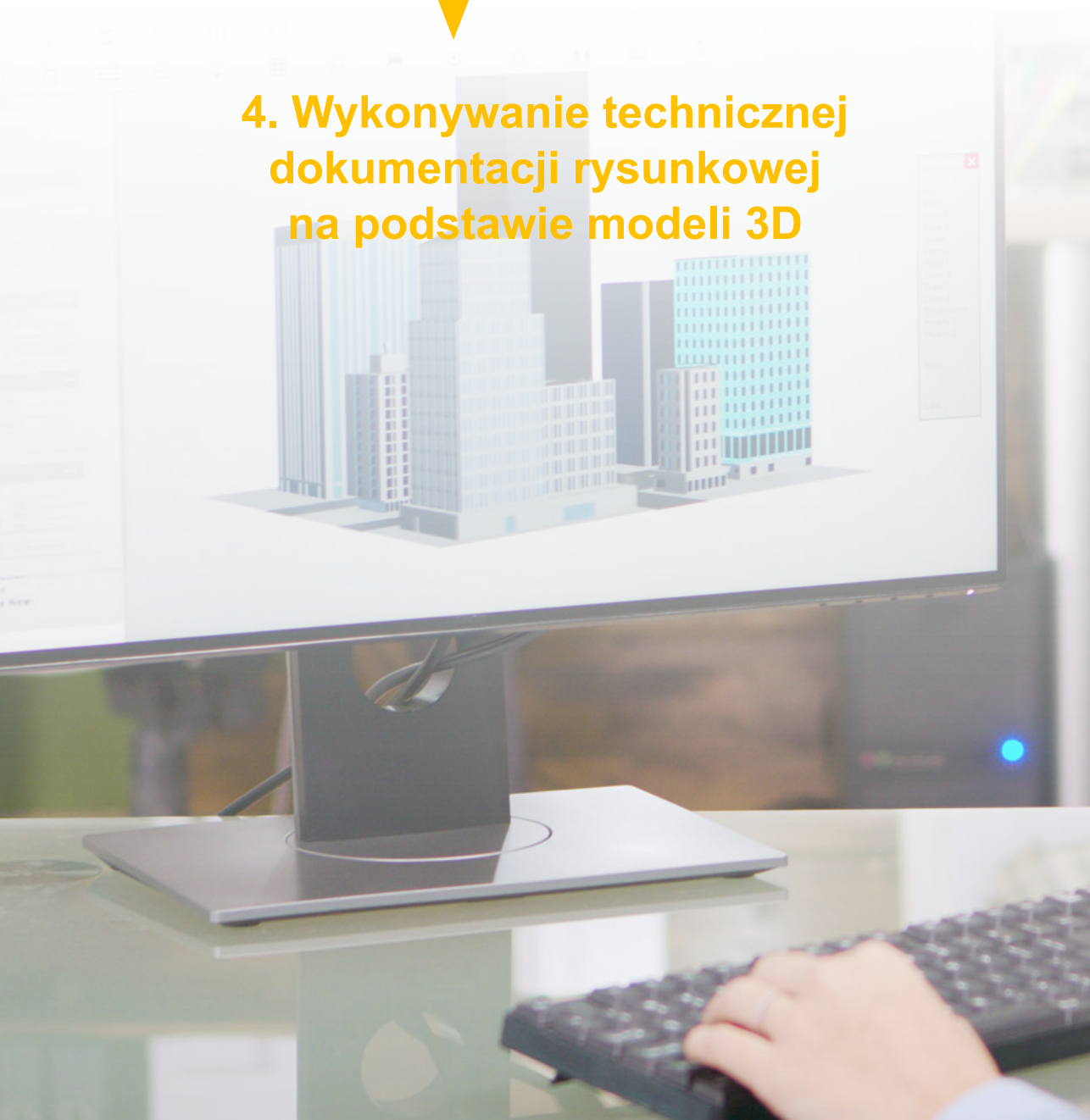
Gotowe złożenie można w wygodny sposób przedstawić w formie rysunku poglądowego. Można wykorzystać także w celu promocji produktu, wykonania graficznych materiałów reklamowych. **Praktycznym celem złożenia jest przede wszystkim wykrywanie kolizji dopasowywanych części oraz poprawa wykrytych niezgodności.** W dalszej kolejności gotowe złożenie może służyć do opracowania dokumentacji rysunkowej w celu zapisu konstrukcji.



Widoki tzw. rozstrzelone z kolei doskonale się sprawdzają jako **ilustracja w katalogach części**. Na podstawie złożenia opracowanego w systemie CAD można bezpośrednio wygenerować tabelę części, stanowiącą niezbędny element rysunków złożeniowych.



4. Wykonywanie technicznej dokumentacji rysunkowej na podstawie modeli 3D



Aktualnie coraz rzadziej wykonuje się dokumentację techniczną metodą bezpośredniego rysowania w środowisku 'Rysunek (ISO metryczne)' lub podobnym.

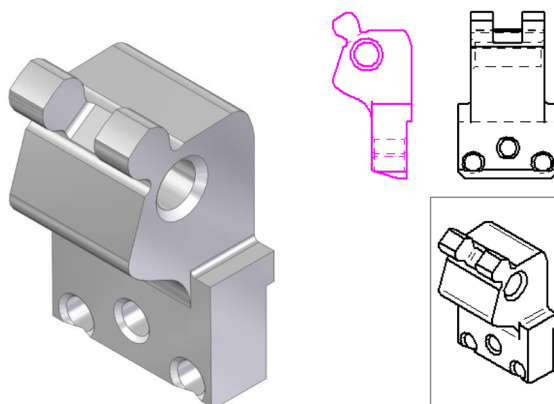


WAŻNE

Najbardziej efektywna metoda polega na korzystaniu z modeli 3D części lub ich złożeń w celu automatycznego generowania odpowiednich rzutów w założonej skali.

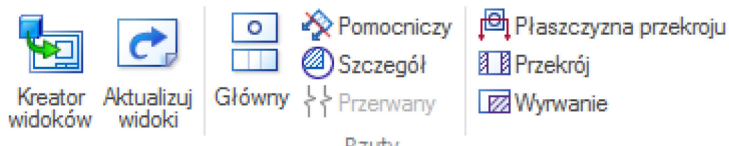
Zadanie rysunkowe sprowadza się zatem do zadania odpowiednich ciągów wymiarowych, opisów i oznaczeń, oraz przygotowaniu tabliczki rysunkowej i obramowania jako tła arkusza roboczego. Większość z tych elementów była omawiana w module 'Rysunek techniczny cz. 2'.

W tym rozdziale przedstawiony zostanie przykład **utworzenia rysunku technicznego na podstawie modelu części**. Jest to fragment projektu łapki chwytaka współpracującej z siłownikiem pneumatycznym, stosowanej w przemysłowym automacie produkcyjnym. Pierwszy rysunek przedstawia widok części w środowisku 'Część (ISO metryczne)', natomiast drugi – rozmieszczanie jej rzutów w środowisku 'Rysunek (ISO metryczne)'.

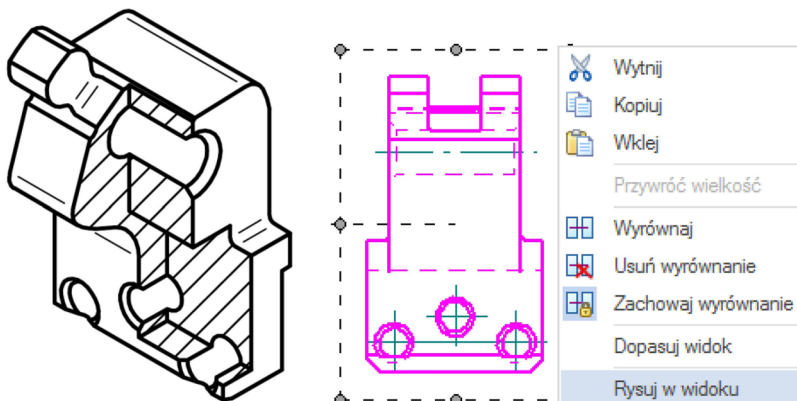


Rzuty prostokątne rozmieszczane są jako widoki w układzie odpowiadającym metodzie europejskiej. Po umieszczeniu jako pierwszego rzutu głównego, kolejny generowany jest zależnie od miejsca względem tego pierwszego, tzn. po prawej od rzutu głównego będzie znajdował się widok z lewej strony, a poniżej zostałby wygenerowany widok z góry.

Odpowiednie narzędzia do wykonywania wskazanych czynności znajdują się w boksie 'Rzuty' na głównej zakładce.

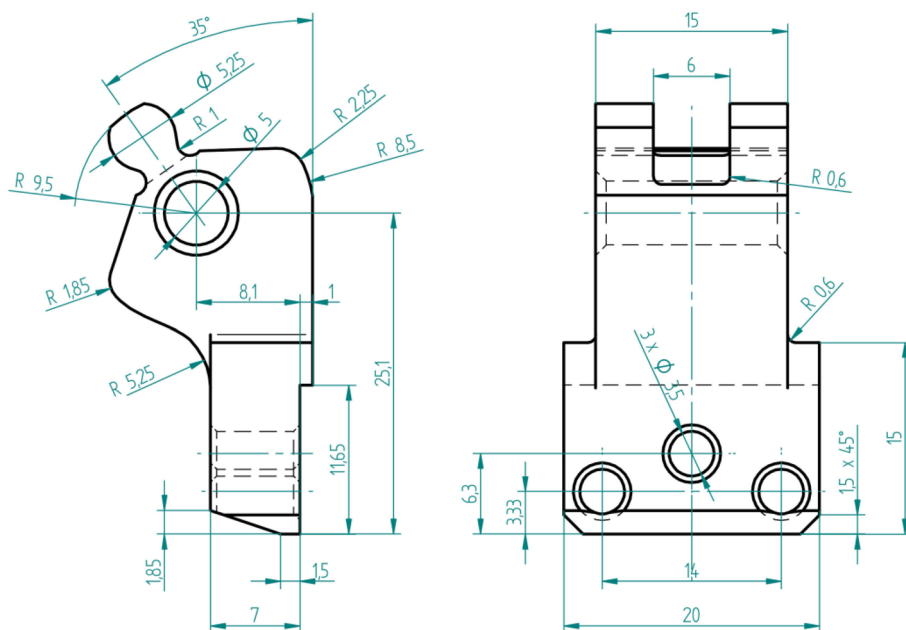


Oprócz **typowych rzutów prostokątnych lub przekrojów**, również łatwe jest **generowanie rzutów aksonometrycznych w układach izometrycznym, dwumiarowym i trójmiarowym**. W przypadku przedmiotów o złożonej budowie wewnętrznej, na rzutach aksonometrycznych można tworzyć tzw. wyrwania, czyli przekroje cząstkowe. W poniższym przykładzie nie ma to jednak technicznego uzasadnienia.



Niektóre elementy, jak **osie otworów, ślady płaszczyzn symetrii** lepiej jest łączyć z samymi rzutami, zamiast umieszczać je, jak wymiary na arkuszu roboczym. Dlatego najlepiej nanieść je bezpośrednio na rzuty przy użyciu polecenia 'Rysuj w widoku'.

Poniżej znajduje się **zwymiarowany rysunek techniczny przykładowej części**. Ciągi wymiarowe można oczywiście wydrukować w kolorze czarnym, jednak pozostawiono ustawienia domyślne, aby odróżnić je jako elementy, które zostały zadane ręcznie na arkuszu roboczym środowiska 'Rysunek (ISO metryczne)', w odróżnieniu od automatycznie wygenerowanych rzutów.



Wygenerowane rzuty są skojarzone z plikiem części, zatem oba pliki: rysunku *.dft oraz części *.par powinny znajdować się w odpowiedniej lokalizacji na dysku. **W przypadku edycji części i wprowadzeniu zmian, środowisko rysunku informuje o tym i wskazuje nieaktualne elementy określone na rzutach (najczęściej ciągi wymiarowe).** Aktualizacja tych elementów jednak odbywa się ręcznie, ponieważ taki też był sposób ich utworzenia na rysunku.



5. Metody generowania krzywych





WAŻNE

Chcąc uzyskać kształty modelu, które będą odpowiadały wymaganiom ergonomii i współczesnym trendom, niezbędne jest modelowanie powierzchni, które nie powstają w prosty sposób.

Podstawą takich kształtów jak linia nadwozia współczesnych pojazdów, obudowy sprzętu AGD i RTV, a nawet budynków są krzywe.

Najbardziej **podstawowym rodzajem krzywych**, stosowanych w programach do grafiki wektorowej 2D są **krzywe Beziera**. Stosuje się je w takich programach jak np. Corel DRAW lub Adobe Illustrator oraz jako narzędzia w programach do edycji grafiki rastrowej jak Photoshop lub GIMP.



UWAGA

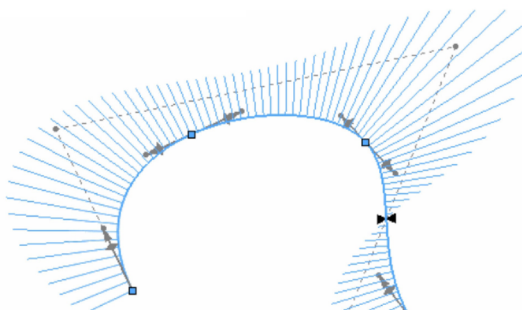
Krzywe Beziera nie mają jednak większego zastosowania w programach CAD ponieważ edycja jednego węzła wpływa na kształt krzywej poza sąsiednimi węzłami.

Mają zastosowanie w programach do grafiki artystycznej na zasadzie „co ręka da”.

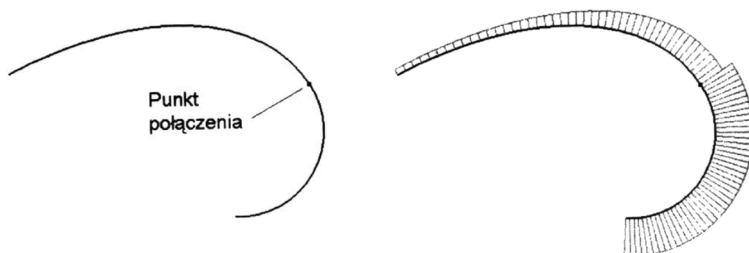
Praktycznie niewykonalne jest zwymiarowanie takiej krzywej, aby uzyskać precyzyjną kontrolę nad określaniem powtarzalnego kształtu. Krzywe tego rodzaju byłyby nieefektywne w zastosowaniach grafiki 3D z powodu zwiększonego zużycia mocy obliczeniowej.

Alternatywą są **krzywe B-sklejane** (ang. *B-Spline*). Angielska nazwa *spline* wzięła się z gwary kreślarzy i odnosiła do długiej elastycznej metalowej taśmy, której używano do rysowania samolotów, samochodów, statków itp. Zawieszając odpowiednio dobrane obciążniki można było uzyskać krzywą o ciągłości geometrycznej drugiego rodzaju. Jej odpowiednikiem matematycznym jest właśnie krzywa B-sklejana trzeciego stopnia. Angielska nazwa krzywych B-sklejanych (*B-spline*) jest skrótem od *basis spline function* co można przetłumaczyć jako „funkcja bazowa splajnów”.

Krzywa B-sklejana umożliwia edycję zarówno przez obwiednię, która składa się z prostych odcinków, jak i odcinków sterujących w leżących na niej węzłach. Edycja takiej krzywej ma charakter lokalny, natomiast węzły oraz punkty obwiedni podlegają wymiarowaniu. Odcinkom obwiedni można także zadawać odpowiednie relacje (np. równość długości). Umożliwia to pełną kontrolę nad kształtem krzywej.



Kształt krzywej może być dodatkowo wizualizowany w postaci tzw. grzebienia krzywizny. Pozwala on na analizę płynności krzywej. Im dłuższy odcinek prostopadły do krzywej, tym mocniejsza lokalna zmiana kształtu krzywej.

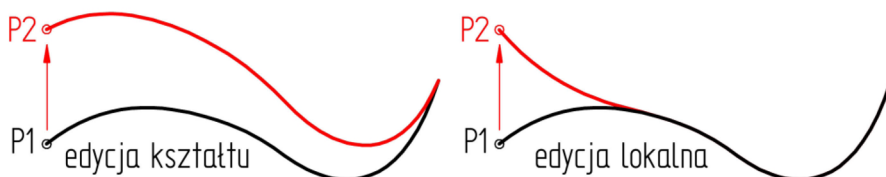


Powyższe dwa obrazy pokazują tę samą krzywą, złożoną z dwóch części. Mimo że w punkcie połączenia obie krzywe są styczne, to analizując grzebień krzywizny zauważamy skokową zmianę promienia łuku. Spowoduje to z pewnością wrażenie braku „płynności” powierzchni utworzonej na podstawie takiej krzywej. Kolejne obrazy przedstawiają różnicę między edycją zwykłą a edycją lokalną kształtu krzywej.

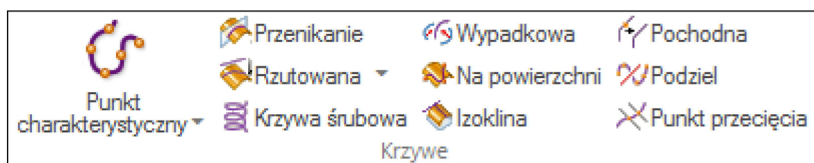


WAŻNE

W programie Solid Edge mamy wybór, którego nie umożliwiają krzywe Beziera.



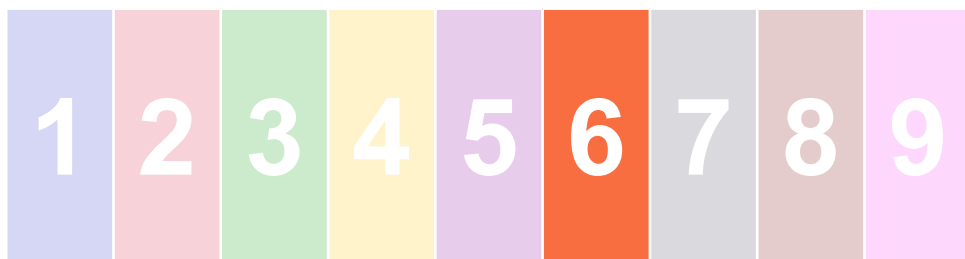
Poniżej przedstawiono **narzędzia do tworzenia krzywych w modelowaniu 3D**. Najczęściej mają one zastosowanie jako elementy modelowania powierzchniowego.



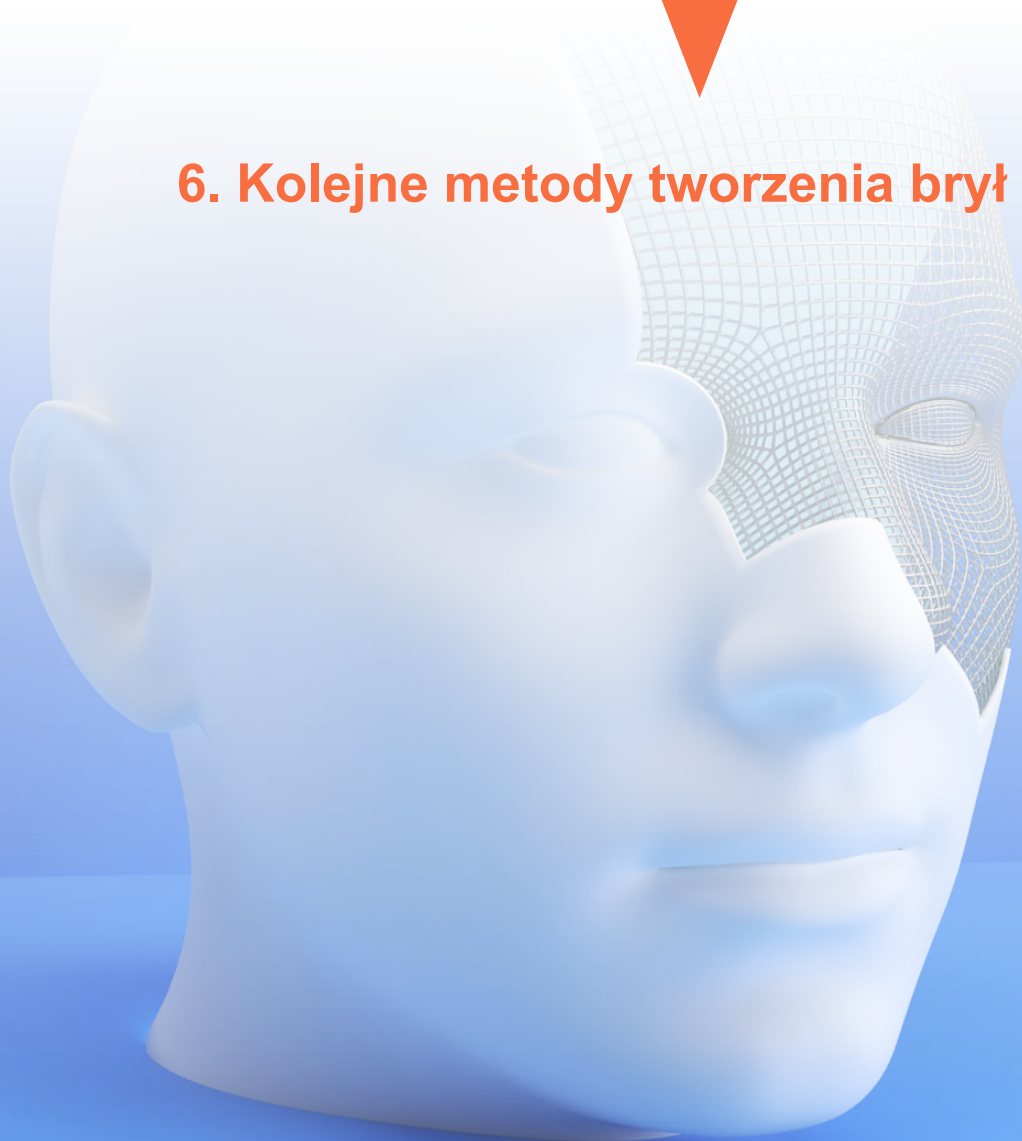
W odróżnieniu od pracy na płaskim arkuszu rysunkowym, w przestrzeni trójwymiarowej jest **wiele różnych metod otrzymywania krzywych**.

Oto wybrane z nich:

- **krzywa według punktów charakterystycznych** – płaska lub przestrzenna przez dowolne punkty (z modelu, z położenia kursora lub z wprowadzonych współrzędnych),
- **krzywa rzutowana** – na powierzchnię lub płaszczyznę, prostopadle do powierzchni lub w wybranym kierunku,
- **krzywa wypadkowa** – w wyniku wzajemnego rzutowania na siebie dwóch krzywych,
- **krzywa na powierzchni** – bezpośrednie rysowanie na wskazanej powierzchni,
- **krzywa pochodna** – na podstawie innej krzywej płaskiej lub przestrzennej, na podstawie krawędzi.



6. Kolejne metody tworzenia brył



W następnej kolejności przedstawione są **sposoby tworzenia modeli bryłowych**. Student po ukończeniu kursu laboratorium z założenia rozwija swoje umiejętności, przy okazji rozwiązywania problemów praktycznych. Wszechstronność narzędzi CAD oraz ich przydatność w wielu sytuacjach wręcz wymusza dalszą praktykę. Kolejne przykłady mają na celu zachęcić studentów do dalszej, samodzielnej nauki.

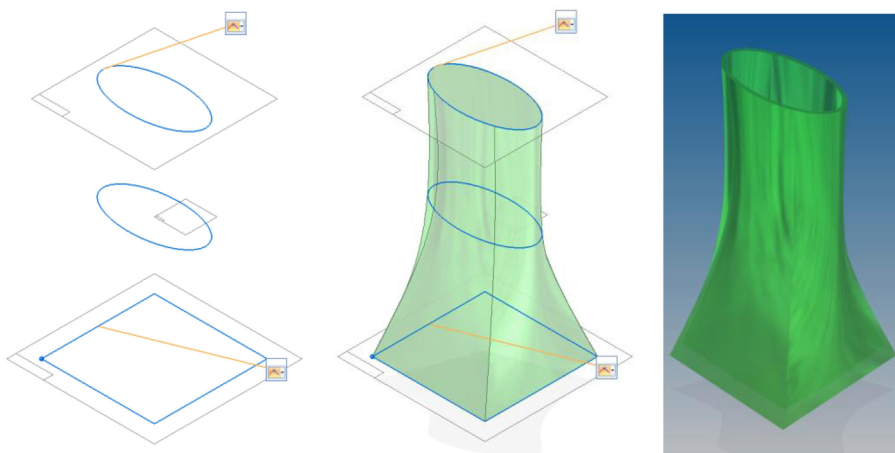
6.1. Wyciągnięcie przez przekroje



WAŻNE

Pomocną metodą tworzenia obiektów bryłowych jest wyciągnięcie przez przekroje.

Przykładem może być wyciągnięcie powierzchni skrzydła samolotu lub poszycia dna okrętu po przekrojach odpowiadających obrysowi kolejnych żebier. Wystarczy wskazać kolejne szkice, aby rozciągnąć na nich bryłę o łagodnych powierzchniach.





UWAGA

Istotna jest kolejność wyboru szkiców, to w takiej kolejności będą one łączone.

Gdyby wybrać najpierw dwa zewnętrzne szkice, a następnie środkowy może dojść do utworzenia samoprzecinającej się bryły, co zależnie od systemu CAD może zakończyć się niepowodzeniem operacji. W przedstawionym przykładzie, przypominającym wazon, ostatnią operacją było utworzenie bryły cienkościennej z górnym li-cem otwartym.

6.2. Wyciągnięcie śrubowe



WAŻNE

Wyciągnięcie śrubowe jest jedną z metod fizycznego modelowania gwintów.

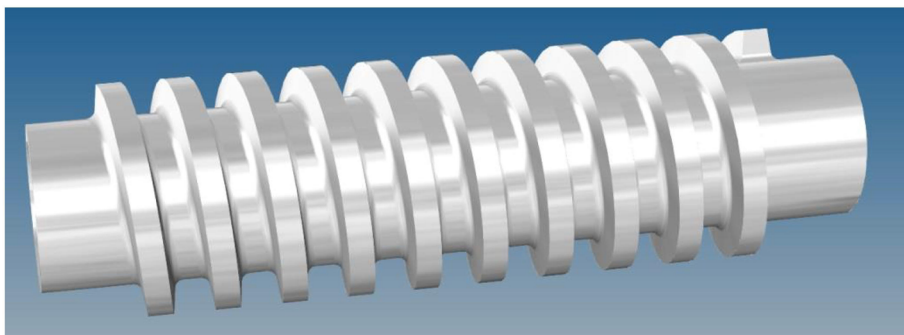
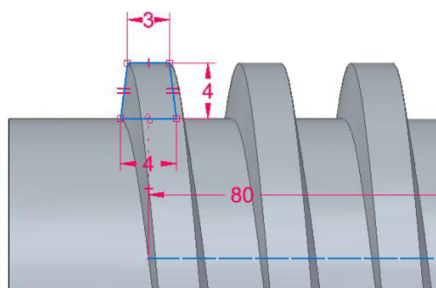
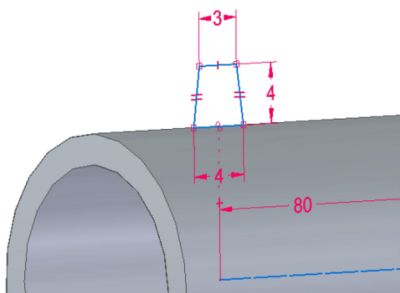
W większości przypadków połączeń śrubowych nie modeluje się gwintów, ponieważ od strony technologicznej byłoby to pozbawione sensu. Ważne jest, aby średnica otworu lub wałka uwzględniała nad-datek na wykonanie gwintu przy użyciu gwintownika lub narzynki. W dokumentacji technicznej otworom gwintowanym przypisuje się jedynie odpowiednie oznaczenie.



UWAGA

Istnieją jednak rzadkie przypadki, kiedy modelowanie gwintu jest konieczne.

W pierwszym **gwint pełni rolę połączenia ruchomego** jak np. wałek maglownicy w przekładni układu kierowniczego lub śruba napędzająca współpracujący element. Drugim przypadkiem jest np. zamiar wykonania **gwintu w modelu, który ma być wykonany techniką przyrostową – przy użyciu drukarki 3D**. W przypadku wydruku z tytanu jest to uzasadnione, ponieważ ten materiał jest trudny do obróbki skrawaniem, dlatego użycie gwintownika, szczególnie w sposób ręczny może skutkować uszkodzeniem narzędzia i pozostawieniem jego części w otworze.



Jak przedstawiono na powyższych rysunkach, w metodzie polegającej na wyciągnięciu śrubowym, konieczne jest zdefiniowanie zamkniętego profilu oraz osi obrotu. **Program umożliwia podanie dwóch z trzech parametrów – skok, liczba zwoi, długość osi.**

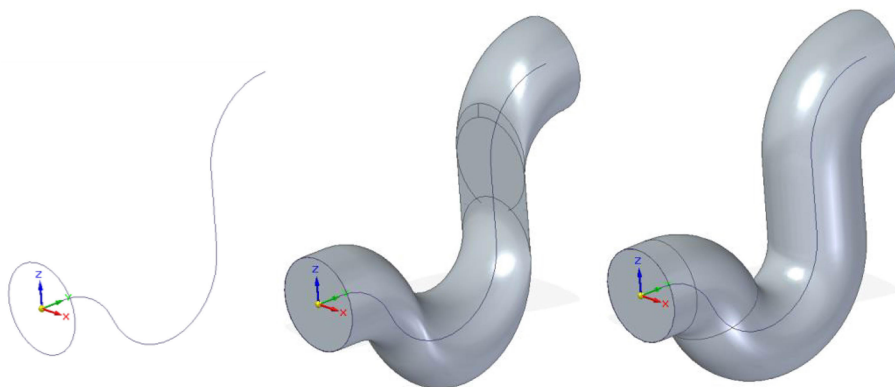
6.3. Wyciągnięcie po ścieżce



WAŻNE

Wyciągnięcie profilu po ścieżce polega na zdefiniowaniu szkicu oraz krzywej, która będzie ścieżką wyciągnięcia.

Można w ten sposób uzyskać kształt przedmiotów, które są wykonane metodą gięcia z materiału o jednakowym przekroju (druć, rura, pręt, profile zamknięte). Model z przykładu przypomina syfon zlewowymywakowy starego typu, jednak jest to raczej zbieg okoliczności.



Celem przykładu jest zaprezentowanie **skutku wyboru najważniejszej opcji tego rodzaju wyciągnięcia** – określającej czy profil ma być obracany względem ścieżki (warunek kierunku normalnego do krzywej), czy przesuwany po niej równoległe do jego płaszczyzny (warunek kierunku stycznego do szkicu). W ten sposób otrzymujemy

dwa różne rozwiązania, z których każde może się nie udać z powodu wystąpienia samoprzecinania się bryły. Zależnie od wyboru opcji, przyczyną niepowodzenia utworzenia bryły może być wsteczne zagięcie ścieżki lub zbyt mały promień łuku ścieżki w stosunku do wysokości wyciąganego profilu.



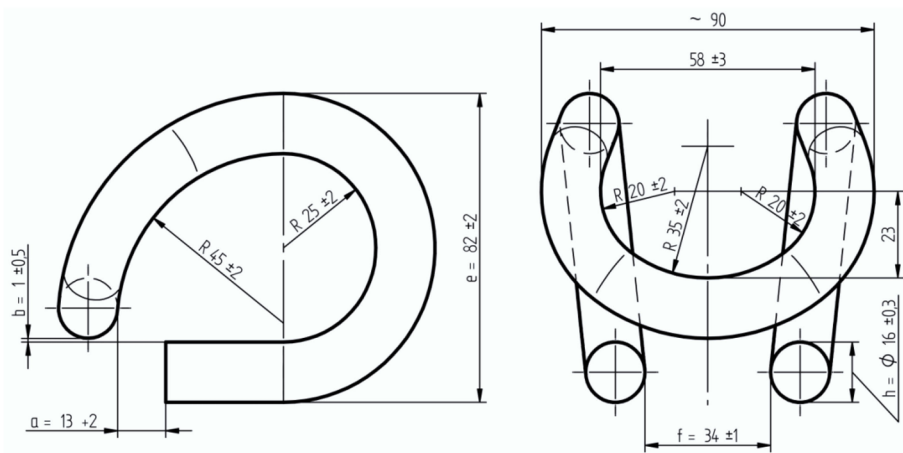
UWAGA

Warto zwrócić uwagę, że przy zachowaniu kierunku stycznego do profilu (środkowy przypadek) pionowy fragment ścieżki generuje bryłę o zerowej grubości.

Praktycznym przykładem zastosowania wyciągnięcia po ścieżce może być modelowanie łapki kolejowej, służącej do przytwierdzania szyn kolejowych do betonowych podkładów.



Model CAD został opracowany w oprogramowaniu Solid Edge na podstawie technicznej dokumentacji rysunkowej. Natomiast poniższe rysunki techniczne są ponownie utworzone w środowisku 'Rysunek (ISO metryczne)' na podstawie wykonanego modelu 3D.



Wbrew pozorom, łapka ma dość złożony kształt, ponieważ drut jest przestrzennie **gięty – w dwóch płaszczyznach jednocześnie**. Aby uzyskać taki kształt ścieżki wyciągnięcia narysowano dwie krzywe na wzajemnie prostopadłych płaszczyznach określających profil łapki z dwóch kierunków, a następnie użyto polecenia 'Rzutowanie krzywych'. W ten sposób można otrzymać fragment łuku odpowiadający jednej ćwiartce łapki. Po wykonaniu drugiej ćwiartki otrzymano gotową ścieżkę, służącą do wyciągnięcia przekroju kołowego odpowiadającego średnicy drutu. Natomiast drugą połowę łapki otrzymano przez odbicie lustrzane.



7. Specjalistyczne narzędzia Solid Edge

7.1. Modelowanie części blaszanych

Moduł do modelowania części blaszanych w Solid Edge – ‘Część blaszana (ISO metryczne)’ – jest dość dobrze opracowany i praktyczny. Korzysta z niego wiele przedsiębiorstw produkcyjnych.

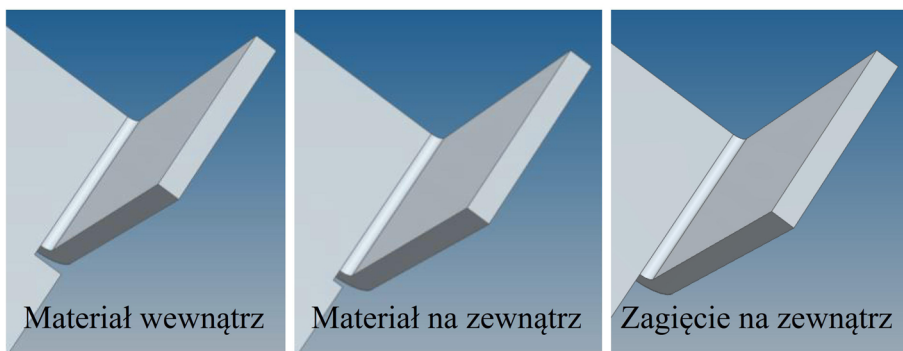


WAŻNE

Modelowanie części blaszanych różni się od typowego modelowania bryłowego, aby tego rodzaju zadania rozwiązywane były sprawniej.

Podstawą jest grubość arkusza oraz założone promienie gięcia blachy. Wielkość arkusza nie ma takiego znaczenia, ponieważ w trakcie procesu modelowania dopasowuje się ona do rozwiązania.

Następujące przykłady pokazują skutek wyboru opcji określającej wykonane zagięcie. W pierwszym przypadku **zewnątrze lico zagiętej części wyrównane jest do krawędzi**. Solid Edge automatycznie zadaje odpowiednie podcięcie, aby zachować założony promień gięcia.



W drugim przypadku **lico wewnętrzne wyrównywane jest do krawędzi zagięcia** i podcięcie może być nieco mniejsze. W ostatnim

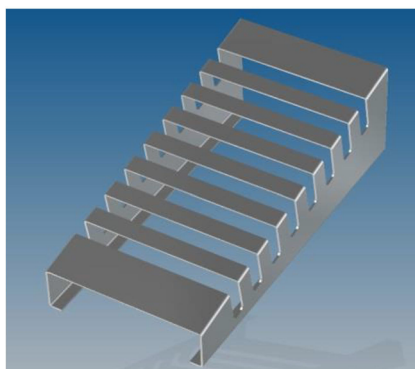
przypadku **krawędź zaokrąglenia wyrównana jest do krawędzi zagięcia**, co nie wymaga żadnego podcięcia.



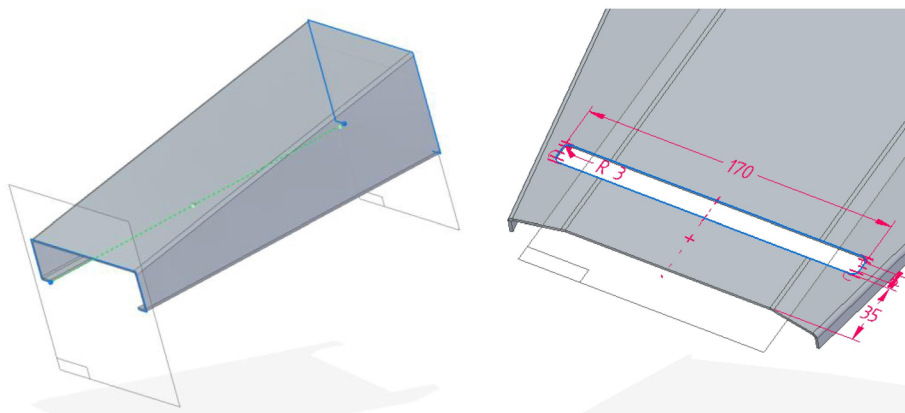
UWAGA

Wybór opcji zależy od nas – Solid Edge automatycznie uwzględni zarówno grubość arkusza blachy, jak i zadane promienie gięcia i dostosuje ewentualne podcięcia.

Kolejny przykład przedstawia projekt prostego stojaka na płyty CD.



Główny kształt stojaka modelowany jest przez wyciągnięcie przez dwa przekroje poprzeczne. Serię wycięć można natomiast wykonać w jednej operacji po wykonaniu tymczasowego rozwinięcia dwóch zewnętrznych lic wzdłuż wybranych krawędzi. Szkic wycięcia jest powielony w szuku prostokątnym. Wyjście z trybu rozwinięcia powoduje powrót do widoku docelowego kształtu modelu.



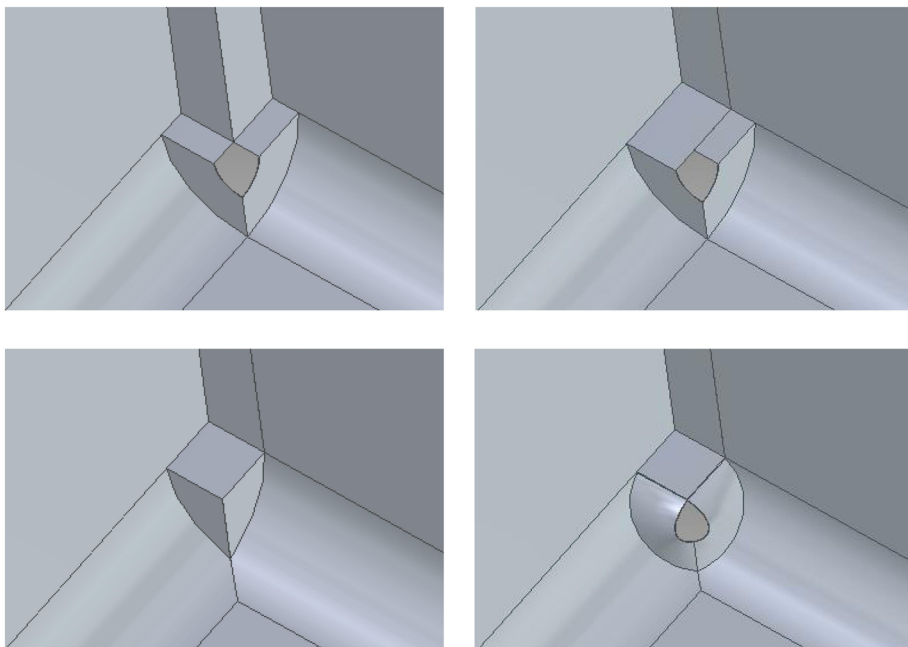
W rzeczywistości tak właśnie byłby wykonywany przedmiot – odpowiednie przetłoczenia oraz wycięcia poprzedzają proces zaginania odpowiednio przyciętego arkusza.



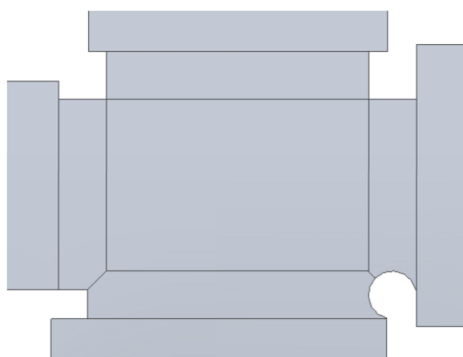
UWAGA

Istotne jest to, że edytując tę operację wycięcia w Solid Edge, siatka jest automatycznie rozwijana, co znacznie przyspiesza modelowanie tego rodzaju części blaszanych.

Na kolejnych rysunkach pokazano skutek wyboru rodzaju powstających po zagięciu siatki naroży. Wybór odpowiedniego sposobu oczywiście skutkuje odpowiednim rodzajem wycięć w siatce rozwinięcia.

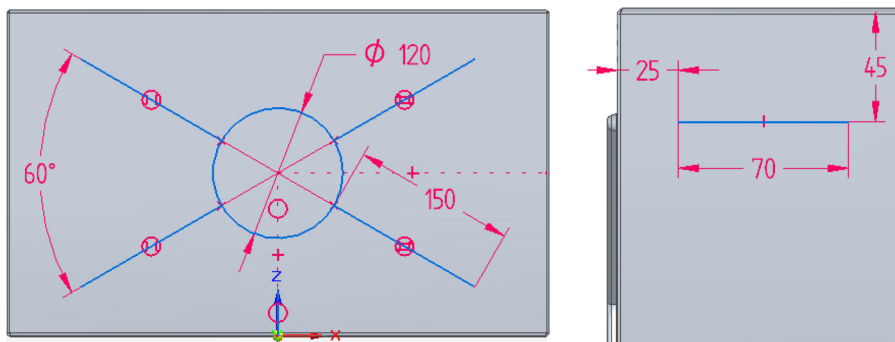


Np. w przypadku łączenia na styk ścianki nie zachodzą na siebie a w powstający kąt jest wygodny do wypełnienia spawem. W przypadku łączenia na zakładkę, jedna z łączonych ścianek będzie szersza od drugiej. Szczegółem jest natomiast obróbka naroża. Zamknięte powoduje najmniejsze możliwe podcięcie, na ile tylko geometria siatki na to pozwala. W tym przypadku w narożu unika się powstawania małego otworka. Z kolei obróbka naroża z wycięciem kołowym umożliwia łatwe wykonanie przez nawiercenie oraz redukcję naprężeń powstających podczas zaginania.

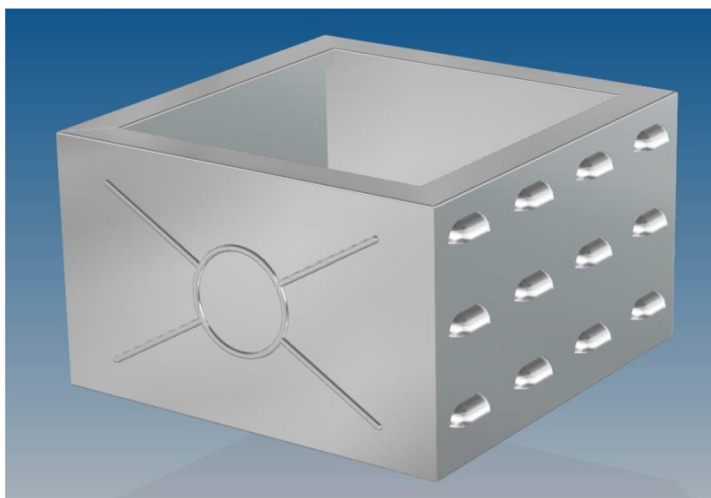


Powyższy rysunek przedstawia skutek każdej z rozważanych możliwości obróbki naroży w rozwinięciu. Układ naroży odpowiada układowi poprzednich czterech rysunków.

Wgłębienia liniowe lub żaluzje tworzy się bardzo łatwo. Podstawą jest narysowany na wybranym licu szkic, któremu przyporządkowuje się odpowiedni rodzaj obróbki.



Szkic do wykonania żaluzji jest po prostu odcinkiem prostym, który powiela się w szyku prostokątnym. Tego rodzaju rozwiązania możemy spotkać w przypadku blaszanych obudów urządzeń wymagających chłodzenia powietrzem. Z kolei przetłoczenia służą do zwiększenia sztywności blaszanej ścianki.



7.2 Konstrukcje ramowe

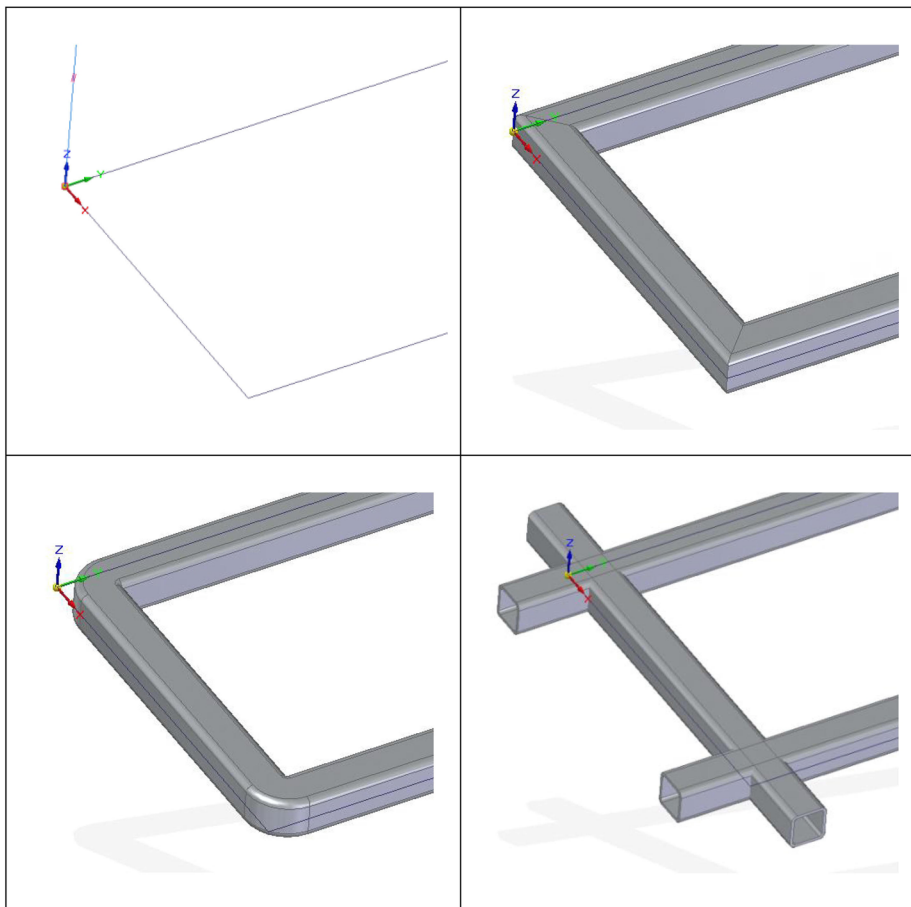
W praktyce **wiele konstrukcji nośnych** powstaje przy użyciu tzw. **profilu**. Mogą to być kątowniki, ceowniki, teowniki, rury okrągłe, profile zamknięte o przekroju prostokątnym itp. Są to najczęściej **konstrukcje spawane, które służą jako ramy, szkielety**. W ten sposób łatwo możemy zaprojektować np. stół warsztatowy albo piłę stołową lub inne urządzenie na bazie sztywnej konstrukcji.



WAŻNE

W odróżnieniu od środowiska ‘Część blaszana (ISO metryczne)’, narzędzie do konstruowania ram w programie Solid Edge nie stanowi oddzielnego modułu – jest natomiast zaimplementowane w środowisku ‘Złożenie (ISO metryczne)’.

Podstawą do narysowania ramy jest **szkic, składający się z odcinków – najczęściej prostych**. Szkic może określać drogę środka profilu, a także jego zewnętrzny lub wewnętrzny obrys. W tym przykładzie mamy do czynienia ze **szkicem płaskim**. Nic jednak nie stoi na przeszkodzie dodaniu kolejnych, pionowych odcinków szkicu lub posłużeniu się narzędziem ‘Szkic 3D’, umożliwiającym **rysowanie przestrzenne**. Zakończenia odcinków mogą być ukosowane, zaokrąglane, przedłużane lub skracane – aby pasowały do siebie nawzajem. **Oprogramowanie automatycznie oblicza zadane rozwiązanie**. Poniższe przykłady ilustrują różne możliwości zakończeń, powstających przy wykorzystaniu profilu zamkniętego o przekroju kwadratowym.

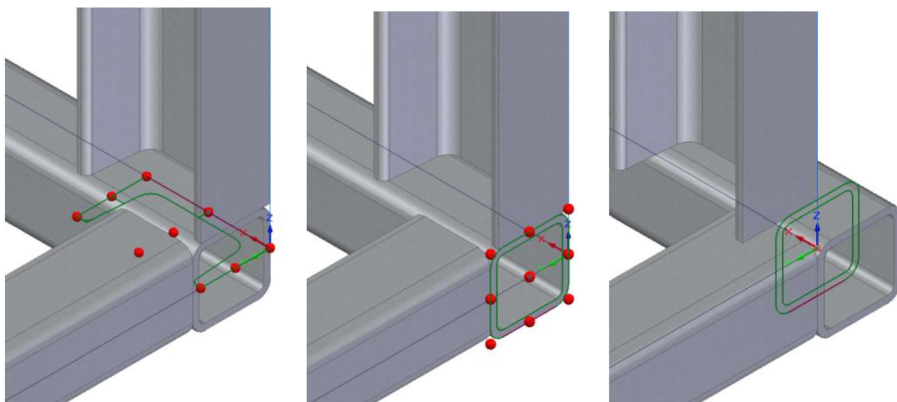


WAŻNE

Z punktu widzenia projektowego istotne jest, jak będziemy interpretować narysowany szkic – czy ma on stanowić obwiednię zewnętrzną dopasowanych do niego profili, czy może ma on stanowić oś obojętną profili, czyli przechodzącą przez środek ciężkości ich przekroju.

Do wyboru jest jeszcze kilka innych **możliwości wyrównania**, co odbywa się przez wskazanie odpowiedniego punktu przekroju profilu. Natomiast zadanie rodzaju zakończeń to już kwestia wtórna, zależna od założonych możliwości technicznych wykonania konstrukcji.

Na rysunkach przedstawiono, w powiększeniu, sposób dodania pionowego odcinka do wcześniej wykonanej „podkowy”, który opisany jest ceownikiem. Dwa pierwsze rysunki ilustrują wpisanie wszystkich trzech profili naroża w obwiednię szkicu. Wyrównania szkicu dokonuje się przez wybór jednego z charakterystycznych punktów profilu. Jak widzimy na ostatnim rysunku, łączenie wszystkich profili na ich punkt środkowy nie daje oczekiwanych rezultatów, zwłaszcza gdy łączone profile mają różne wymiary przekrojów.



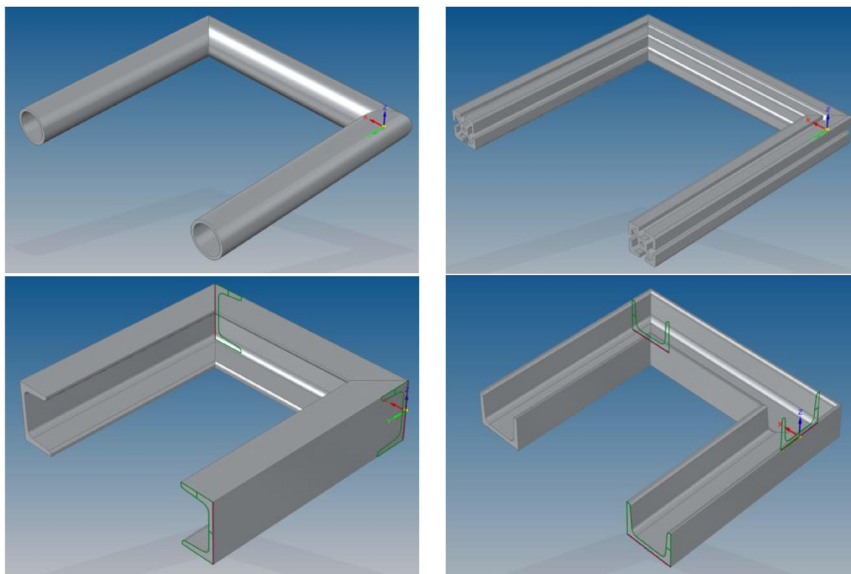
Zwykle tak dopasowujemy elementy, żeby do siebie pasowały zgodnie z regułą odpowiednią dla przyjętej technologii ich łączenia. Jednak gdy łączymy cieńszy element z grubszy, zwykle staramy się wyrównać wybrane lica. Można to nazwać **licowaniem**. W rozważanym przypadku odpowiednie licowanie uzyskujemy, gdy szkic w płaszczyźnie X-Y jest traktowany jako obwiednia profilu zamkniętego. W bardziej złożonych przypadkach, gdy łączymy profile o różnych wielkościach lub pod dowolnym kątem, końce można niezależnie przycinać wzdłuż krawędzi przenikania.



UWAGA

W zasadzie dobrze wykonany szkic, składający się z prostych odcinków, to najważniejsza część projektu konstrukcji ramowej. Rodzaj profilu możemy zmienić dosłownie kilkoma kliknięciami.

Wystarczy przyporządkować odpowiedni kształt z bazy standardowych profili, które znajdują się także w wersji studenckiej SE. Niektóre profile zdefiniowane są już jako standardowe w środowisku. Są to zwyczajne pliki *.par, które można utworzyć samodzielnie dla nietypowych przypadków. Poniższe przykłady prezentują kilka standardowych rozwiązań – rura okrągła, profil techniczny aluminiowy oraz ceowniki o odpowiednio obróconym przekroju.



Można także samemu narysować profil, który jest prostym, krótkim wyciągnięciem odpowiedniego kształtu (np. dla kątownika kształt w rodzaju litery 'L') i dodać go do swojej bazy.

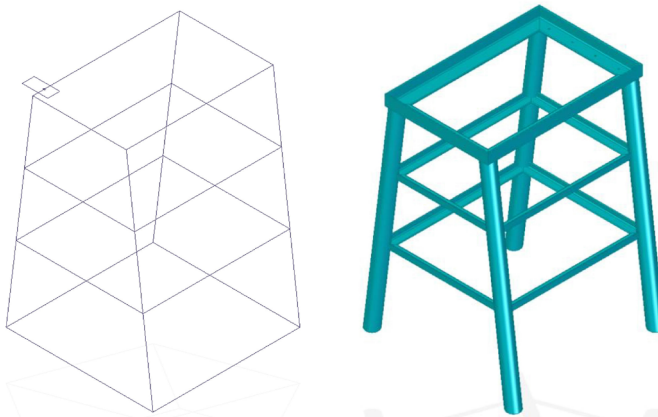


WAŻNE

Ważne, aby przy przenoszeniu plików projektu nie zapomnieć dołączyć do niego plików odpowiednich profilów, ponieważ nie są one wpisywane automatycznie w projekt, na tej samej zasadzie co pliki części nie są włączane w plik złożenia.

Poniżej przedstawiono praktyczny przykład zaprojektowania konstrukcji ramowej stołu do wiertarki WS-15 przy użyciu opisanych wyżej narzędzi oprogramowania Solid Edge. Przykład został szerzej opisany w załączonym studium przypadku.

Pierwszy rysunek przedstawia szkic, którego rysowanie zostało rozpoczęte na równoległych płaszczyznach od prostokątów odpowiadających kolejno podłozie i blatowi. Następnie połączono te szkice odpowiednimi relacjami oraz dorysowano odcinki odpowiadające nogom. Dodano dwie płaszczyzny odpowiadające półkom stolika, na których narysowano szkice połączone relacjami z punktami, w których nogi przebijają odpowiednie rzutnie. W ten sposób otrzymano trójwymiarowy szkic, który sam dostosowuje się do ewentualnych modyfikacji głównych wymiarów stołu.



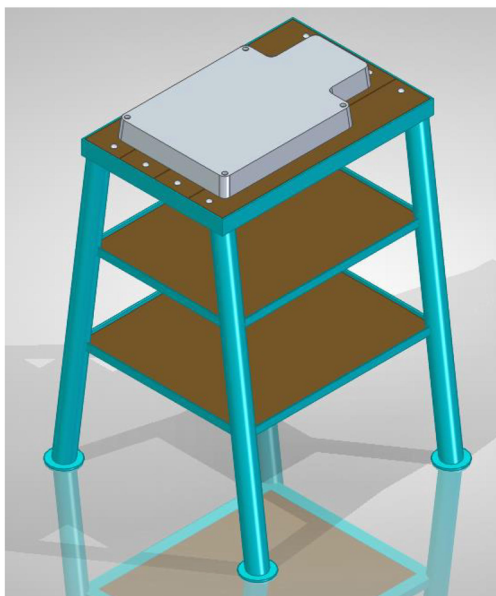
Drugi obraz przedstawia samą konstrukcję ramową. Nogi zostały zaprojektowane z okrągłej rury, rama głównego blatu z kątownika o większych wymiarach przekroju, natomiast ramki półek z „cieńszego” kątownika. Posługując się tradycyjnymi metodami, zdecydowanie łatwiej jest zaprojektować i wykonać dowolną ramę przy założeniu pionowości lub poziomości wszystkich elementów.



UWAGA

Dysponując jednak oprogramowaniem Solid Edge można podjąć się bardziej złożonych zadań.

W tym przypadku, dla zwiększenia stabilności i bezpieczeństwa użytkowania zdecydowano się na budowę stołu z nachylonymi nogami. Poniższy obraz przedstawia wizualizację opracowanego stołu, na którym spoczywa zgrubnie zamodelowana podstawa wiertarki, umożliwiając zweryfikowanie dopasowania.



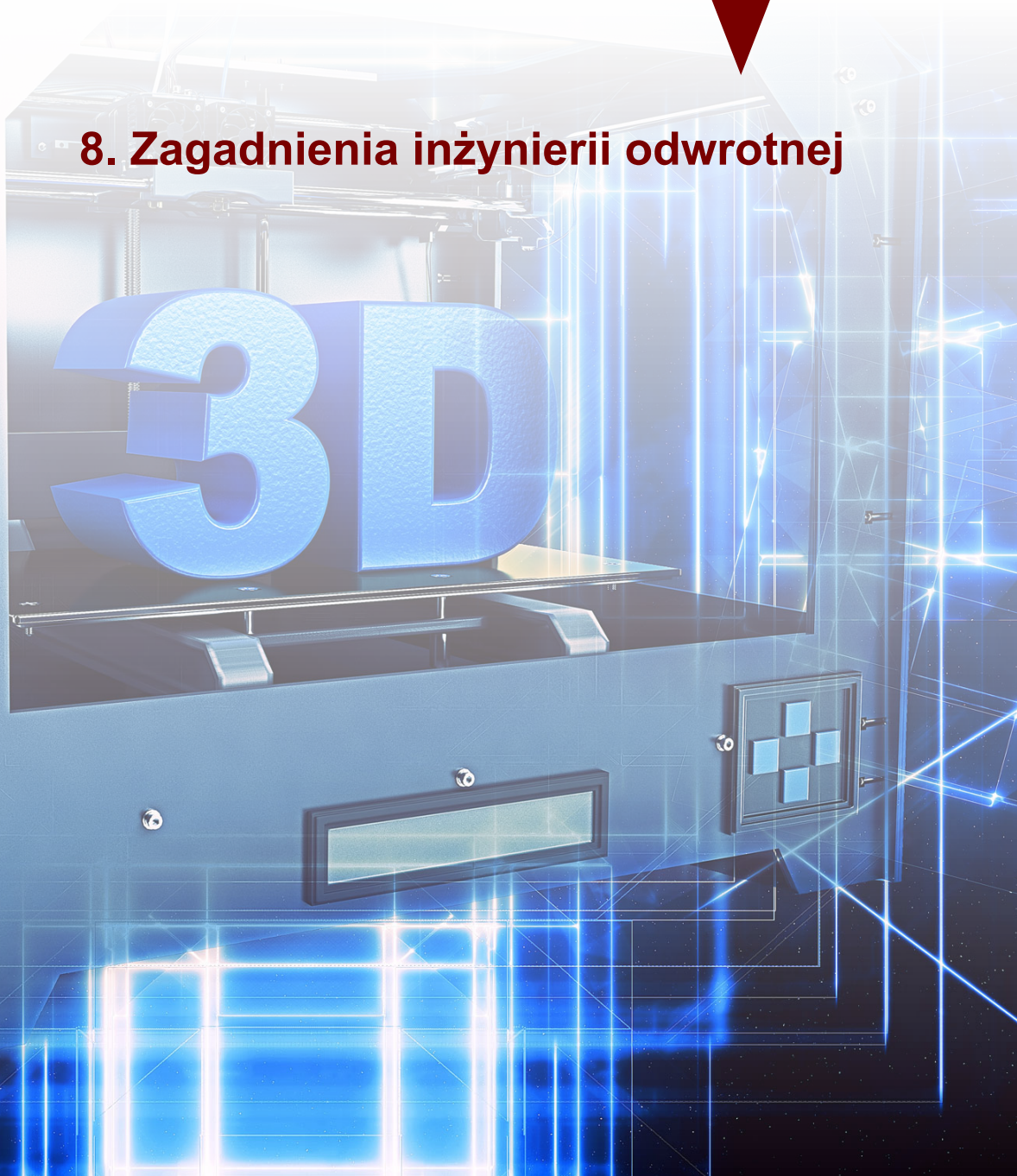
Po wykonaniu modelu takiego złożenia, **można wygenerować w oprogramowaniu wykaz wszystkich elementów z łączną długością użytych profili każdego rodzaju, co ułatwia oszacowanie kosztów, zamówienie materiału oraz minimalizuje ilość odpadu.** W łatwy sposób można także **oszacować masę konstruowanej ramy**, co może mieć istotne znaczenie użytkowe (np. masa własna projektowanej przyczepy samochodowej).

Jednak najważniejszą funkcją oprogramowania jest **możliwość generowania rysunków technicznych poszczególnych odcinków uwzględniająca kształt odpowiednio podciętych końców oraz wykonanych otworów.**

Na podstawie takiej dokumentacji można precyzyjnie wykonać wszystkie elementy, zapewniając ich prawidłowe połączenie.



8. Zagadnienia inżynierii odwrotnej





WAŻNE

Dzięki rozwojowi technik digitalizacji, w szczególności skanowania 3D oraz metod komputerowego wspomagania projektowania, istnieją szerokie możliwości tworzenia nowych projektów na bazie istniejących przedmiotów, będących wzorcami.

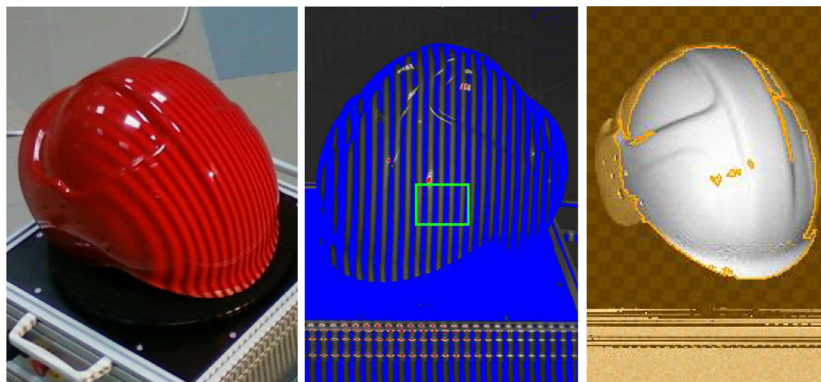
To właśnie jest istotą inżynierii odwrotnej!

8.1. Proces skanowania 3D

Jako przykład przedstawiono **konstrukcję typowego optycznego skanera 3D**. Składa się on z projektora emitującego obraz najczęściej w postaci czarno-białych prążków oraz kamer rejestrujących obraz odwzorowany na powierzchni skanowanego obiektu. Wyposażenie skanera w sterowany stół obrotowy (fotografia po prawej) umożliwia łatwiejsze łączenie skanów wykonywanych dookoła obiektu.

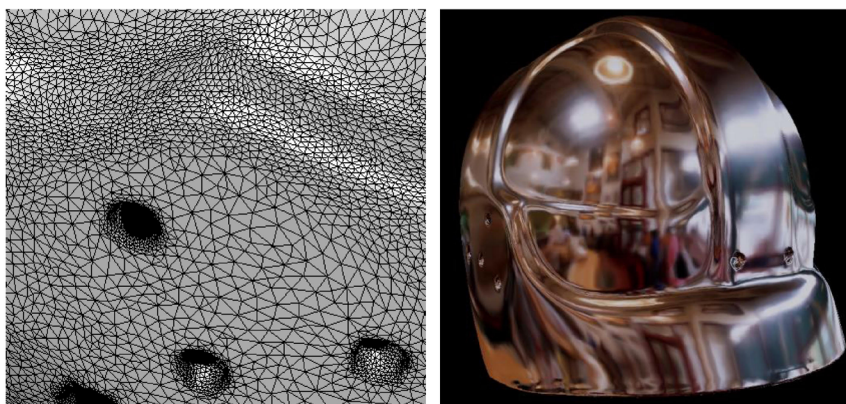


Na kolejnych zdjęciach przedstawiono **widok przykładowego obiektu podczas procesu skanowania**. Widoczne są prążki, które odkształcają się na powierzchni przedmiotu. Na środkowym zdjęciu przedstawiony jest widok okna kamer w programie obsługującym głowicę skanującą. Trzecie zdjęcie przedstawia widok chmury punktów pozyskanej w procesie skanowania podczas obróbki w programie.



Obraz odkształconych prążków pozyskany przez kamery jest podstawą do obliczeń geometrycznych, prowadzących do określenia przestrzennego położenia punktów znajdujących się na granicy światła i cienia. W ten sposób powstaje chmura punktów, która następnie obrabiana jest w odpowiednim oprogramowaniu. Pierwszym etapem obróbki jest usunięcie przypadkowo wyskanowanych elementów należących do tła.

Otrzymana chmura punktów, opisująca w cyfrowy sposób kształt digitalizowanego obiektu, jest tylko przejściową formą geometryczną i podlega dalszej obróbce, prowadzącej do otrzymania siatki trójkątów. Widok przykładowej siatki trójkątów prezentują poniższe zdjęcia – pierwsze przedstawia widok trójkątów w siatce, a drugie – siatkę trójkątów z nałożoną teksturą brązu dla oceny jakości odwzorowanej powierzchni.



Z kolei **obróbka siatki trójkątów polega na jej redukcji** w taki sposób, aby zachować wymaganą dokładność geometryczną a jednocześnie zmniejszyć liczbę trójkątów nadmiarowych z punktu widzenia dalszej obróbki i możliwości sprzętowo-programowych systemu komputerowego.



WAŻNE

Optimum uzyskuje się między innymi w taki sposób, że zagęszczenie trójkątów na powierzchni modelu zależy od kształtu tej powierzchni.

W przypadku krawędzi jest ich znacznie więcej, natomiast na rozległych powierzchniach o miękkich kształtach może być ich zdecydowanie mniej.

8.2. Od skanowania do edytowalnego modelu CAD

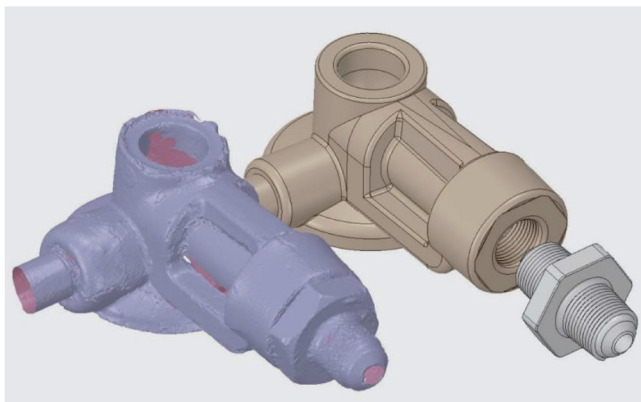
W przypadku zastosowań inżynierii odwrotnej, **siatka trójkątów jest formą niewystarczającą**. Dąży się do otrzymania w pełni **edytowalnego modelu CAD**, który niczym nie różniłby się od modelu bryłowego, opracowanego od podstaw przy użyciu komputerowego środowiska do projektowania.



UWAGA

Zasadne jest przy tym niwelowanie wpływu wad skanowanego obiektu, wynikających z niedokładności produkcyjnych, zużycia, uszkodzenia itp.

Istotne w opisywanym procesie jest odtworzenie lub zadanie nowych wymiarów nominalnych i właściwych relacji poszczególnych elementów bryły.



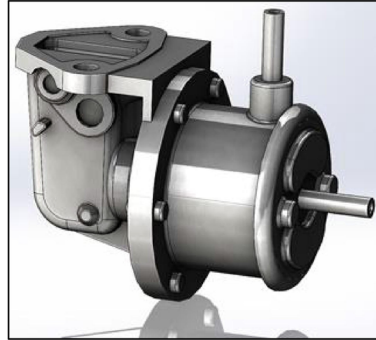
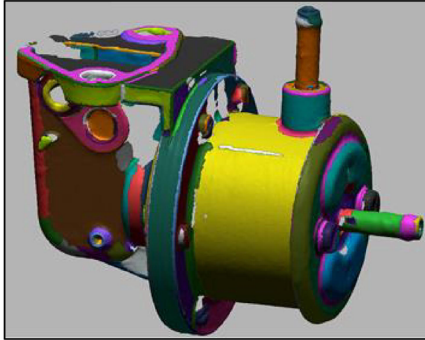
Odtwarzanie modelu CAD na podstawie skanu 3D odbywa się w oprogramowaniu do inżynierii odwrotnej i polega na wykonywaniu takich samych operacji, które byłyby niezbędne do wykonania modelu 3D w typowy sposób.



WAŻNE

Zasadniczą różnicą jest jedynie to, że model budujemy pierając się na siatce trójkątów, która stanowi pewnego rodzaju tło dla kolejno wykonywanych operacji.

Kolejny przykład dotyczy **procesu odtwarzania modelu membranowej pompy paliwa starszego typu**. Pierwszy obraz poniżej przedstawia siatkę trójkątów, w której wydzielone są tzw. regiony, czyli obszary możliwe do przybliżenia prymitywnymi powierzchniami typu płaszczyzna, walec, stożek, sfera, bryła obrotowa. Drugi obraz przedstawia wizualizację odtworzonego modelu CAD.



Identyfikacja regionów na siatce trójkątów wykonywana jest w programie do inżynierii odwrotnej w celu łatwiejszego wyboru metody tworzenia poszczególnych lic bryły.



9. Zagadnienia kontroli jakości wymiarowej



Jak wspomniano w pierwszym rozdziale, jednym z pochodnych obszarów komputerowego wspomagania projektowania jest zagadnienie **kontroli jakości wymiarowej**. Jest to niezbędny element utrzymania wymaganej jakości produkcji.



WAŻNE

Pomiary dotyczą zwykle najbardziej istotnych wymiarów tolerowanych, kształtu elementów oraz ich położenia.

Aktualnie używa się do tego celu **współrzędnościowych maszyn pomiarowych**, które są w stanie zapewnić wysoką dokładność pomiaru, sięgającą ułamka mikrometra w trzech wymiarach. **Maszyny pomiarowe są zbudowane na bazie ramy, która zapewnia przesuwanie pinoli w trzech wymiarach.**

Wysoka dokładność tych urządzeń jest możliwa dzięki łożyskowaniu pneumatycznemu oraz masywnemu, granitowemu blatowi (granit charakteryzuje się minimalnym współczynnikiem rozszerzalności termicznej).

Maszyny pomiarowe mogą być **napędzane ręcznie lub automatycznie**. Niezależnie od wersji, realizowanie kompletnych pomiarów na takiej maszynie wymaga napisania odpowiedniego programu, którego wykonanie powtarza się dla kolejnych produkowanych seryjnie części.



Tańszą i znacznie mniej precyzyjną alternatywą są ramiona pomiarowe. Sondy używane do pomiarów są identyczne – zakończone rubinową kulką o ściśle określonej średnicy (dobieranej do wielkości mierzonego elementu). Sam pomiar wygląda podobnie do pomiaru wykonywanego na manualnej maszynie pomiarowej.

Poniżej przedstawiono fragment **raportu pomiarowego przykładowej części**. Pomiar był wykonany w laboratorium Wyższej Szkoły Ekonomii i Innowacji przy użyciu manualnej maszyny współrzędnościowej.



Nazwa części

Płyta łożyska 2

Nr protokołu

2

Nazwa programu

Kompletny

Data i godzina

09.05.2016 14:45

Kod części

OPT8T-07.027.00

Materiał

Alu PA6/PA13

Operator

Mirosław Guzik

El. No.	Line No.	Element	Pnt. X-Coord. X-Angle	Y-Coord. Y-Angle	Z-Coord. Z-Angle	Diameter Dist./Ang.	Variance
		Tolerance	Ref. Nominal	Up/Lo	Actual	Dev./Error	
===== WYTOCZENIE POD ŁOŻYSKO =====							
1	23	Cylinder	52.00000	0.00400	51.99593	-0.00407	___**___
		Srednica		-0.01500			
1	23	Cylinder		0.01000		0.00499	***_--
		Walcowosc					
1	23	Cylinder	12.00000	0.10000	12.01664	0.01664	___**___
		Pozycja X		-0.10000			
1	23	Cylinder	35.00000	0.05000	34.99898	-0.00102	___*___
		Pozycja Y		-0.05000			
1	24	Cylinder		0.03000		0.00923	***_--
		Prostopadlosc					

W

S

E

I



Do wykonywania pomiarów można użyć także optycznych skanerów 3D. Dokładność pomiaru przy użyciu skanera zależy ściśle od wielkości zdefiniowanego pola pomiarowego. Im ono jest mniejsze, tym większą można uzyskać precyzję. W przypadku pomiarów skanerem należy się liczyć z błędami w zakresie 0,01–0,01 mm, czyli o 1–2 rzędy wielkości większymi niż w przypadku maszyn pomiarowych.



Pomiaru zwykle nie dokonuje się tak, jak na powyższym rysunku – z użyciem sondy zakończonej kulką rubinową, której położenie określa się dzięki lokalizacji markerów znajdujących się na uchwycie. W tym przypadku chodzi o **pomiar średnic elementów wewnętrznych**, które są trudne do skanowania z powodu przeszkody w dotarciu tam światła skanera.



UWAGA

Zatem najczęściej pomiar przy użyciu skanera polega na utworzeniu siatki trójkątów, będącej numerycznym modelem rzeczywistego obiektu i porównania jej z modelem referencyjnym (najczęściej modelem CAD). Wszelkie odchyłki można wizualizować w postaci kolorowej mapy.

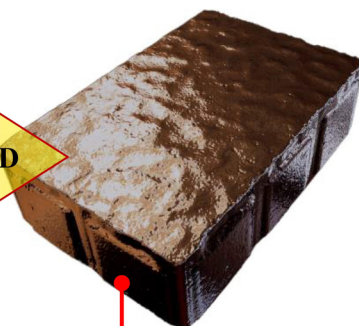
Pomiar ma więc charakter powierzchniowy a nie punktowy, jak w przypadku maszyn współrzędnościowych, co przy uwzględnieniu różnic dokładności – definiuje różne zakresy stosowalności obu metod.

Jako przykład przedstawiono projekt, który niegdyś był wykonany w Laboratorium Szybkiego Prototypowania WSEI (tym samym skanerem, który był przedstawiony w rozdziale o inżynierii odwrotnej). Celem projektu było określenie dokładności formy do produkcji kostki brukowej, która z kolei została odtworzona na podstawie skanu 3D rzeczywistego egzemplarza.

ORYGINAŁ



modele powierzchniowe



skanowanie 3D

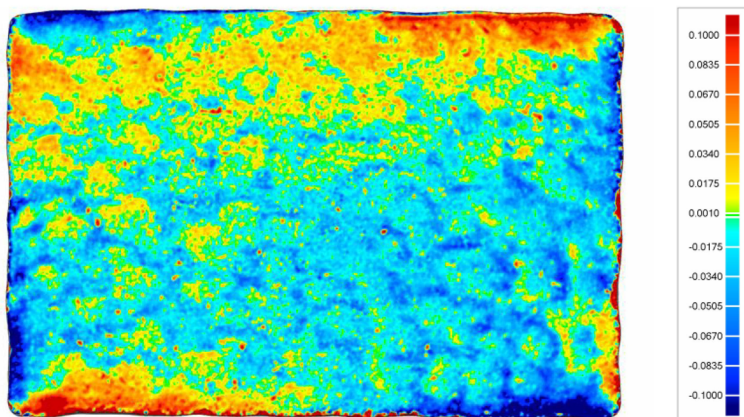
KOPIA



skanowanie 3D



Analiza geometryczna porównywanych obiektów zwykle polega na nałożeniu na siebie odpowiednich siatek trójkątów – referencyjnej i testowanej. Na tej podstawie można wygenerować tzw. mapę odchyłek, która w obrazowy sposób prezentuje niezgodności geometryczne.



Kolorami ciepłymi zaznaczone są naddatki, czyli odchyłki dodatnie, a niebieskim ubytki, czyli odchyłki ujemne, które odnoszone są względem geometrii referencyjnej.



WAŻNE

Najwięcej jednak zależy od interpretacji otrzymanych wyników, ponieważ istotny wpływ ma choćby sposób wyównania porównywanych modeli względem siebie.

W przypadku nieregularnych kształtów dość często korzysta się z metody najlepszego dopasowania, polegającej na minimalizacji wartości bezwzględnej wszystkich odchyłek. Innym sposobem jest przyjęcie wybranego punktu i związanych z nim relacji jako bazy pomiarowej, co najczęściej ma zastosowanie w analizie geometrycznej takich obiektów, jak części maszyn, których sposób pomiaru jest ściśle określony w dokumentacji rysunkowej.



WAŻNE

Przy użyciu oprogramowania do kontroli jakości wymiarowej, jak Geomagic Control lub GOM Inspect, można także kontrolować ściśle określone wymiary i wyprowadzać podobne raporty pomiarowe, jak w przypadku maszyn współrzędnościowych.

Istotna różnica tkwi w dokładności otrzymanych wyników.

Niektóre elementy są trudne do bezpośrednich pomiarów, jak np. wspomniane łapki mocujące szyny do podkładów kolejowych, natomiast wymiary tolerowane były w zakresach rzędu dziesiątych części milimetra.

Zastosowanie skanera 3D do pomiaru tego typu elementów okazało się najlepszym możliwym rozwiązaniem. Zostało to opisane jako jedno ze studium przypadku dla bieżącego modułu 'Komputerowe wspomaganie projektowania'.



10. ĆWICZENIA –

Kurs laboratorium CAD

Zadania laboratoryjne są wykonywane w środowisku 'Część (ISO metryczne)' oprogramowania Solid Edge. Polegają na budowie modelu 3D przykładowych części lub przedmiotów w trybie synchronicznym tego środowiska. Większość tego rodzaju zadań służy do nauki i nie podlega ocenie. Jedno z zadań dotyczące modelowania tłoka silnika spalinowego jest opracowywane przez studentów samodzielnie w formie pracy ewaluowanej i przedstawiane do oceny przy użyciu platformy e-learningowej. Ostatnie zadanie realizowane jest w formie kolokwium zaliczeniowego kursu laboratorium. Polega na samodzielnym utworzeniu części oraz złożenia uproszczonego modelu piasty, tarczy hamulcowej oraz śrub mocujących, na podstawie indywidualnie zadanych założeń w postaci wartości jednego z kluczowych wymiarów.

W opisie większości zadań przyjęto następujące skróty:

Oznaczenia: **LK** – lewy klik przyciskiem myszy,
PK – prawy klik przyciskiem myszy, znak '>' oznacza kontynuację operacji., ↓ – rozwinięcie listy,
PE – prawy enter.

10.1. ZADANIE 1

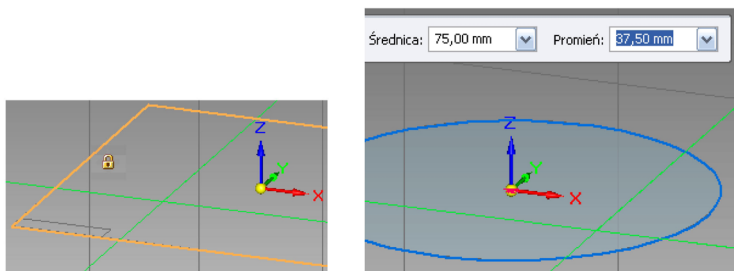
Model 3D kubka

Celem zadania jest przećwiczenie podstawowych operacji bryłowych jak prostopadłe wyciągnięcie szkicu z obróbką polegającą na pochyleniu lica, wycięcia otwartym szkicem przez obrót wokół osi oraz zadanie bryły cienkościennej. W zadaniu także znajdują

zastosowanie narzędzia do zaokrąglania krawędzi lub lic zadanym promieniem. Istotnym elementem zadania jest rzutowanie krawędzi do płaszczyzny szkicu. Zadanie przeznaczone jest do wykonania w środowisku 'Część (ISO metryczne)'. Ostatnim etapem zadania realizowanego w ramach laboratorium jest wykonanie możliwie realistycznej wizualizacji otrzymanego przedmiotu w aplikacji KeyShot.

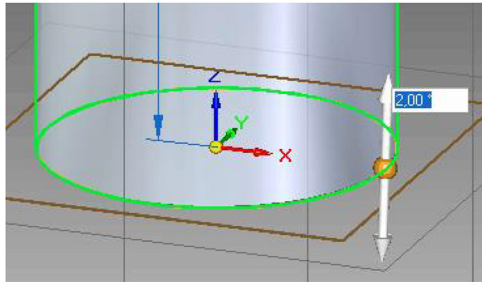


- A.** Upewnij się, że włączone są przyciski *Szkicowanie\ Zachowaj_relacje*  oraz *Szkicowanie\Symbole_relacji* . W oknie *PathFinder* włącz Główne płaszczyzny odniesienia.
- B.** *Rysowanie\Okrąg*  > zablokuj płaszczyznę X-Y naciskając **F3**, gdy wskazując na nią pojawi się znak kłódki.

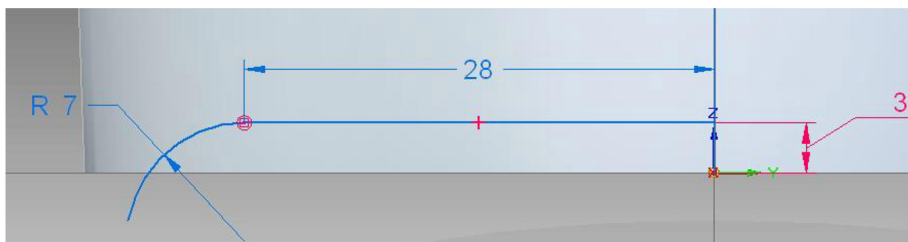


Kliknij w początku układu współrzędnych, gdy wskazując w tym miejscu pojawi się znak szpilki. Narysuj okrąg o średnicy **75 mm**, podając tę wartość na pasku wstęgowym. Następnie **PK**, aby zakończyć operację.

- C.** *Narzędzia_główne\Bryły\Przeciągnij*  > zaznacz narysowany okrąg > **PK** > wpisz wartość **90 mm** > **PE**.
- D.** *Narzędzia_główne\Bryły\Pochyl*  > **LK** na profilu podstawy > **LK** na ścianie bocznej walca > wartość **2°** > **PE**.

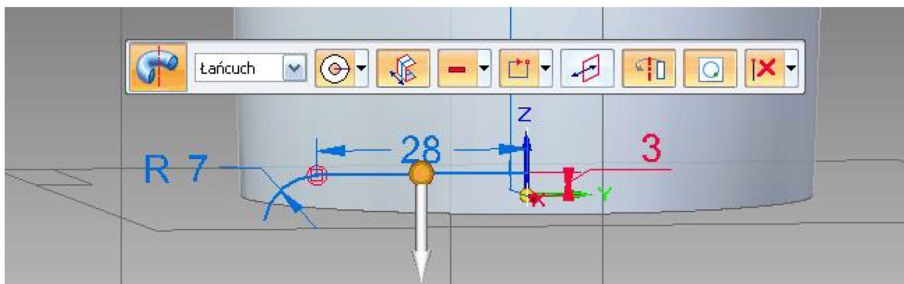


- E. Szkicowanie\Linia  > **F3** gdy wskazana będzie płaszczyzna Y-Z > Widok\Z prawej  > Narysuj linię, zaczynając od **LK** na osi. W polu Długość na pasku wstęgowym wpisz **28 mm** > **PK**. Za pomocą Wymiar\Odległość_pomiędzy  > ustal odległość linii od podstawy na **3 mm** (może trzeba skasować relację przecięcia linii z osią 'x', aby przekształcić wymiar na sterujący).
- Szkicowanie > Łuk styczny  > zaczynając od **LK** na lewym końcu linii > we wstążce wpisz **Promień 7 mm**.



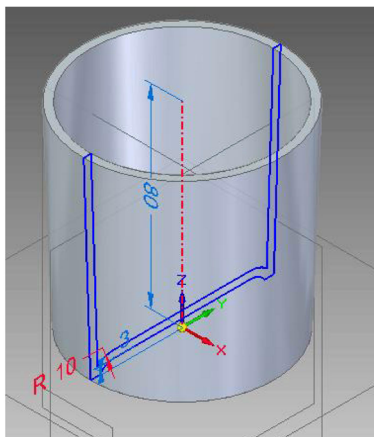
Po narysowaniu profilu, naciśnij **Ctrl + i**, aby przejść do widoku izometrycznego.

- F. Bryły > Obróć  > **LK** na narysowanym profilu > **PK**, aby zakończyć wybór krawędzi. Na wstążce ustaw: *Typ rozciągnięcia* > **360°** > *Dodaj / Wytnij*  > *Usuń*. Wybierz oś obrotu: **PK** na osi Z i wskaż kierunek wycięcia w dół > **LK**.



Naciśnij **Ctrl + i**, aby przejść do widoku izometrycznego.

- G.** *Narzędzia_główne > Bryły > Bryła_cienkościenna*  > **LK** na górnej ścianie walca, aby otworzyć lico > wpisz **3** mm grubości ścianki > **PE**.

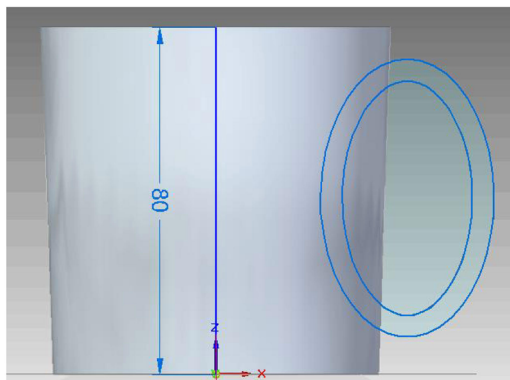


- H.** *Szkicowanie > Okrąg_ze_środką*  > ↓ > *Elipsa_ze_środką*  . Wskazując płaszczyznę X-Z zablokuj ją naciskając **F3**. Wybierz Widok > Z przodu .

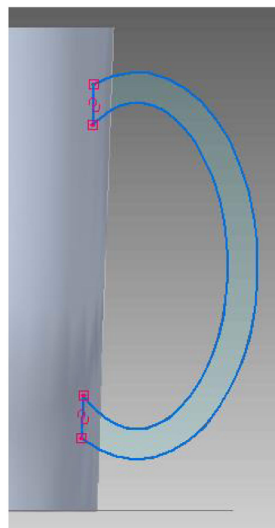
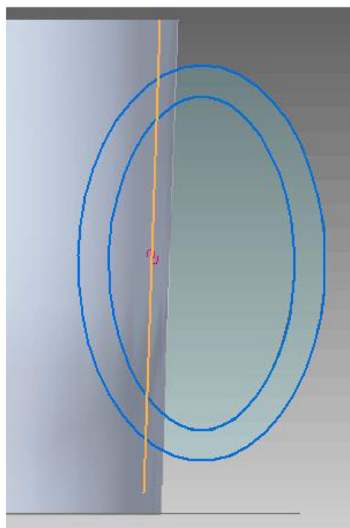
Na pasku wstęgowym wpisz: *Półś 32* mm, *Półś_mala 20* mm, *Kąt 90°*. Wskaż środek elipsy – **LK** na prawej krawędzi, mniej więcej w połowie wysokości kubka.

Szkicowanie > Odsunięcie  > **LK** na obrysie elipsy > **PK**, aby zakończyć wybór. Na wstążce: *Odległość 5* mm > **PE** > wskaż kierunek do wnętrza > **LK** > **PK**, aby zakończyć.

Szkicowanie\Przenieś  > **Ctrl+LK** na obu elipsach > **LK** w środku elips > umieść elipsy mniej więcej w takim położeniu jak na rysunku > **LK**.

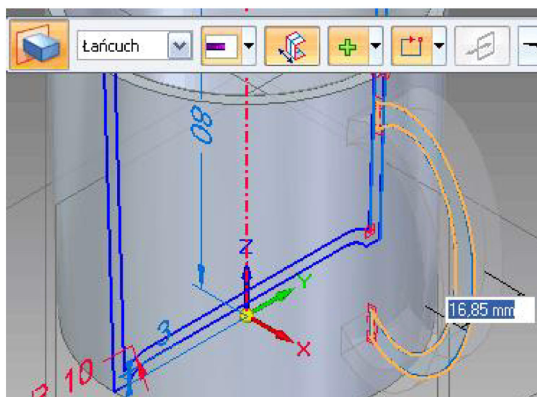


- I. *Szkicowanie* > *Rzutuj_do_szkicu*  > **LK** na wewnętrznej krawędzi kubka > **PK** (pierwszy rys. poniżej).



Szkicowanie > *Przytnij*  > dokończ profil ucha usuwając zbędne odcinki (drugi rys. powyżej). Naciśnij **Ctrl + i**, aby przejść do widoku izometrycznego.

- J. *Narzędzia_główne* > *Bryły* > *Przeciągnij* . Na wstążce wybierz: *Typ_zaznaczenia* > *Łańcuch*, włącz: *Symetria* . **LK** na profilu ucha > **PK** > wpisz długość **13 mm** > **PE**.



- K.** Wykonaj zaokrąglenia: *Narzędzia_główne > Bryły > Zaokrąglaj*



. Na wstążce wybierz lico. **LK** na górnym licu kubka > wpisz **1 mm > PE**.

LK na dowolnym licu ucha > wpisz **2 mm. LK > PE** na pozostałych 3 licach ucha. Wykonaj również zaokrąglenie wewnętrznej krawędzi dna kubka promieniem **3 mm**.

- L.** W menu *Widok* wybierz *Malarz_części* > eksperymentuj wybierając dowolne style. Na wstążce wybierz *Obiekt > LK* na kubku. Możesz włączyć przyciski *Odbicie_podłoża* oraz *Rzucaj_cień*. Aby przełączyć na podgląd w lepszej jakości zmień widok *Default* na *High_Quality*.





10.2. ZADANIE 2

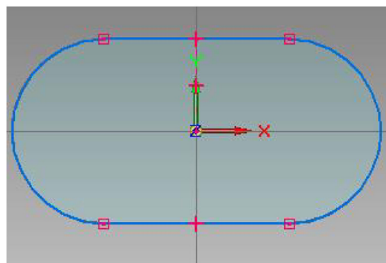
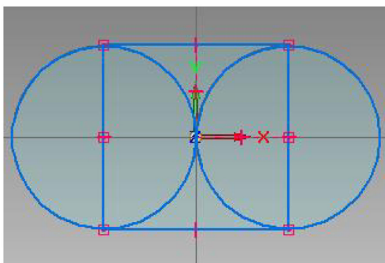
Model 3D zakrętki

Celem zadania jest przećwiczenie rysowania symetrycznych szkiców i wykorzystania szkiców otwartych w operacjach bryłowych. Istotnym elementem zadania jest konstruowanie szkicu z kilku przycinanych kształtów. Zadanie przeznaczone jest do wykonania w środowisku 'Część (ISO metryczne)'. Ostatnim etapem zadania realizowanego w ramach laboratorium jest wykonanie rysunku technicznego zamodelowanego przedmiotu, składającego się z przekroju jako rzutu głównego, widoku z góry oraz rzutu aksonometrycznego z zadaniem wyrwaniem.

A. Upewnij się, że włączone są przyciski *Szkicowanie\ Zachowaj_relacje*  oraz *Szkicowanie\Symbole_relacji* . W oknie PathFinder włącz Główne płaszczyzny odniesienia.

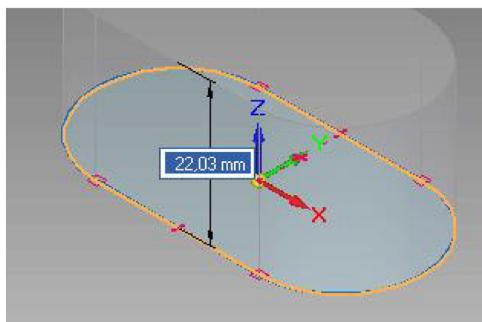
M. *Szkicowanie\Prostokąt_ze_środką* > Zablokuj **F3** płaszczyznę X-Y. *Widok > Z_góry*. **LK** w początku układu wsp., gdy pojawi się szpilka. Na wstążce: **Szerokość 25, Wysokość 25**. **LK**, gdy boki kwadratu będą pionowe i poziome.

Szkicowanie\Okrąg_ze_środką  > dorysuj okręgi (lewy rys. poniżej),



Szkicowanie > Przytnij  > usuń zbędne odcinki i łuki (prawy rys. powyżej). Naciśnij **Ctrl + i**, aby przejść do widoku izometrycznego.

N. *Narzędzia_główne\Bryły\Przeciągnij*  > **LK** na profilu > **PK** > wyciągnij w górę na **22 mm** (upewnij się, że na wstążce jest wyłączony przycisk wyciągnięcia symetrycznego).

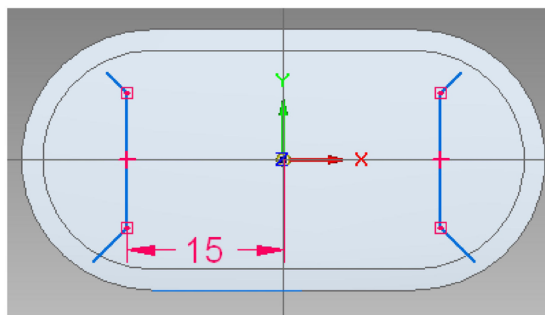


O. *Narzędzia_główne* > *Bryły* > *Bryła_cienkościenna* > **LK** na górnej ścianie zakrętki > grubość **2 mm** > **PE**.

P. *Szkicowanie\Linia* > **F3**, gdy wskazana będzie płaszczyzna X-Y > *Widok\Z góry* > na wstążce *Długość* **13 mm**, *Kąt* **90°** > narysuj pionowy odcinek profilu.

Za pomocą narzędzia *Szkicowanie\Przenieś* przenieś odcinek tak, aby go wyśrodkować w pionie. Za pomocą *Wymiar\Odległość_pomiędzy* ustal odległość odcinka od pionowej osi na **15 mm**.

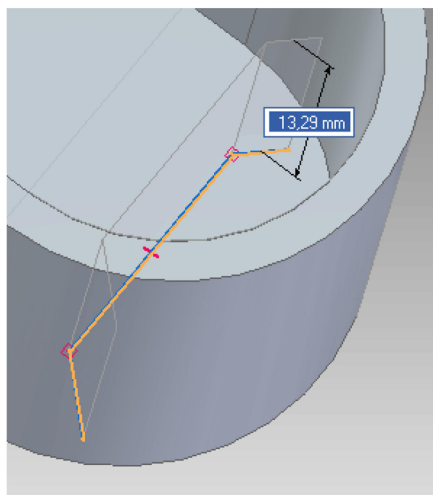
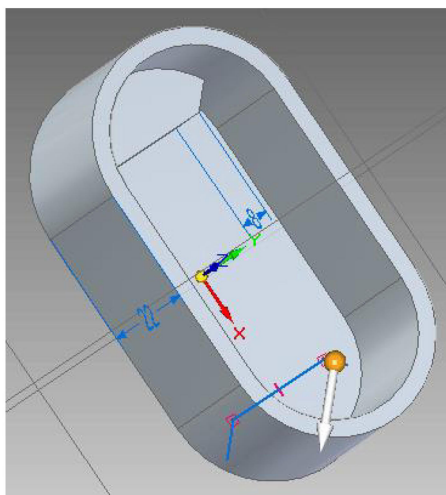
Szkicowanie\Linia > dorysuj skośne odcinki podając na wstążce *Kąt* **-45°** dla górnego i **45°** dla dolnego.



Szkicowanie\Odbicie_lustrzane > zaznacz utworzony profil i skopiuj go symetrycznie względem osi Y (prawy rys. powyżej). Zmień widok poruszając myszką z wciśniętym środkowym przyciskiem.



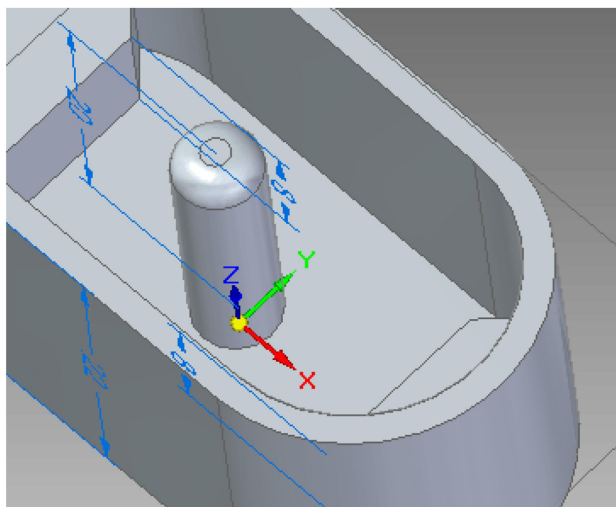
- Q.** *Narzędzia_główne\Bryły\Przeciągnij*  > **LK** zaznacz pierwszy profil > **PK** > ustal kierunek dodania materiału do zewnętrznej ściany zakrętki **LK** > wprowadź wysokość wyciągnięcia **10** mm. Powtórz operację wyciągając drugi, symetryczny profil.



- R.** *Szkicowanie\Okrąg_ze_środką*  > Zablokuj powierzchnię **F3** dna nakrętki > zmień widok na **Z_góry** > zaczynając od środka układu współrzędnych narysuj okrąg o średnicy **6** mm. Zmień widok na dowolny.

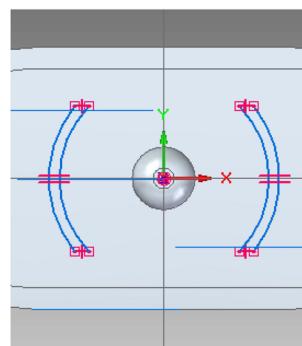
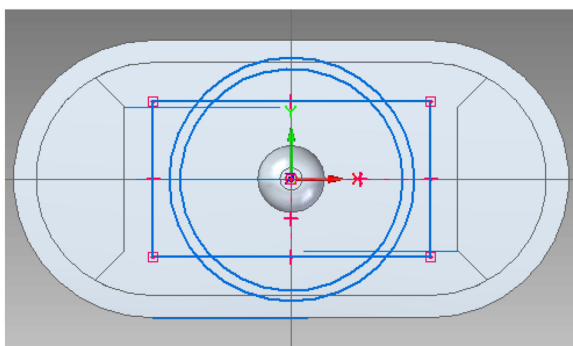
Narzędzia_główne\Bryły\Przeciągnij  > wyciągnij w górę

o **20** mm. *Narzędzia_główne > Bryły > Zaokrąglaj*  > zaokrąglaj górne lico promieniem **2** mm.



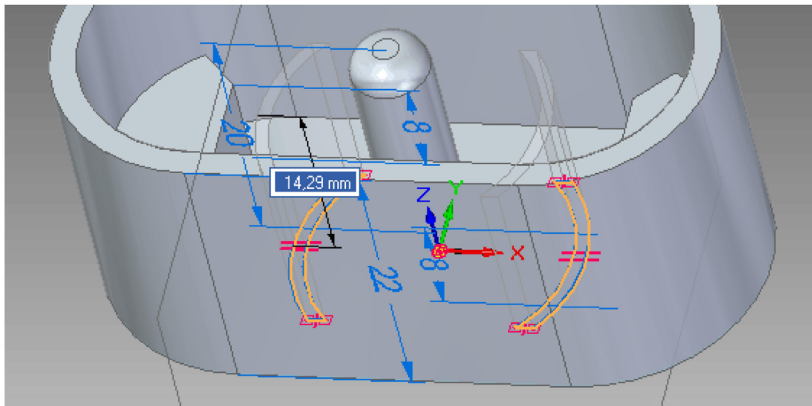
S. Szkicowanie\Okrąg_ze_środka  > Zablokuj poziomą powierzchnię **F3** X-Y > widok Z_góry  > narysuj ze środka układu dwa koncentryczne okręgi o średnicach **20** i **22** mm.

Szkicowanie\Prostokąt_ze_środka  > narysuj prostokąt o wysokości 14 mm i długości zbliżonej do pokazanej na rysunku (pierwszy rys. poniżej).

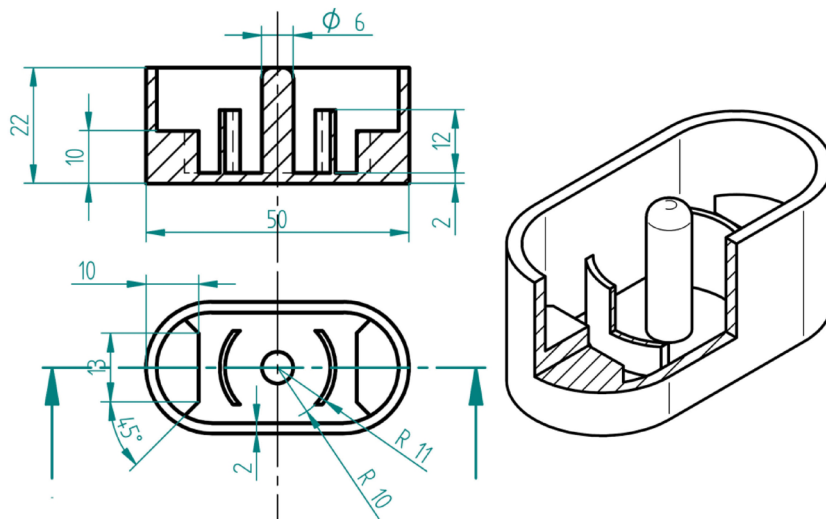


Szkicowanie > Przytnij  > dokończ profil usuwając zbędne odcinki (drugi rys. powyżej).

T. Narzędzia_główne\Bryły\Przeciągnij  > zaznacz oba profile i wyciągnij w górę o **14** mm.



- U. Na podstawie instrukcji otrzymanych od nauczyciela wykonaj rysunek techniczny opracowanego modelu 3D.



10.3. ZADANIE 3

Model 3D trójkątnika kanalizacyjnego

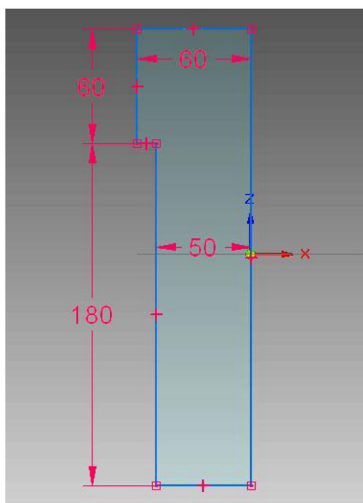
Celem zadania jest przećwiczenie dodawania kolejnych płaszczyzn do rysowania szkiców. Istotnym elementem zadania jest wykonanie bryły cienkościennej z trzema otwartymi licami. Zadanie cienkościenności powoduje przy tym rzutowanie wcześniej wy-

konanych zaokrągleń zewnętrznych do wnętrza przedmiotu. Zadanie przeznaczone jest do wykonania w środowisku 'Część (ISO metryczna)'. Ostatnim etapem zadania realizowanego w ramach laboratorium jest wykonanie realistycznej wizualizacji w programie KeyShot.



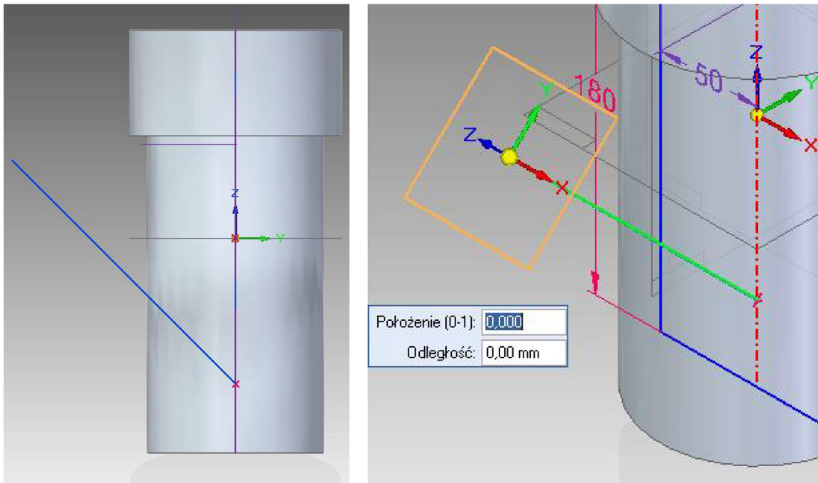
A. Upewnij się, że włączone są przyciski *Szkicowanie\ Zachowaj_relacje*  oraz *Szkicowanie\Symbole_relacji* . W oknie *PathFinder* włącz *Główne płaszczyzny odniesienia*.

V. *Szkicowanie\Linia*  > Zablokuj **F3** płaszczyznę X-Z > *Widok* > *Z_przodu*. Narysuj profil jak na rysunku poniżej. Użyj narzędzi wymiarowania *Smart Dimension*  i *Odległość_pomiędzy* .



W. *Bryły* > *Obróć*  > **LK** na narysowanym profilu > **PK**, aby zakończyć wybór. Na wstążce ustaw: *Typ rozciągnięcia* > 360° > wybierz oś obrotu: **LK** na osi Z > **PK**.

X. *Szkicowanie\Linia*  > Zablokuj **F3** płaszczyznę Y-Z > *Widok* > *Z_prawej* . Na wstążce podaj *Długość* **180** mm, *Kąt* **135°** . Ustaw linię tak, aby przylegała do osi Z w dolnej części rury (jak na pierwszym rys. poniżej).

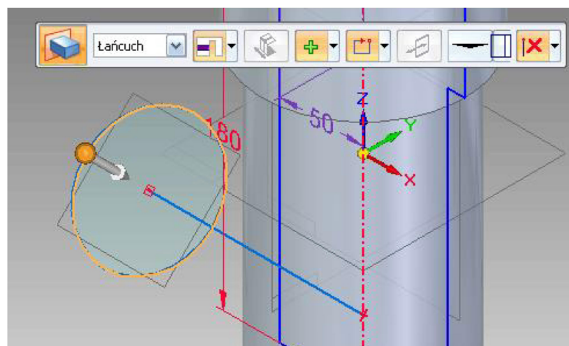


Y. *Szkicowanie\Płaszczyzny > Więcej_płaszczyzn*  > ↓ > *Normalna_do_krzywej*  > dodaj nową płaszczyznę na końcu narysowanej linii (drugi rys. powyżej).

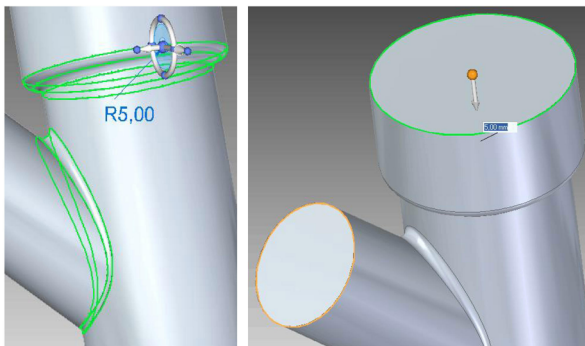
Z. *Szkicowanie\Okrąg_ze_środka*  > Zablokuj nową płaszczyznę **F3**. Jeśli płaszczyzna nie daje się zablokować, to znaczy, że wybrana jest inna płaszczyzna – **LK** na ikonke kłódki pojawiającej się po prawej stronie ekranu powoduje zwolnienie poprzedniej płaszczyzny i możliwość wyboru nowej.

Narysuj okrąg o średnicy **75** mm zaczynając od środka lokalnego układu współrzędnych, znajdującego się na końcu poprzednio narysowanej linii.

AA. *Narzędzia_główne\Bryły\Przeciągnij*  > na wstążce wybierz *Do_następnego* > wybierz stronę wyciągnięcia zgodnie z rysunkiem.



BB. Narzędzia_główne > Bryły > Zaokrąglaj  > zaokrąglaj krawędzie odpowiadające zmianie średnic promieniem **5 mm**



CC. Narzędzia_główne > Bryły > Bryła_cienkościenna  > grubość ścianek **5 mm** > zaznacz kolejne ściany, które mają zostać otwarte: **LK** na górnym, bocznym i po obróceniu elementu – dolnym wlocie rury. **PK**, aby zakończyć operację.



DD. Wykonaj w analogiczny sposób trójwymiarowy model wału, który składa się z czterech stopni o różnych średnicach (dobranych samodzielnie) i długości 240 mm. Wykonaj wyokrąglenia (zaokrąglenia krawędzi schodzących się pod kątem mniejszym od 180°) korbów wałka promieniem 3 mm. Wykonaj fazy czopów wałów o wymiarze 2 mm x 45°.

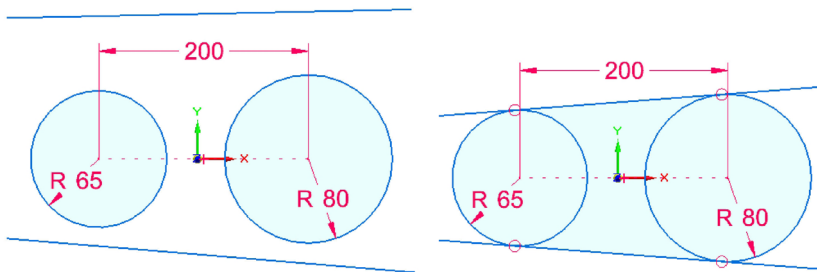


10.4. ZADANIE 4

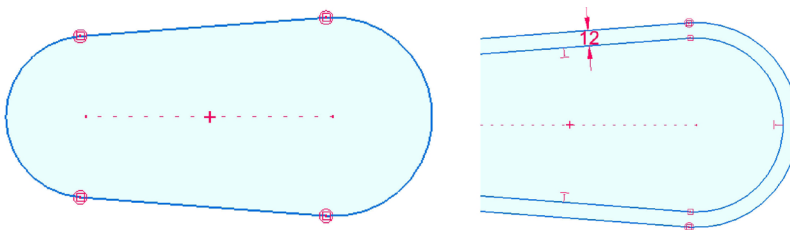
Model 3D pokrywy przekładni

Celem zadania jest przećwiczenie rysowania symetrycznych szkiców przy zadaniu innych relacji niż symetria. Istotnym elementem zadania jest zadawanie zaokrągleń lub wyokrągleń dla całych lic lub całego obiektu jednocześnie. Zadanie przeznaczone jest do wykonania w środowisku 'Część (ISO metryczne)'. Ostatnim etapem zadania realizowanego w ramach laboratorium jest wykonanie realistycznej wizualizacji w programie 'KeyShot'.

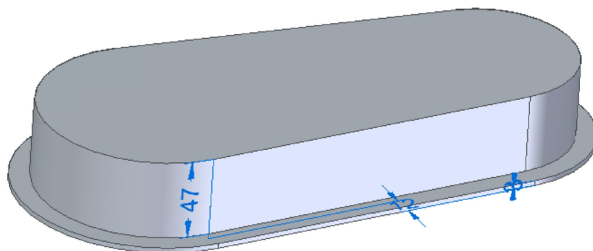
- A.** Przy użyciu narzędzia *Szkicowanie\Okrąg ze środka*  zablokuj **F3** płaszczyznę X-Y, i narysuj dwa okręgi o promieniu **65** i **80** mm, oddległe od siebie o **200** mm. Następnie użyj *Szkicowanie\Linia*  i narysuj swobodnie dwie dłuższe linie nad i pod okręgami. Użyj relacji *Relacje\Styczność*  i wskazując naprzemiennie koniec linii i okrąg doprowadź do zamknięcia szkicu. Użyj: *Szkicowanie\Przytnij*  do usunięcia zbędnych krawędzi.



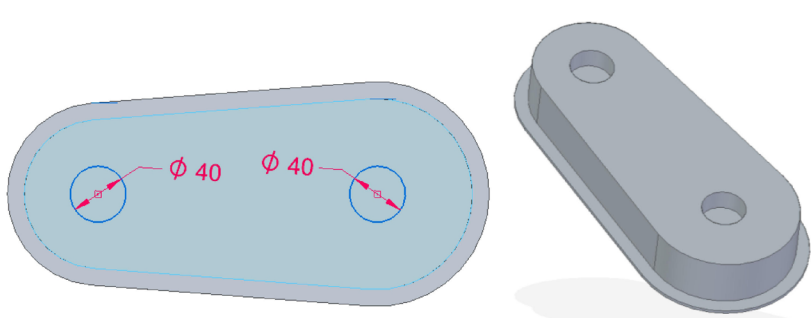
- EE.** Przy użyciu narzędzia *Szkicowanie > Odsunięcie*  skopiuj kontur odsuwając go do wewnątrz o odległość **12 mm**.



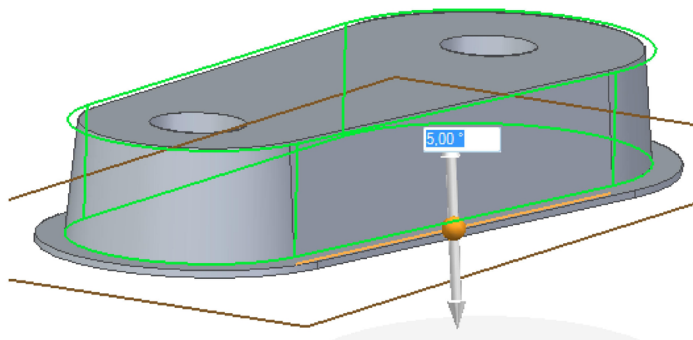
Zewnętrzny profil wyciągnij w górę na wysokość **3 mm**, natomiast wewnętrzny również w górę o **50 mm**.



- FF.** Po włączeniu narzędzia *Szkicowanie\Okrąg ze środka*  za-
blokuj **F3** płaszczyznę górnego lica i narysuj dwa okręgi o śred-
nicy **40 mm**, koncentrycznie względem bocznych łuków. Wycią-
gnij okręgi w dół usuwając materiał na głębokość **20 mm**.



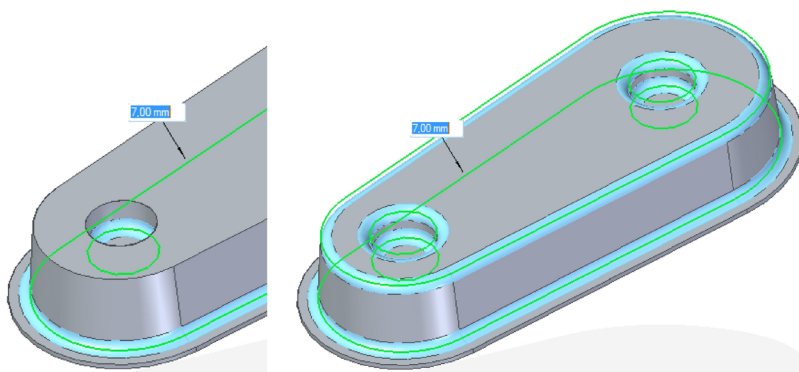
- GG.** *Narzędzia_główne\Bryły\Pochyl*  . Dokonaj pochylenia bocz-
nych, zewnętrznych ścian pokrywy. W tym celu jako płaszczyznę
odniesienia wskaż płaszczyznę X-Y lub dolne lico. Wskaż ścia-
ny boczne ustawiając opcję „łańcuch”. Ustaw pochylenie na **5°**
i wskaż kierunek w taki sposób, aby bryła zwężała się ku górze.



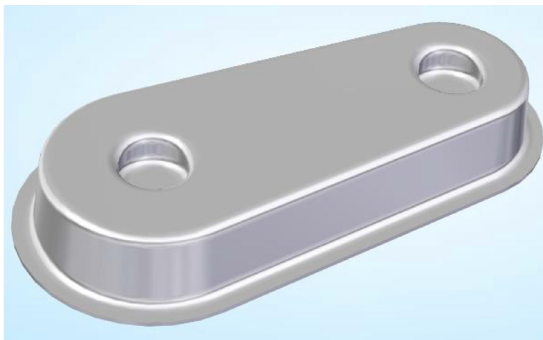
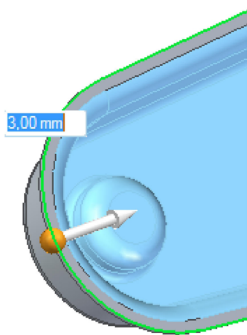
HH. Wykonaj zaokrąglenia: *Narzędzia_główne > Bryły > Zaokrąglaj*



. Odpowiednia wartość promienia zaokrąglenia to **7 mm**. Jako typ zaznaczenia ustaw „wszystkie wyokrąglenia” i wskaż wewnętrzną krawędź. Następnie ustaw tę opcję na „lico” i wskaż górne lico, aby zaokrąglić odpowiednie krawędzie zewnętrzne za jednym razem. Wszystkie zaokrąglenia powinny być wykonane w jednej operacji.



II. *Narzędzia_główne > Bryły > Bryła_cienkościenna*  . Utwórz bryłę cienkościenną o grubości **3 mm**, zaznaczając lico podstawy jako otwarte.

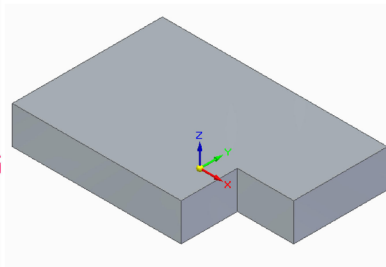
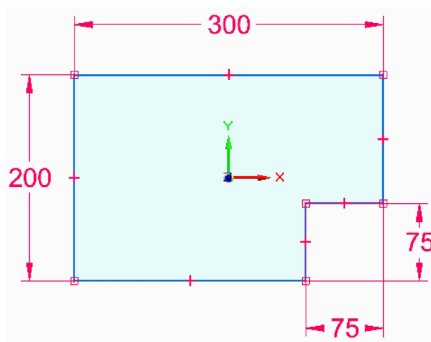


10.5. ZADANIE 5

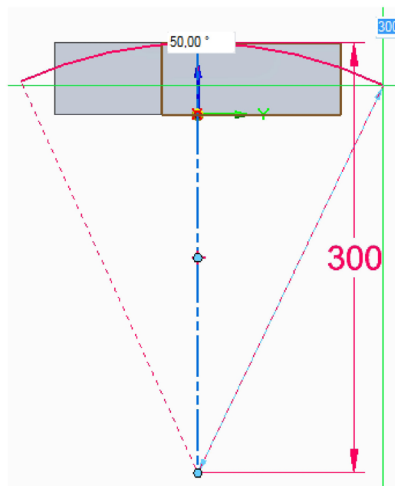
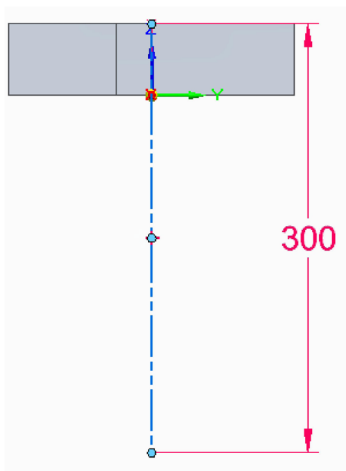
Model 3D pokrywy silnika

Celem zadania jest przećwiczenie rysowania części charakteryzującej się zaokrąglonym i ergonomicznym kształtem bez używania metod modelowania powierzchniowego. Istotnym elementem zadania jest wstawianie wzmacniających żeber, co ma zastosowanie w projektowaniu przedmiotów z tworzyw sztucznych. Zadanie przeznaczone jest do wykonania w środowisku 'Część (ISO metryczne)'. Ostatnim etapem zadania realizowanego w ramach laboratorium jest wykonanie realistycznej wizualizacji w programie 'KeyShot'.

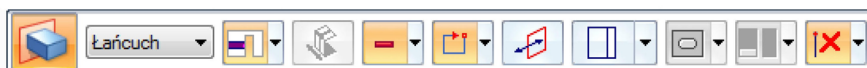
- A. Przy użyciu narzędzi *Szkicowanie\Prostokąt_ze_środką* , *Szkicowanie\Linia* , *Szkicowanie > Przytnij*  oraz *Smart Dimension*  narysuj szkic na płaszczyźnie X-Y, jak na rysunku poniżej i wyciągnij go na wysokość **50** mm w górę.

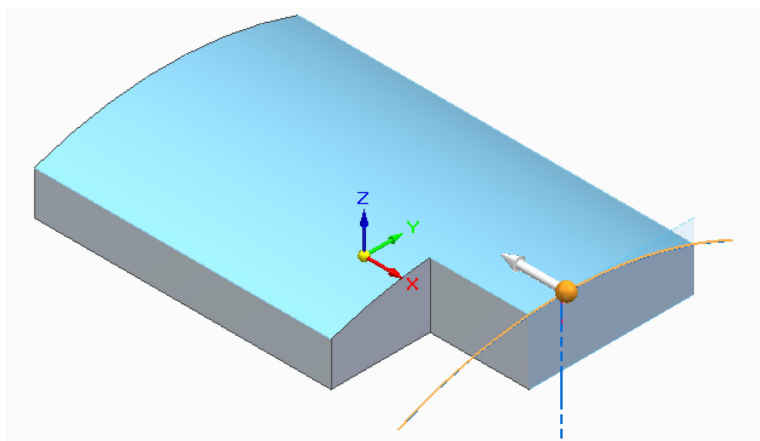


JJ. Przy użyciu narzędzia *Szkicowanie\Linia*  po włączeniu opcji *Szkicowanie\Utwórz jako konstrukcję* , zablokuj do rysowania **F3** prawe lico bryły. Narysuj pionową linię o długości **300** mm, rozpoczynając w miejscu przecięcia górnego zarysu profilu z osią Z. Następnie, rozpoczynając od dolnego końca linii, narysuj *Szkicowanie\Łuk ze środka*  o promieniu 300 mm, wystający z obu stron poza bryłę.

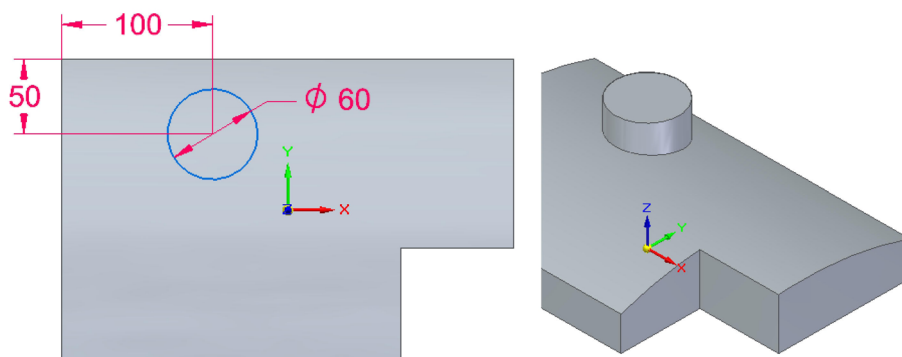


Wyciągnij szkic usuwając materiał z opcją „przez wszystkie” zgodnie z poniższym rysunkiem i ustawieniami wstążki.





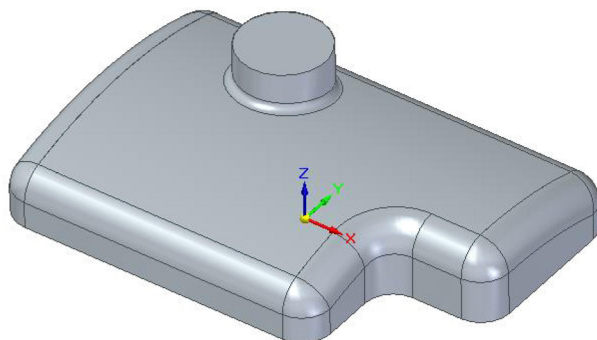
KK. Po włączeniu polecenia *Szkicowanie\Okrąg ze środka*  za-
blokuj **F3** płaszczyznę X-Y lub dolne lico bryły i narysuj następu-
jący szkic oraz wyciągnij go w górę na wysokość **75 mm**.



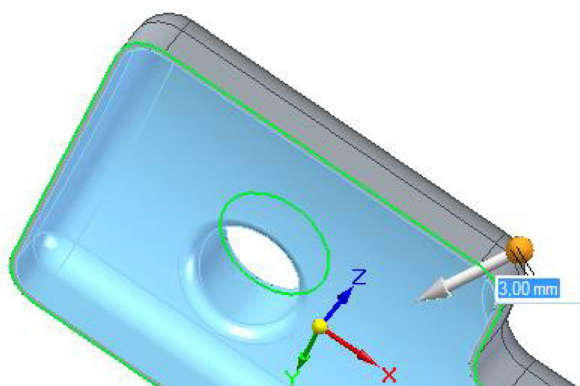
LL. Wykonaj zaokrąglenia: *Narzędzia_główne > Bryły > Zaokrąglaj*



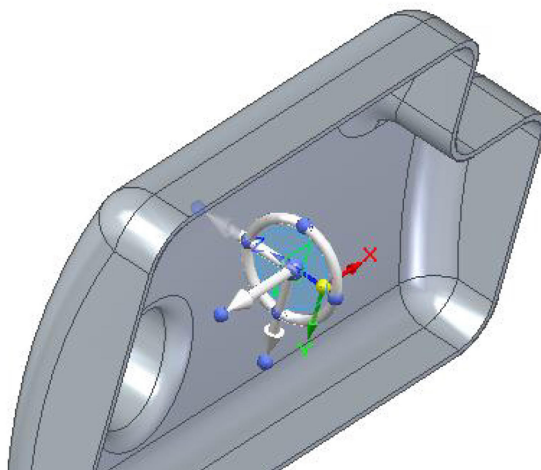
. Odpowiednia wartość promienia zaokrąglenia to **20 mm** dla krawędzi pionowych i lica górnego. Zaokrąglenia wykonaj w jednej operacji. W kolejnej operacji wykonaj zaokrąglenie krawędzi wlewu promieniem **5 mm**. Model powinien wyglądać jak na rysunku:



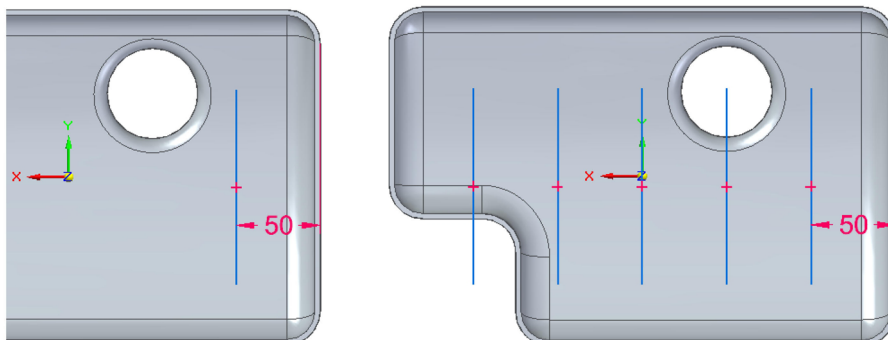
MM. *Narzędzia_główne > Bryły > Bryła_cienkościenna*  . Utwórz bryłę cienkościenną o grubości **3 mm**, zaznaczając lico wlewu i podstawy jako otwarte.



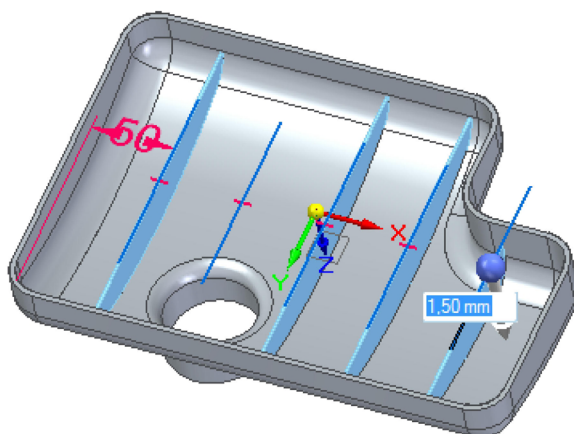
NN. Przy użyciu polecenia *Szkicowanie\Płaszczyzny\Współpłaszczyzna*  stwórz płaszczyznę odsuniętą od płaszczyzny X-Y o **20 mm** w głąb modelu.



- OO.** Blokując stworzoną płaszczyznę narysuj na niej linię, jak na rysunku. Odpowiednim widokiem będzie widok od dołu (**Ctrl+B**). Używając narzędzia *Szkicowanie\Przenieś*  z włączoną opcją kopiowania, skopiuj szkic pięć razy z odległością **50 mm**.



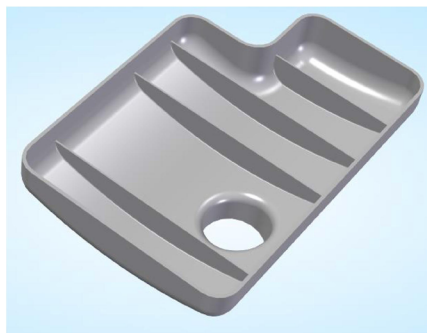
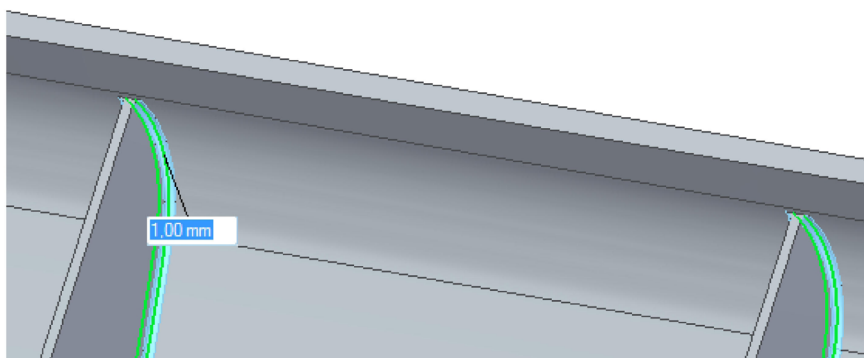
- PP.** Rozwiń ikonę *Narzędzia_główne > Bryły > Bryła_cienkościenna*  ↓ i wybierz *Sieć żeber* . Wstaw żebra o grubości **1,5 mm**, jak na rysunku:



QQ. Wykonaj zaokrąglenia: *Narzędzia_główne > Bryły > Zaokrąglaj*



promieniem **1 mm** krawędzi przecięcia żeber z wewnętrzną powierzchnią pokrywy. Wykonaj wszystkie zaokrąglenia w jednej operacji (w sumie 8 krawędzi).



10.6. ZADANIE 6



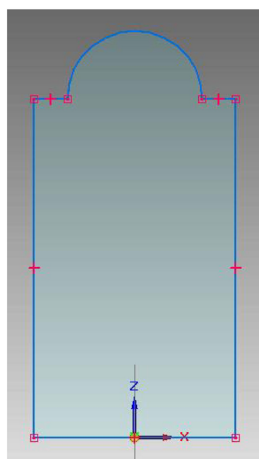
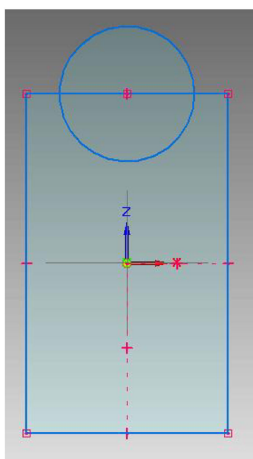
Model 3D obudowy pompy

Celem zadania jest przećwiczenie powieliania elementów w szyku kołowym i odbiciu lustrzanym. Istotnym elementem zadania jest zadawanie wykonywanie otworów gwintowanych oraz korzystanie z istniejących lic i krawędzi bryły do rysowania kolejnych szkiców. Zadanie przeznaczone jest do wykonania w środowisku 'Część (ISO metryczne)'. Ostatnim etapem zadania realizowanego w ramach laboratorium jest wykonanie realistycznej wizualizacji w programie 'KeyShot'.

A. Upewnij się, że włączone są przyciski *Szkicowanie\ Zachowaj_relacje* oraz *Szkicowanie\Symbole_relacji* . W oknie PathFinder włącz *Główne płaszczyzny odniesienia*.

RR. *Szkicowanie\Prostokąt_ze_środką* > zablokuj **F3** płaszczyznę X-Z > *Widok > Z_przodu* . Narysuj prostokąt podając Szerokość **150** mm, Wysokość **250** mm, Kąt **0°**, zaczynając w środku układu współrzędnych.

SS. *Szkicowanie\Okrąg_ze_środką* > narysuj okrąg o średnicy **100** mm, jak na pierwszym rys. poniżej.

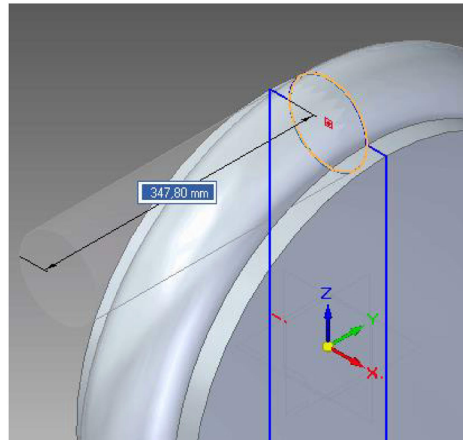
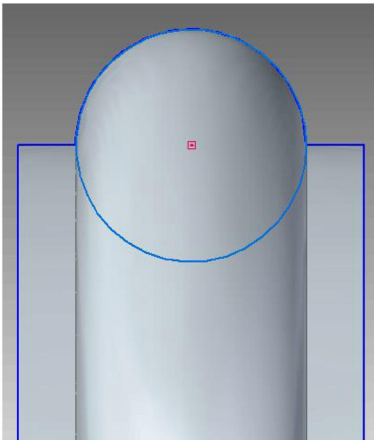




TT. Za pomocą narzędzia *Szkicowanie\Przenieś*  przenieś odcinek tak, aby symetrycznie przylegał dolną krawędzią do osi X (drugiego rys. powyżej). *Szkicowanie > Przytnij*  > usuń zbędne odcinki i łuki. Naciśnij **Ctrl + i**, aby przejść do widoku izometrycznego.

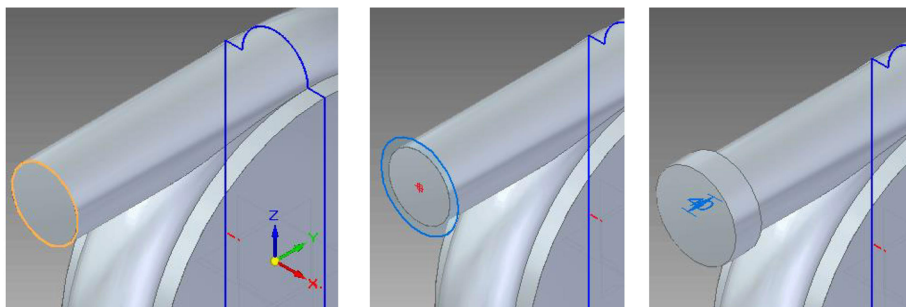
UU. *Bryły > Obróć*  > **LK** na narysowanym profilu > **PK** aby zakończyć wybór. Na wstążce ustaw: Typ rozciągnięcia > **360°**  > wybierz oś obrotu: **LK** na osi X > **PK**.

VV. *Szkicowanie\Okrąg_ze_środką*  > ponownie zablokuj **F3** płaszczyznę X-Z > *Widok > Z_przodu* . Podaj Średnica **100 mm**. Narysuj okrąg zaczynając od środka łuku w górnej części profilu. Naciśnij **Ctrl + i**, aby przejść do widoku izometrycznego.



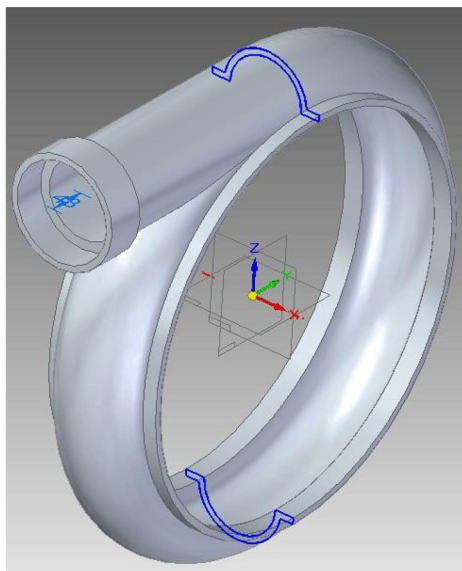
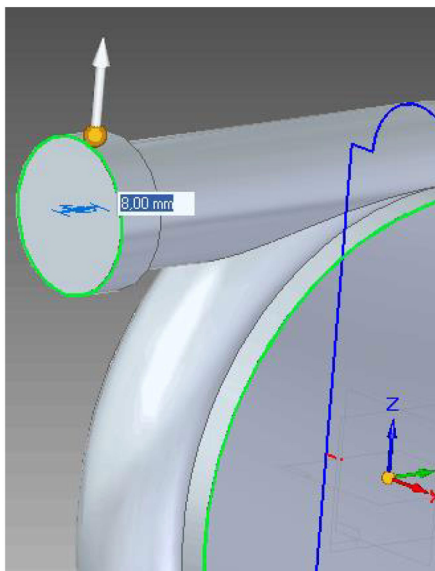
WW. *Narzędzia_główne\Bryły\Przeciągnij*  > na wstążce wybierz *Głębokość_skończona*  > wyciągnij okrąg na **350 mm** zgodnie z rysunkiem powyżej.

XX. *Szkicowanie\Okrąg_ze_środką*  > zablokuj **F3** czołową płaszczyznę wyciągniętego walca. Narysuj koncentryczny okrąg o średnicy **125 mm**.

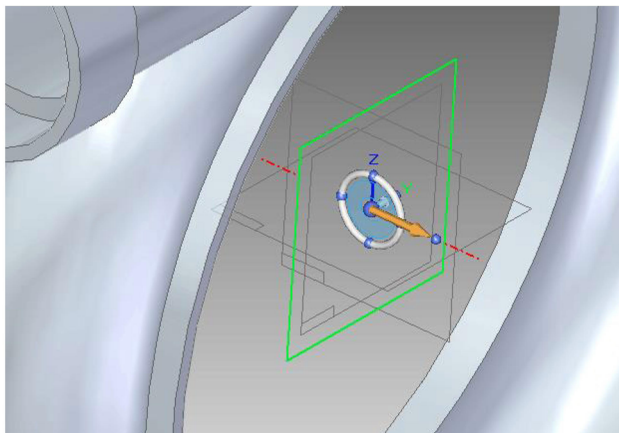


YY. *Narzędzia_główne\Bryły\Przeciągnij*  > wyciągnij narysowany okrąg w kierunku do wnętrza bryły na odległość 40 mm.

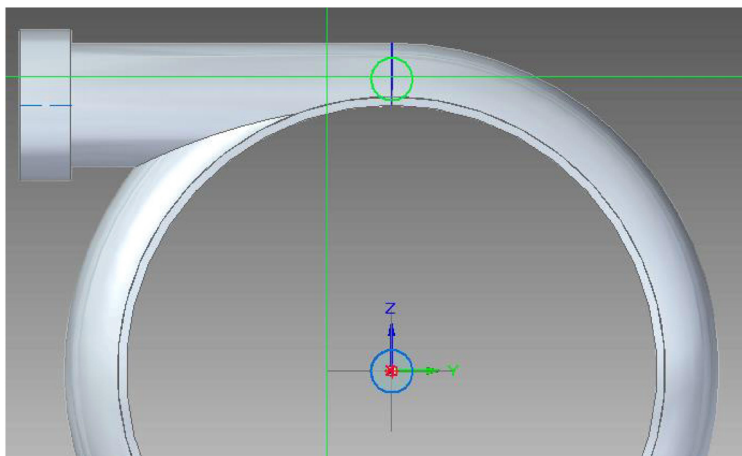
ZZ. *Narzędzia_główne > Bryły > Bryła_cienkościenna*  > grubość ścianek **8** mm > ustaw strzałkę w kierunku „na zewnątrz” bryły > zaznacz lica, które mają zostać otwarte: **LK** na „wlocie”, lewej i prawej „pokrywie” pompy. **PK**, aby zakończyć operację.



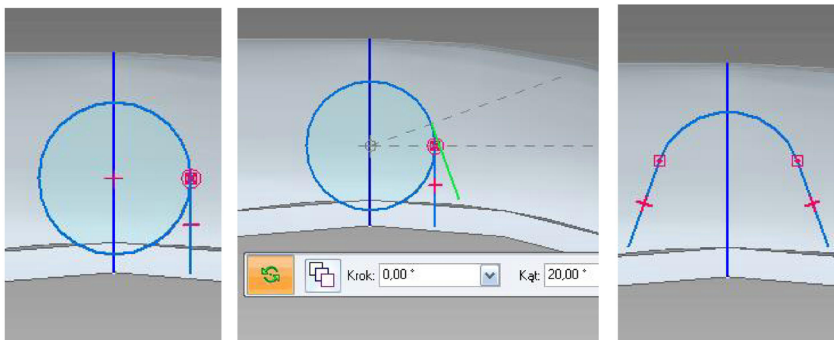
AAA. *Szkicowanie\Płaszczyzny > Współpłaszczyzna*  > kliknij płaszczyznę Y-Z > ustaw dużą strzałkę w prawo > wprowadź odsunięcie nowej płaszczyzny **70** mm.



BBB. Szkicowanie\Okrąg_ze_środką  > zablokuj **F3** utworzoną płaszczyznę > narysuj w początku układu wsp. okrąg o średnicy **40** mm. Za pomocą narzędzia Szkicowanie\Przenieś  przenieś okrąg pionowo w górę tak, aby jego środek znalazł się **275** mm od środka układu wsp. Wpisz odpowiednie wartości **X** i **Y** na wstążce i potwierdź **LK**.



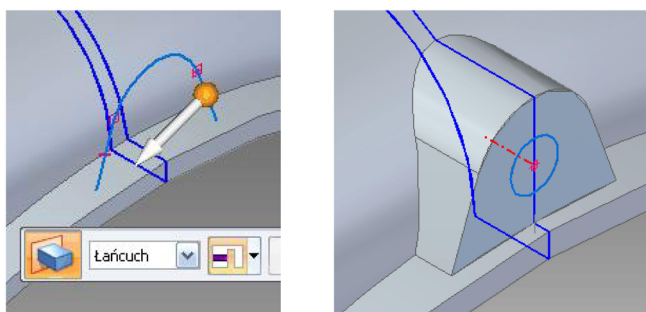
CCC. Szkicowanie\Linia  > zaczynając od prawego punktu styczności na okręgu, narysuj pionowy odcinek o długości **25** mm.



Szkicowanie\Przenieś > ↓ > Obróć > wyłącz przycisk *Kopiuuj* > obróć odcinek o **20°**, wskazując jako punkt obrotu środek okręgu. Ramię obrotu możesz zdefiniować w poziomie (drugi rys. powyżej).

Szkicowanie\Odbicie_lustrzane > odbij odcinek symetrycznie względem pionowej osi okręgu. Krawędzią do osi X (drugi rys. powyżej). *Szkicowanie* > *Przytnij* > usuń dolny łuk okręgu (trzeci rys. powyżej). Przejdź do widoku izometrycznego **Ctrl + i**.

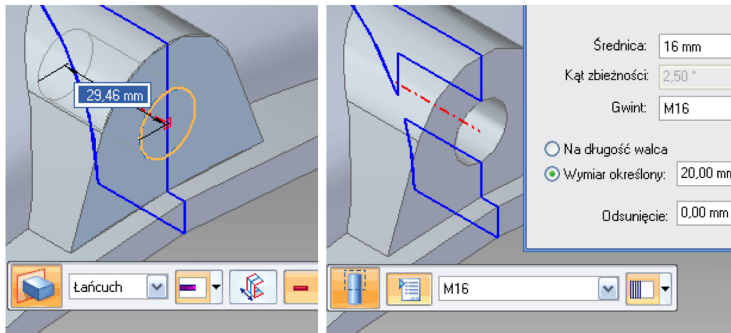
DDD. Narzędzia_główne\Bryły\Przeciągnij > wybierz typ rozciągnięcia – *Do_następnego* > wyciągnij narysowany profil wskazując strzałką do wnętrza profilu, a następnie w stronę obudowy pompy.



EEE. Szkicowanie\Okrąg_ze_środka > zablokuj **F3** nową płaszczyzną (tę samą, co poprzednio) > w środku profilu narysuj okrąg o średnicy **16 mm** (drugi rys. powyżej).



FFF. *Narzędzia_główne\Bryły\Przeciągnij*  > przeciągnij profil okręgu usuwając materiał do środka na **25 mm**.

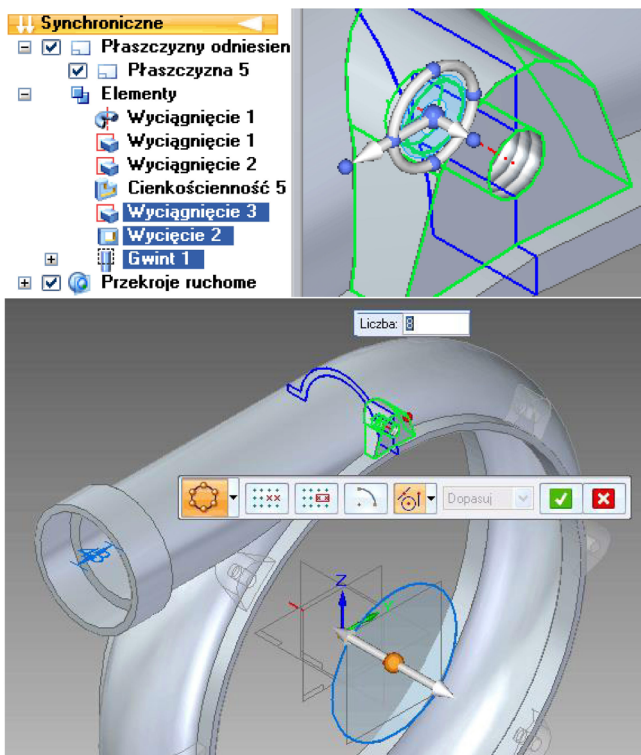


GGG. *Narzędzia_główne\Bryły\Otwór*  > ↓ > *Gwint*  > wybierz z listy **M16** > przyciskiem > *Głębokość_skończona* > w opcjach gwintu ustaw *Wymiar_określony* **20 mm** (drugi rys. powyżej). **LK** na walcu otworu.

HHH. *Szkicowanie\Okrąg_ze_środką*  > zablokuj **F3** nową płaszczyznę (tę samą, co poprzednio) > narysuj w środku układu współrzędnych okrąg o dowolnej średnicy.

III. *Zaznaczenie*  > w oknie *PathFinder* zaznacz **Ctrl+LK** trzy ostatnie elementy: *Wyciągnięcie*, *Wycięcie*, *Gwint*. Dopasuj widok (może być izometria)

Narzędzia_główne > *Szyk* > *Prostokątny*  > ↓ > *Kołowy*  > ustal strzałkę dokładnie w środku narysowanego okręgu – odpowiednie ustawienie otrzymasz wskazując strzałką na obrys okręgu.



Wprowadź w polu *Liczba* wartość **8** elementów, które będą utworzone po obwodzie koła względem elementu wzorcowego. **PK**, aby zakończyć operację.

JJJ. Po przeciwnej stronie obudowy pompy wykonaj identyczne, gwintowane uchwyty.





10.7. ZADANIE 7

Złożenie pojemnika z pokrywą

Celem zadania jest przećwiczenie wykonywania złożeń, symulujących rzeczywisty zespół połączonych części. Zadanie polega na utworzeniu wszystkich potrzebnych części oraz ich złożeniu w środowisku 'Złożenie (ISO metryczne)' przy użyciu odpowiednich relacji. Istotnym elementem zadania jest wykonywanie edycji w kontekście złożenia w celu pokolorowania modeli części lub ich modyfikowania. Ostatnim etapem zadania realizowanego w ramach laboratorium jest wykonanie realistycznej wizualizacji w programie 'KeyShot'.

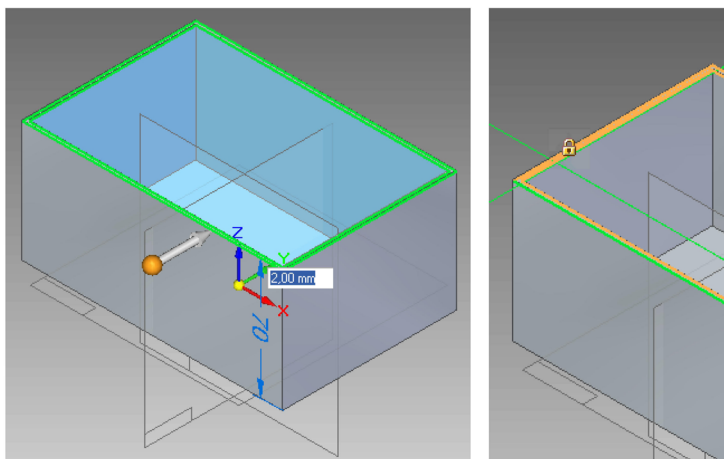
10.7.1. Wykonanie modelu pojemnika

A. Uruchom moduł ISO PART. Upewnij się, że włączone są przyciski *Szkicowanie\Zachowaj_relacje*  oraz *Szkicowanie\Symbole_relacji* . W oknie PathFinder włącz *Główne płaszczyzny odniesienia*.

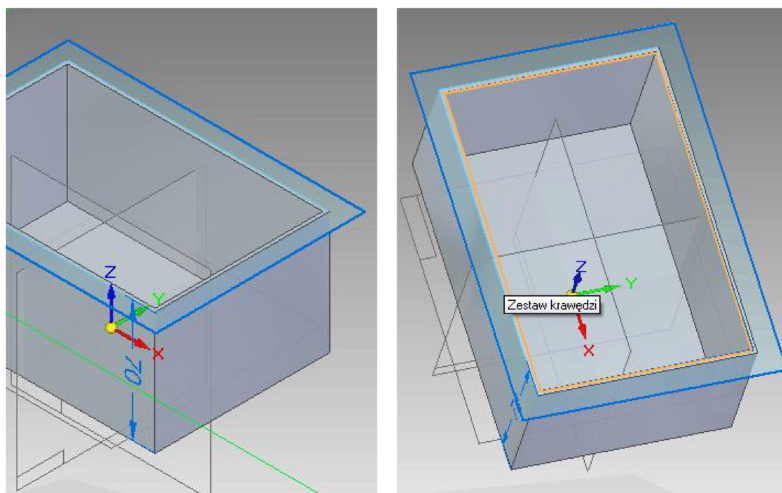
KKK. *Szkicowanie\Prostokąt_ze_środką*  > zablokuj **F3** płaszczyznę X-Y > *Widok > Z_góry* . Narysuj prostokąt podając Szerokość **150** mm, Wysokość **100** mm, Kąt **0°**, zaczynając w środku układu współrzędnych. Naciśnij **Ctrl + i** aby przejść do widoku izometrycznego.

Narzędzia_główne\Bryły\Przeciągnij  > na wstążce wybierz Typ_zaznaczenia - Łańcuch > *Głębokość_skończona*  > wyłącz: *Symetria*  > wyciągnij profil w górę na **70** mm.

LLL. *Narzędzia_główne > Bryły > Bryła_cienkościenna*  > **LK** na górnym licu pudełka > ustaw grubość ścianek **2** mm > **PK** lub **Enter** aby zakończyć operację.



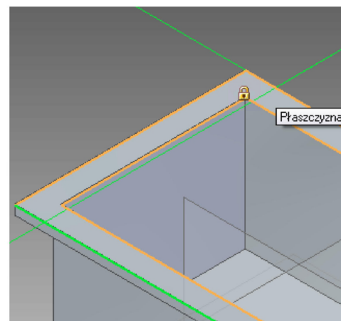
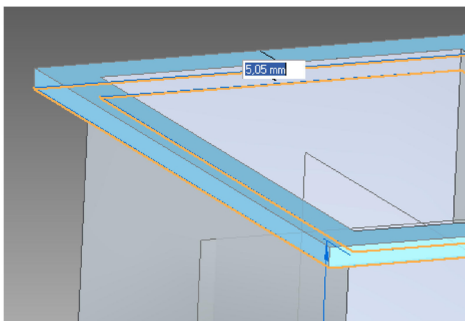
MMM. Szkicowanie\Prostokąt_ze_środką  > zablokuj **F3** górne lico (drugi rys. powyżej) > Widok > Z_góry . Narysuj prostokąt podając Szerokość **170 mm**, Wysokość **120 mm**, Kąt **0°**, zaczynając w środku układu współrzędnych.



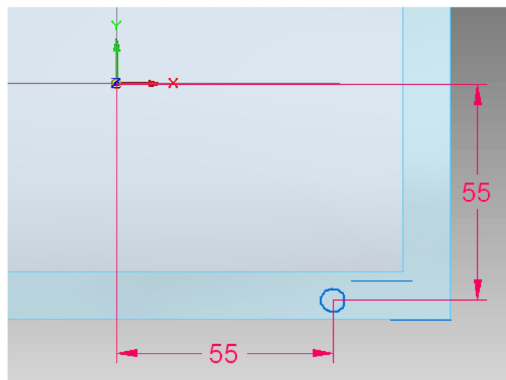
Szkicowanie > Rzutuj_do_szkicu  > **LK** na czterech wewnętrznych krawędziach pudełka (drugi rys. powyżej) > **PK**. Naciśnij **Ctrl + i** aby przejść do widoku izometrycznego.



NNN. Narzędzia_główne\Bryły\Przeciągnij  > na wstążce wybierz *Typ_zaznaczenia* - Łańcuch > *Głębokość_skończona*  > wyłącz: *Symetria*  > wskaż profil zewnętrzny i wewnętrzny > **PK** > wyciągnij profil w górę na **5 mm**.



OOO. Szkicowanie\Okrąg_ze_środką  > zablokuj **F3** płaszczyznę górnego lica (drugi rys. powyżej) > *Widok* > *Z_góry* . Podaj Średnica **5 mm**. Narysuj okrąg zgodnie z rysunkiem.

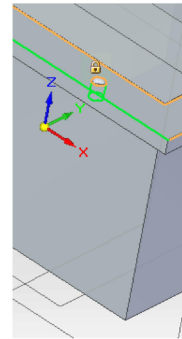
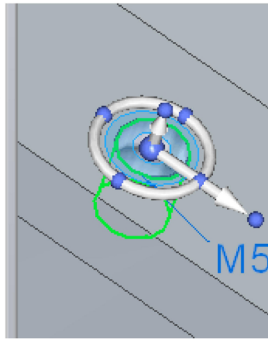
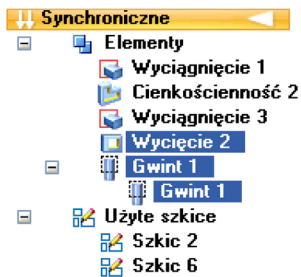


Za pomocą *Wymiar\Odległość_pomiędzy*  > ustal odległości środka otworu od płaszczyzn bazowych na **55 mm**. Drugi wymiar należy ustalić po ponownym przyciśnięciu , aby nie kontynuować poprzedniego ciągu wymiarowego. Naciśnij **Ctrl + i** aby przejść do widoku izometrycznego.

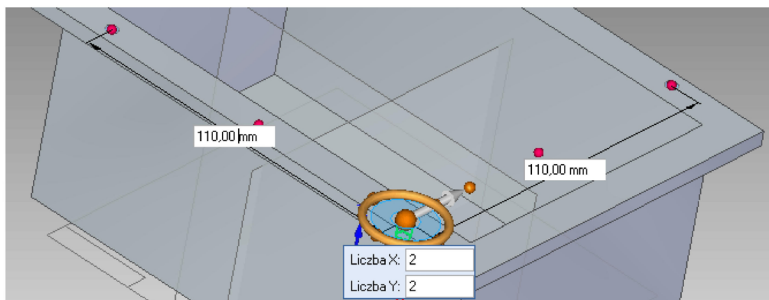
Narzędzia_główne\Bryły\Przeciągnij  > wybierz typ rozciągnięcia – *Do_następnego*  > usunięcie materiału  > wyciągnij poprzednio narysowany profil otworu wskazując strzałką w dół. *Narzędzia_główne\Bryły\Otwór*  > ↓ > *Gwint*  > wybierz z listy **M5** > **LK** na walcu otworu.



PPP. Zaznaczenie  > w oknie *PathFinder* zaznacz **Ctrl+LK** dwa ostatnie elementy: *Wycięcie* i *Gwint*. Dopasuj widok (może być izometria)



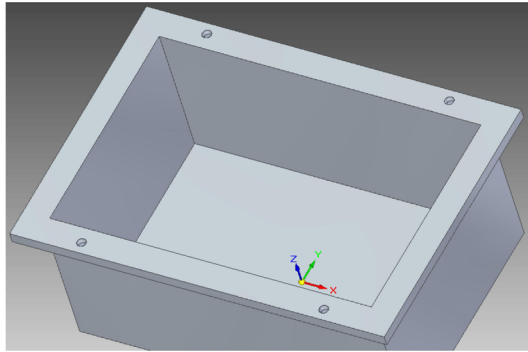
Narzędzia_główne > *Szyk* > *Prostokątny*  > **LK** na górnym licu > ustaw strzałkę koła sterującego, jak na rys. poniżej i wprowadź *LiczbaX* i *LiczbaY* po **2**, odległości po **110** mm.



Naciśnij **Enter** lub zielony przycisk na wstążce, aby zaakceptować.

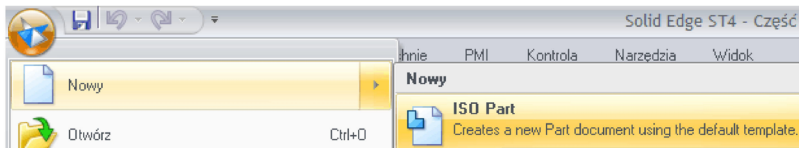


QQQ. Zapisz gotową część w wybranym folderze pod nazwą **lpo-jemnik.par**. Widok gotowego elementu:



10.7.2. Wykonanie modelu pokrywy

RRR. Utwórz nową część. Wybierz *Nowy > ISO Part*.

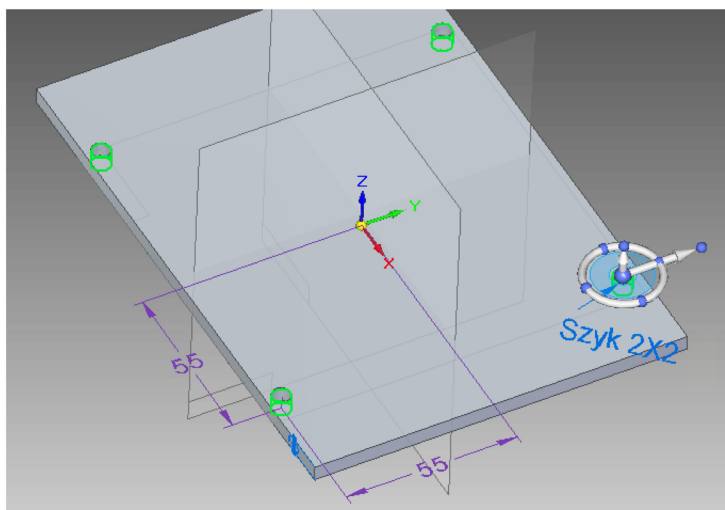


Włącz widok głównych płaszczyzn odniesienia. Na płaszczyźnie X-Y narysuj prostokąt o wymiarach **170 x 120** mm i wyciągnij go w górę o **5** mm.

SSS. Za pomocą narzędzia *Wyciągnięcie* wykonaj otwory o średnicy **6** mm w odległości **55** mm od pionowych płaszczyzn symetrii narysowanej bryły.

TTT. W identyczny sposób jak w poprzednim zadaniu, wykorzystaj narzędzie *Szyk prostokątny*  do powielenia otworów, używając tych samych danych co poprzednio. Widok gotowego elementu znajduje się poniżej.

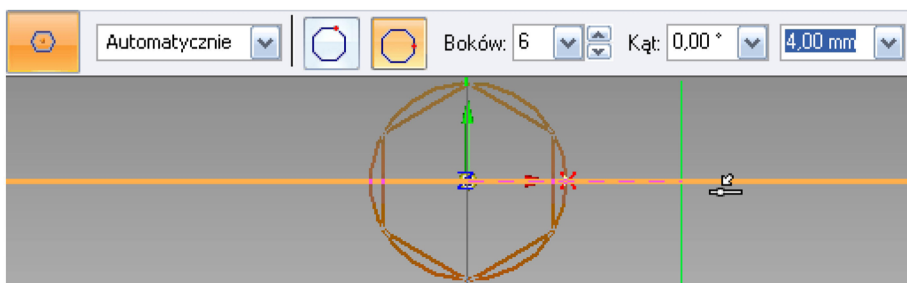
UUU. Zapisz gotowy element pod nazwą **pokrywa.par** w tym samym folderze co poprzednio.



10.7.3. Wykonanie modelu śrubki

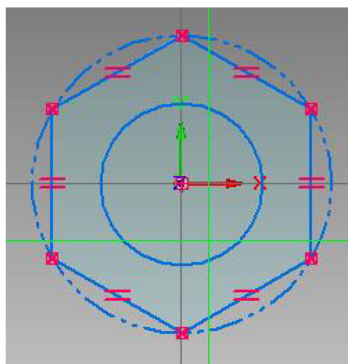
VVV. Utwórz nową część. Wybierz – jak poprzednio – *Nowy > ISO Part*. Włącz główne płaszczyzny odniesienia.

Rozwiń *Szkiecowanie\Prostokąt* i wybierz *Wielobok ze środka* . Zablokuj **F3** płaszczyznę X-Y i wielobok z początku układu współrzędnych wprowadzając dane jak na rysunku.

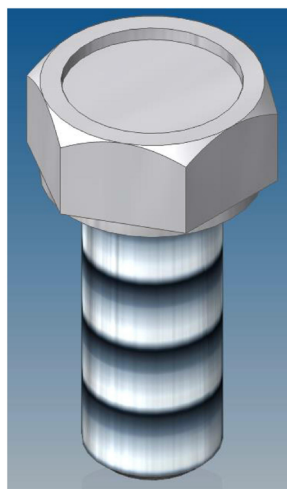
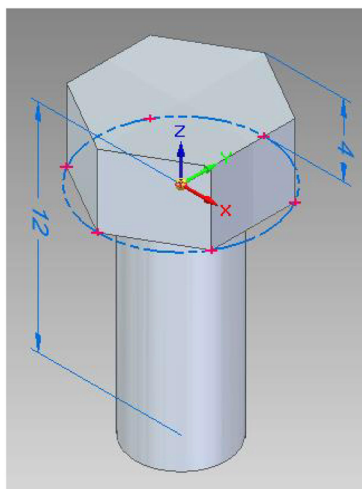


WWW. W tym samym profilu narysuj koncentrycznie okrąg o średnicy **5 mm**. Przejdź do widoku izometrycznego.





XXX. Za pomocą narzędzia *Wyciągnięcie*  wyciągnij sześciokąt w górę o **4** mm. Następnie wyciągnij okrąg w dół na **12** mm. Jeśli chcesz, wykonaj dokładniejszy model dodając kolejne operacje polegające na odpowiednim fazowaniu łba śruby przez wycięcie obrotowe, podcięciu czołowego lica oraz fazowaniu końca rdzenia.



Za pomocą narzędzia *Otwór*  > *Gwint*  > wykonaj na walcu śrubki gwint **M5**.

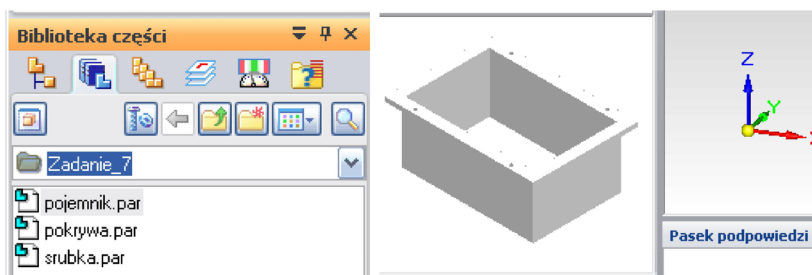
YYY. Zapisz gotowy element pod nazwą **srubka.par** w tym samym folderze co poprzednio. Zamknij wszystkie okna części.

10.7.4. Model złożenia wykonanych elementów



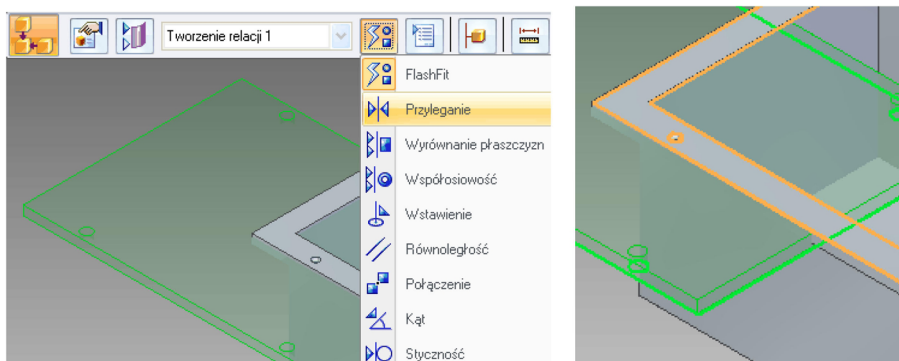
ZZZ. Uruchom moduł *ISO ASSEMBLY* w celu wykonania złożenia przygotowanych części.

W oknie *Patch Finder* wybierz zakładkę *Biblioteka części*, a następnie w pasku folderów wybierz lokalizację katalogu, w którym zostały zapisane części. Zwróć uwagę na podgląd części w dolnej części okna (można go obracać i skalować za pomocą myszy).



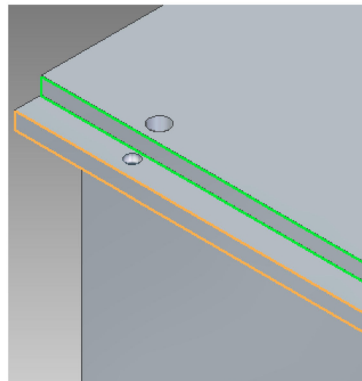
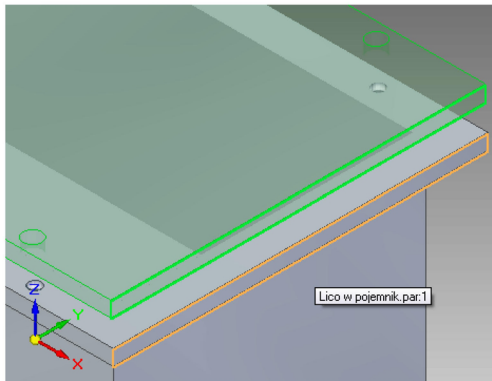
AAAA. Przeciągnij plik ***pojemnik.par*** do roboczego okna projektu. W taki sam sposób przeciągnij plik ***pokrywa.par*** w celu połączenia z pierwszym elementem. Program oczekuje ustalenia relacji złożenia, mających na celu „unieruchomienie” (odebranie stopni swobody) *części wstawianej* względem *części docelowej*.

BBBB. Na pasku wstęgowym ustaw relację *Przyleganie*. Wskaż **LK** dolną płaszczyznę pokrywy, a następnie górne lico pojemnika.





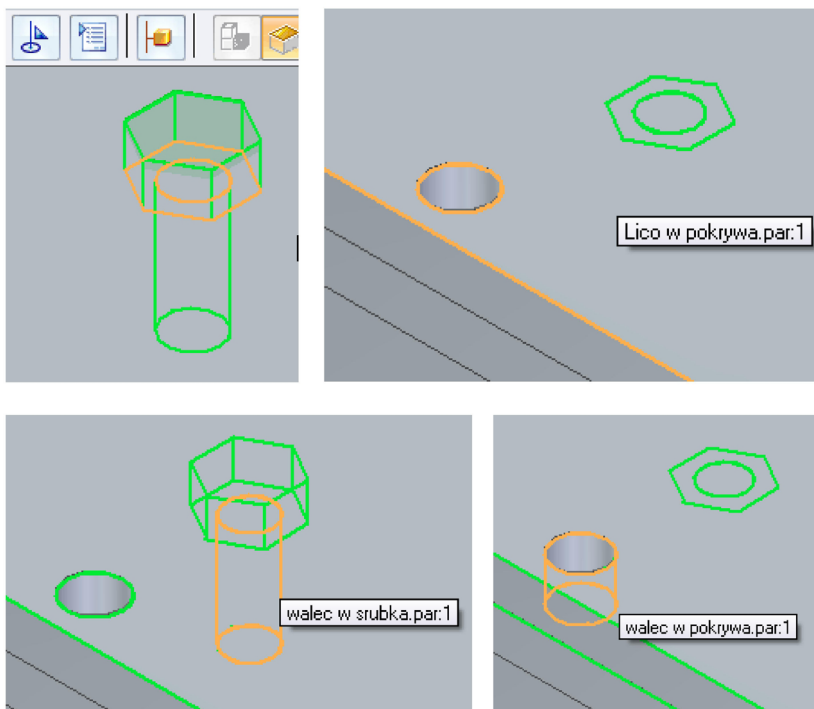
Wybierz relację *Wyrównanie płaszczyzn*  i wskaż płaszczyznę czołową pokrywy, a następnie płaszczyznę czołową obramowania pojemnika.



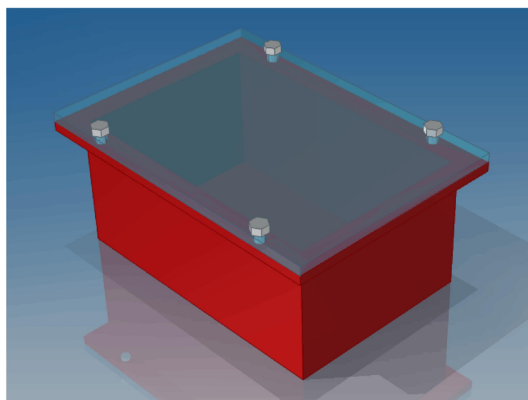
CCCC. Powtórz czynność wyrównując płaszczyzny boczne pokrywy i pojemnika.

DDDD. Wstaw śrubkę przeciągając ją z *Biblioteki części* do okna roboczego programu. Na wstążce tworzenia relacji wybierz

Wstawienie  . Wskaż dolne lico łba nakrętki, następnie górną płaszczyznę pokrywy, następnie walec śrubki i na koniec powierzchnię otworu w pokrywie. Śrubka powinna zostać wstawiona w otwór.



EEEE. Możesz powtórzyć ostatni krok trzykrotnie, aby wstawić śrubki w pozostałe otwory. Lepszym sposobem jest jednak wykorzystanie narzędzia Szyk\Szyk . Po wybraniu tego narzędzia: wybór części – **LK** na wstawionej śrubce > **Enter** > część zawierająca szyk – **LK** na pokrywie > wybór szyku – **LK** na dowolnym otworze > element odniesienia – **LK** na otworze pierwszej śrubki > **Enter** lub przycisk **Zakończ**.





10.8. ZADANIE – Model 3D tłoka silnika spalinyowego

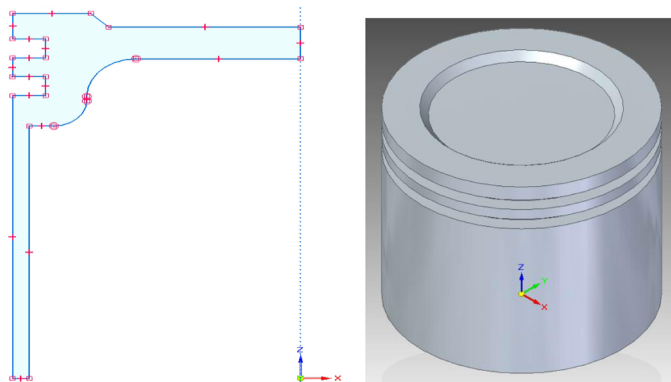
Celem ćwiczenia jest zweryfikowanie umiejętności studenta nabytych podczas kursu w zakresie tworzenia części w oparciu o podstawowe techniki modelowania bryłowego. Należą do nich: tworzenie brył przez obrót lub wyciągnięcie oraz wykonywanie wycięć.

Wymiary celowo nie zostały podane, aby zapewnić indywidualność każdego rozwiązania. W pierwszej kolejności należy założyć dowolną średnicę oraz wysokość tłoka, znajdując się jednak w zakresie mechaniki pojazdowej. Pozostałe wymiary należy natomiast ustalić starając się w przybliżeniu zachować odpowiednie proporcje.

Proponowana w przykładzie kolejność czynności nie jest obligatoryjna. Ten sam efekt można osiągnąć na kilka różnych sposobów. Należy jednak mieć na uwadze spójność otrzymanej bryły.

Najczęściej popełnianymi przez studentów błędami są: brak zachowania proporcji poszczególnych elementów tłoka, budowa modelu o niekontrolowanych wymiarach (tłok wielkości wiadra lub beczki), budowa modelu niewyrównanego do układu współrzędnych, nieciągłości lic, które nie schodzą się prawidłowo po wewnętrznej stronie denka tłoka (powstają uskoki, dodatkowe małe lica, a nawet szczeliny).

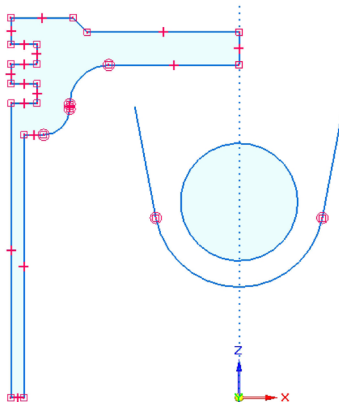
- A.** Wybierając płaszczyznę **xz** narysuj półprofil tłoka zbliżony do następującego rysunku:



FFFF. Wykonaj wyciągnięcie obrotowe o 360° wskazując jako oś obrotu oś **z** w celu otrzymania bryły obrotowej przedstawionej na rysunku.

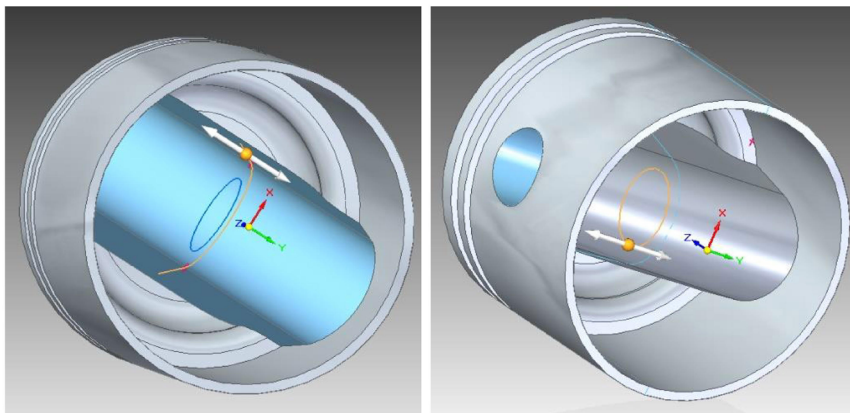


GGGG. Ponownie wybierając płaszczyznę **xz** narysuj profil symetrycznie względem osi **z**, w celu wykonania mocowania sworznia tłokowego.



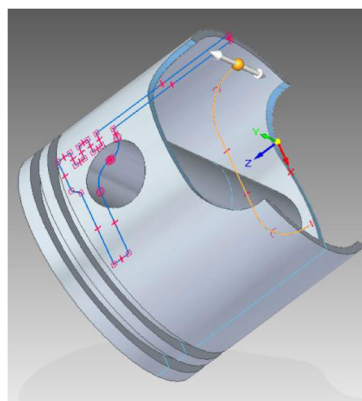
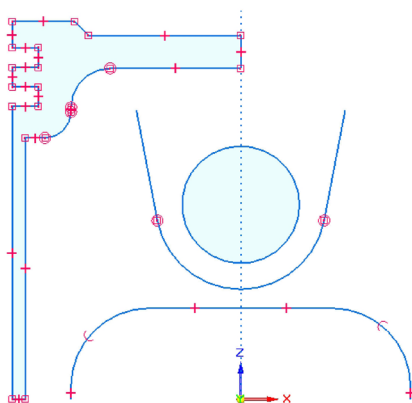
Zewnętrzny łuk powinien być współśrodkowy względem wewnętrznego okręgu. Odcinki przedłużające końce zewnętrznego łuku powinny być do niego styczne.

HHHH. Wykonaj obustronne wyciągnięcie zewnętrznego łuku wraz z przedłużającymi go odcinkami. Ustaw kierunek dodawania materiału – do wewnątrz profilu. Na wstążce wybierz typ rozciągnięcia – „**do następnego**” i wskaż kursorem początek strzałki (żółta kulka na rysunku), aby ustawić dwustronny kierunek wyciągania profilu.



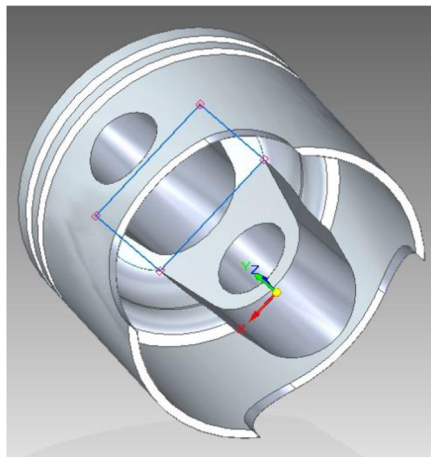
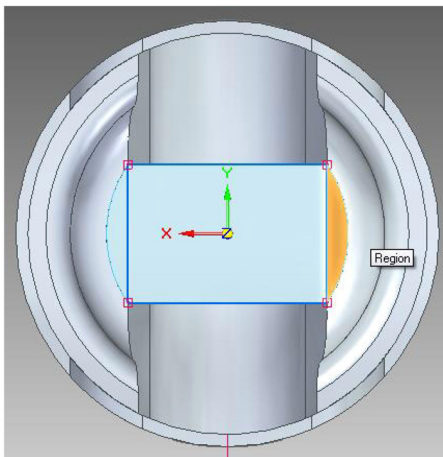
IIII. Wykonaj otwór przeznaczony do mocowania sworznia tłokowego za pomocą operacji wyciągnięcia. Wybierz poprzednio utworzony okrąg wewnętrzny. Na wstążce wybierz „odejmowanie materiału” oraz typ rozciągnięcia – „**przez wszystkie**”. Jak poprzednio – wskaż początek strzałki w celu wyciągnięcia profilu w obie strony.

JJJJ. Ponownie w płaszczyźnie **xz** dorysuj profil wycięcia płaszcza tłoka.



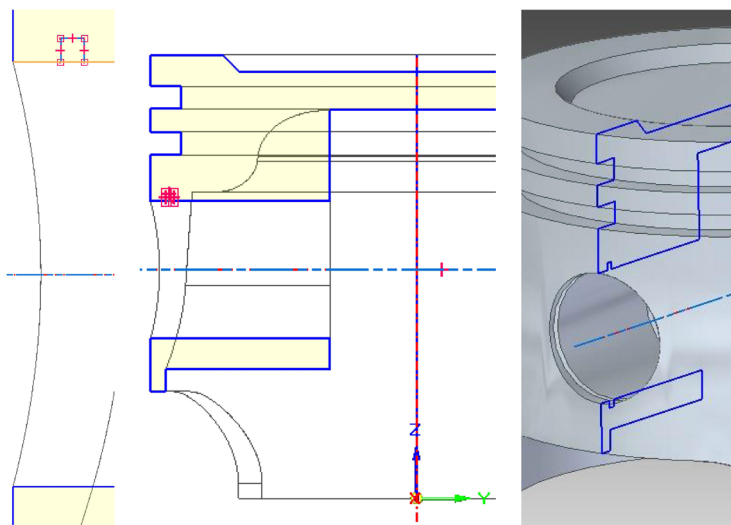
KKKK. Wyciągnij utworzony profil usuwając materiał „**przez wszystkie**” w celu wykonania wycięcia w płaszczu tłoka.

LLLL. Utwórz wycięcie dla główki korbowodu jak na poniższym rysunku.

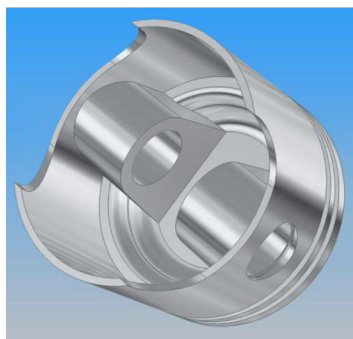


Zablokuj wewnętrzne lico dna tłoka (na rysunku zaznaczone żółtym kolorem). Narysuj prostokąt opierając się na punktach przecinania się charakterystycznych linii. Wyciągnij prostokąt w dół usuwając materiał w trybie „**przez wszystkie**”.

MMMM. Wykonaj rowki w tulei sworznia tłokowego, służące do osadzenia pierścienia zabezpieczającego sworzeń przed wysunięciem. Włącz w widoku „**model krawędziowy**” w celu wyświetlenia samych konturów tłoka. Wybierz płaszczyznę **xy** i użyj narzędzia „**rzutuj do szkicu**” w celu skopiowania górnej krawędzi wydrążonego otworu. Narysuj profil w kształcie kwadratu o wymiarach 1 x 1 mm w miejscu, gdzie ma znajdować się pierścień osadczy. Wykonaj odbicie lustrzane wykonanego profilu względem osi **z**. Narysuj poziomą linię i ustaw ją w odległości równej połowie średnicy otworu przeznaczanego do osadzenia sworznia. Wykonaj wyciągnięcie obrotowe z usuwaniem materiału, zaznaczając jednocześnie oba profile i wykorzystując poprzednio narysowaną linię jako oś obrotu.



NNNN. W zakładce widok użyj opcji malarz części oraz zmiana widoku, aby uzyskać jak najbardziej realistyczny wygląd wykonanego modelu.





11. KOŁOKWIUM – model zespołu piasty

Celem zadania jest zweryfikowanie umiejętności studenta, nabytych w trakcie kursu laboratorium w zakresie modelowania części oraz tworzenia ich złożeń.

Weryfikacji podlega umiejętność stosowania podstawowych technik modelowania bryłowego, fazowania, zaokrąglania, a także korzystania z operacji szyku kołowego, wykonywania elementów gwintowanych, umiejętność dopasowania wymiarów poszczególnych części oraz zastosowania odpowiednich relacji w ich złożeniu.

Zadanie polega na opracowaniu modeli części składowych uproszczonego zespołu piasty i wykonanie ich prawidłowego złożenia przy użyciu odpowiednich modułów oprogramowania Solid Edge.

Założenia wydawane są indywidualnie w formie jednego z kluczowych wymiarów – średnicy półosi z zakresu 41–45 mm co 0,1 mm. Średnica półosi ma wpływ na pozostałe elementy, które muszą do siebie pasować.

11.1. Treść zadania

- A.** Wykonaj w środowisku 'Część (ISO metryczne)' modele następujących części składowych uproszczonego zespołu piasty:
- półoś,
 - kołnierz,
 - tarcza hamulcowa,
 - śruby montażowe.



Średnica zewnętrzna półosi jest zadawana indywidualnie przez nauczyciela i znajdziesz jej wartość w polu komentarza do oceny. Wymiary pozostałych elementów muszą być odpowiednio dopasowane.

OOOO. Wykonaj złożenie otrzymanych części w module 'Złożenie (ISO metryczne)'.

PPPP. Wykonaj przykładowy rendering otrzymanego podzespołu w programie KeyShot lub zrzut ekranu pomalowanego złożenia w Solid Edge. Wygeneruj dwa pliki graficzne, odpowiadające wybranym dwóm widokom otrzymanego podzespołu.

QQQQ. Wyeksportuj plik złożenia (*Zapisz jako...* w środowisku 'Złożenie ISO metryczne') do formatu Parasolid *.X_T lub *.X_B.

RRRR. Na Platformę EL prześlij dwa pliki graficzne z punktu 4 i jeden plik otrzymanego złożenia z punktu 5 (razem trzy pliki o maksymalnym rozmiarze 2 MB każdy).

SSSS. Jeśli nie uda się wykonać złożenia, można ewentualnie wysłać pliki trzech wybranych części. Zadanie jest traktowane jako niepełne, ale możliwe jest uzyskanie pozytywnej oceny.

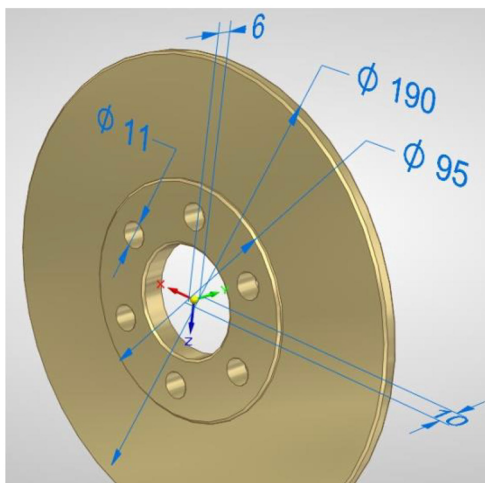
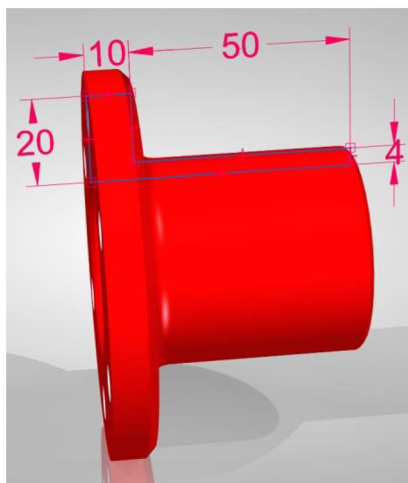
11.2. Przykładowe rozwiązanie

Wymiary podane w przykładzie mają charakter orientacyjny. Nie są związane z treścią zadania, ale można się nimi posłużyć w celu przygotowania się do kolokwium. Wymogiem jest zapewnienie właściwego dopasowania części w złożeniu.

Półoś jest najbardziej uproszczonym elementem. Jest to po prostu walec o zadanej średnicy i długości w zakresie 180–250 mm.

Kolejnym elementem jest **kołnierz piasty**, którego średnica wewnętrzna powinna odpowiadać średnicy półosi. Kołnierz został zamodelowany przez obrócenie profilu o kształcie litery 'L' względem osi odsuniętej od wewnętrznego obrysu o połowę zadanej średnicy. Model kołnierza należy odpowiednio dopracować przez zadanie wyokrąglenia o dużym promieniu najważniejszej krawędzi kołnierza, gdzie dochodziłoby do kumulacji naprężeń.

Zewnętrzne krawędzie powinny być sfazowane, z wyjątkiem tych krawędzi, których sfazowanie powodowałoby powstanie rowków pomiędzy licami łączonych części. Tego rodzaju szczeliny są niekorzystne w warunkach eksploatacyjnych ze względu na zaleganie kurzu i wilgoci, wzmagającej procesy korozji.



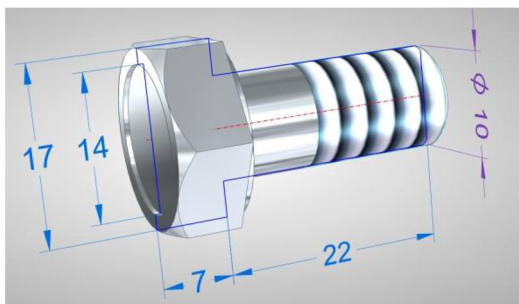
Otwory kołnierza powinny być gwintowane, natomiast ich średnica dopasowana do wewnętrznej średnicy gwintu. Rozmiar gwintu otworów powinien zgadzać się z rozmiarem gwintu śrub. Gwintowane otwory powinny być rozmieszczone w szyku kołowym o przyjętej średnicy podziałowej, która musi być identyczna jak w szyku otworów wykonanych w tarczy hamulcowej. W przeciwnym przypadku nie uda się osiągnąć współosiowości otworów tych elementów podczas składania.

Tarczę należy tak zaprojektować, aby środkowa część montażowa była nieco większej grubości (tzw. wyspa). Model tarczy powinien być symetryczny względem pionowej płaszczyzny. Otwory śrub wykonane w tarczy muszą charakteryzować się nieco większą średnicą niż średnica śruby, aby zapewnić prawidłowość połączenia gwintowego. Krawędzie zewnętrzne powinny być sfazowane pod kątem 45°. Nie należy zamiast fazy posługiwać się zaokrągleniem. Z przyczyn technologicznych, zaokrąglenie jest bardziej kosztowną operacją i stosowane jest tam, gdzie jest to konieczne (np. wyokrąglenie karbu kołnierza w celu redukcji naprężeń, zaokrąglenia związane



z zachowaniem bezpieczeństwa lub ergonomii obsługi, zaokrąglenia krawędzi przedmiotów o podwyższonych walorach wizualnych itp.).

Model śruby powinien być tak wykonany, aby odpowiadał specyfikacji europejskiej. Śruba z łbem sześciokątnym o rozmiarze M10 odkręcana jest kluczem o rozmiarze 17 mm. Stąd bierze się wymiar szerokości łba śruby. Gwint nie powinien być nacięty na całej długości walca śruby. Fragment przechodzący przez otwory tarczy powinien być na pewnym odcinku gładki, jednak z zachowaniem odpowiedniego „nadmiaru” długości gwintu, który bezwarunkowo musi zapewnić docisk łączonych elementów. Również długość śruby powinna być tak dobrana, aby o 1–3 mm wystawała poza przeciwległe lico kołnierza. Koniec śruby powinien być sfazowany. Łeb śruby powinien być także sfazowany, ale przy użyciu operacji wycięcia obrotowego, co odpowiada specyfikacji technicznej tego rodzaju elementów łączących.

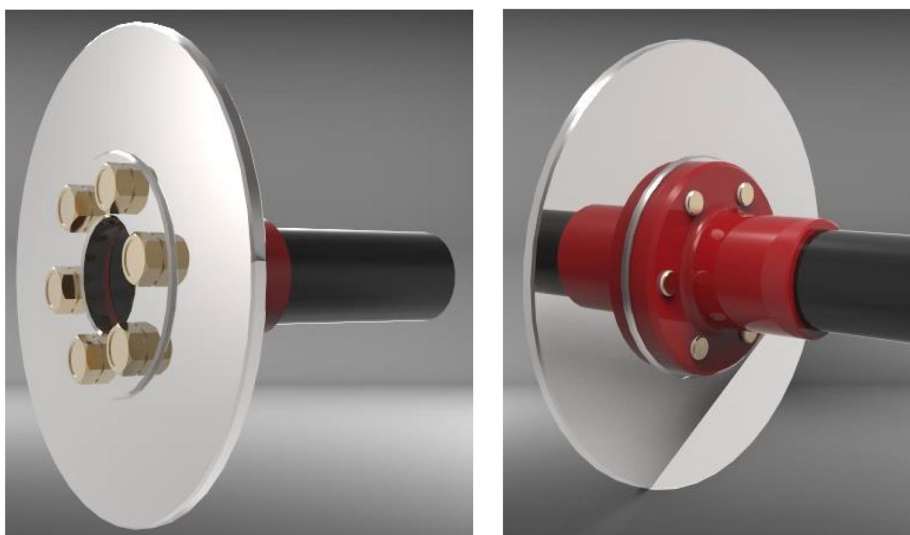


W następnym etapie należy wykonać **złożenie opracowanych części**. Wymagane jest zachowanie koncentryczności położenia kołnierza, półosi oraz tarczy względem jednej z poziomych osi układu współrzędnych. Lico tarczy powinno przylegać do zewnętrznego lica kołnierza. Otwory śrub tarczy powinny zgadzać się z odpowiednimi otworami gwintowanymi kołnierza. Należy zadać odpowiednią relację w celu uzyskania wyrównania kąтового. W przypadku niezgodności rozmieszczenia w kierunku promieniowym, należy sprawdzić osiowość szyku otworów w obu częściach oraz zgodność średnicy podziałowej.

Ostatnim etapem jest wizualizacja złożenia. Części można odpowiednio pokolorować w środowisku ‘Część (ISO metryczne)’, ukryć zbędne elementy pomocnicze, jak ciągi wymiarowe, układ współrzędnych i szkice oraz wykonać dwa zrzuty ekranu w odpowiednio dobra-

nych pozycjach. Zrzuty ekranu należy wykadrować w dowolnym programie graficznym, aby nie zawierały elementów interfejsu programu.

Wizualizację można przeprowadzić również w skojarzonym ze środowiskiem Solid Edge programie KeyShot. Nie jest to obowiązkowe, choć jest mile widziane i będzie uwzględniane w ocenie jako dodatkowy bonus. Należy jednak dołożyć starań aby otrzymać możliwie realistyczny obraz.



Najczęściej popełniane przez studentów błędy przy wykonaniu tego zadania to:

- niezgodność szyku otworów kołnierza z szykiem otworów tarczy,
- niezgodność rozmiaru gwintu śrub z gwintem otworów kołnierza (średnica otworów musi ulec zmniejszeniu względem średnicy nominalnej, co zapewnia możliwość nacięcia gwintu).

Niekiedy **zdarzają się błędy** polegające na niedopasowaniu długości śrub oraz gwintowanej części rdzenia lub błędy z kolizją elementów (części nachodzą na siebie wskutek błędnie zadanych relacji w złożeniu).

Najbardziej banalnym **błędem** jest jednak wykonywanie gwintowanych otworów obu łączonych śrubą części, co uniemożliwiłoby ich rzeczywisty montaż.

Literatura

1. Bober A., Dudziak M., *Zapis konstrukcji*, Wydaw. Politechniki Poznańskiej, Poznań 1995.
2. Janecki P.H., *Informatyka i komputerowe wspomaganie prac inżynierskich*, Wydaw. Politechniki Radomskiej, Radom 2012.
3. Jaskulski A., *AutoCad 2018/LT2018/360+. Kurs projektowania parametrycznego i nieparametrycznego 2D i 3D*, Wydaw. Naukowe PWN, Warszawa 2017.
4. Kazimierczak G., Pacula B., Budzyński A., *Solid Edge: komputerowe wspomaganie projektowania*, Helion 2014.
5. Kazimierczak G., *Solid Edge 8/9*, Wydaw. Helion, Gliwice 2011.
6. Krawiec P. (red.), *Grafika komputerowa: laboratorium*, wyd. 5 rozszerz., Poznań 2011.
7. Krzysiak Z., *Modelowanie 3D w programie AutoCAD*, Wydawnictwa Nauka i Technika, Warszawa 2017.
8. Orłowski C., *Informatyka i komputerowe wspomaganie prac inżynierskich*, PWE, Warszawa 2012.
9. Osiński J. (red.), *Wspomagane komputerowo projektowanie typowych zespołów i elementów maszyn: praca zbiorowa*, Warszawa 2010.
10. Pikoń A., *Autocad 2018 PL*, Helion, Gliwice 2018.
11. Schabowska K., Wójcik A., Gajewski J., *Zapis konstrukcji. Przewodnik do zajęć projektowych wspomaganych komputerowo*. Wydaw. Drukarnia Liber DUO s.c., Lublin 2008.
12. Suseł M., Makowski K., *Grafika inżynierska z zastosowaniem programu AutoCAD*, Wrocław 2015.
13. Szymczak P., *Solid Edge with Synchronous Technology*, Wydaw. CAMdivision. Wrocław 2012.

Grafika użyta do rozdzielania poszczególnych rozdziałów:

1. Ad. 1 – rawpixel.com/Freepik.com
2. Ad. 2 – DCstudio/Freepik.com
3. Ad. 3 – kiquebg/Pixabay.com
4. Ad. 4 - DCstudio/Freepik.com
5. Ad. 5 - [RAEng_Publications/ Pixabay.com](http://RAEng_Publications/Pixabay.com)
6. Ad. 6 - Rochak Shukla/Freepik.com
7. Ad. 7 - Gam-OI/Pixabay.com
8. Ad. 8 - kjpargeter/Freepik.com
9. Ad. 9 - fabrikasimf/Freepik.com

KOMPUTEROWE WSPOMAGANIE PROJEKTOWANIA

Część druga Studia przypadków

Mirosław Guzik

Lublin 2021

Spis treści

Studium przypadku 1.	
Modyfikacja kasety sterującej starego typu	127
Studium przypadku 2.	
Figurka aniołka – podróbka czy oryginał?	135
Studium przypadku 3.	
Kontrola wymiarów łapek mocujących szyny kolejowe do podkładów	143
3.1. Odtworzenie modelu CAD łapki kolejowej.....	145
3.2. Skanowanie łapek i bazowanie modeli.....	147
3.3. Opracowanie wyników pomiarów	150
Studium przypadku 4.	
Projektujemy stół pod ciężką wiertarkę	154
4.1. Rysowanie szkicu konstrukcji ramowej	155
4.2. Zadawanie profili i obróbka połączeń	157
4.3. Modelowanie detali i generowanie wykazu części	159
Studium przypadku 5.	
Czego unikać w zadaniach inżynierii odwrotnej	165
5.1. Wstępna analiza zadania	168
5.2. Próba wykonania skanu przez składanie par slajdów	170
5.3. Mocowanie przewodu do stolika obrotowego.....	171
5.4. Próba skanowania z użyciem stolika obrotowego.....	172
5.5. Próba rozwiązania problemu oscylacji przewodu podczas skanowania	174
5.6. Kalibracja maksymalnej przestrzeni pomiarowej.....	176
5.7. Właściwe skanowanie i składanie par klastrów	178
5.8. Utworzenie modelu CAD na podstawie otrzymanego skanu	180
5.9. Wnioski po realizacji projektu i osiągnięte efekty	181

Studium przypadku 1.

Modyfikacja kasety sterującej starego typu

Przepisy prawne, związane z dozorem technicznym maszyn i urządzeń, wymagają stosowania pośredniego sterowania silnikami maszyn, które w przypadku utraty zasilania nie uruchomią się samoczynnie po jego powrocie. Jest to związane z wymogami bezpieczeństwa.

Z pewnością każdy doświadczył skutków awarii gdy np. w domu zgasło światło bo „brakło prądu”. Po pewnym czasie, spędzonym w ciemnościach, zasilanie wraca i samoczynnie włączają się urządzenia, które wcześniej nie zostały wyłączone.

Taka sytuacja **jest niebezpieczna w przypadku maszyn przemysłowych**, gdzie awarie zasilania występują z różnych przyczyn. Nietrudno sobie wyobrazić wypadek spowodowany sytuacją, w której po powrocie zasilania samoczynnie uruchamia się wiertarka stołowa, tokarka, szlifierka stołowa itp. Starsze maszyny, które wciąż są sprawne, a niekiedy znacznie solidniejsze i trwalsze od współczesnych, w wielu przypadkach nie spełniały tych wymogów. Silniki tych maszyn były często sterowane bezpośrednio łącznikami krzywkowymi. W takich **przypadkach niezbędna jest modyfikacja, polegająca na wykonaniu nowej instalacji oraz zaprojektowanie sposobu montażu wszystkich niezbędnych podzespołów.**

Konstruując lub modyfikując urządzenie techniczne stajemy przed problemem doboru odpowiednich komponentów. Oferta na rynku standardowych elementów, podzespołów elektrycznych i elektronicznych jest bardzo szeroka. Jednak dość często w praktyce okazuje się, że niektóre gotowe rozwiązania nie będą pasować do przyjętej koncepcji i będą wymagały większych lub mniejszych zmian. Tak też było w następującym przypadku.

Zostało zaprojektowane nowe sterowanie silnikiem trójfazowym zasilającym wiertarkę stołową typu WS-15 starej polskiej konstrukcji. Fabrycznie maszyna była włączana łącznikiem krzywkowym, umieszczonym na jej lewym boku. Nie jest to ergonomiczne

rozwiązanie. W nowszych urządzeniach tego typu, przyciski sterujące znajdują się możliwie najbliżej operatora.



Wiertarka WS-15 charakteryzuje się klasycznym wyglądem i zaokrąglonym kształtem. Najlepszym rozwiązaniem byłoby **zamontowanie przycisków sterujących w czołowej części wiertarki**, co wymaga dobrania odpowiedniej obudowy. Poszukując gotowego rozwiązania, okazało się, że wszystkie stosowane obecnie, standardowe dwuprzyciskowe kasety sterujące charakteryzują się na tyle dużymi wymiarami, że zamontowanie ich na tej wiertarce nie byłoby zbyt estetyczne, biorąc pod uwagę jej klasyczny wygląd.

W ofercie wyprzedaży starych zapasów magazynowych jakiegoś przedsiębiorstwa, natrafiono na nieużywaną kasetę sterującą polskiej konstrukcji, produkowaną mniej więcej w tym samym okresie co usprawniana maszyna. Obudowa kasety była solidna, metalowa a przy tym charakteryzowała się kompaktowymi wymiarami. Doskonale pasowała również wyglądem. Sposób jej montażu na tym etapie był jeszcze do przemyślenia, zatem decyzja o zakupie została podjęta.



Jednak wygląd i solidność nie zawsze idą w parze z funkcjonalnością i ergonomią. Przyciski w kasetach tego typu wymagały znacznie większego nacisku przy przełączaniu niż w rozwiązaniach współczesnej automatyki. Dyskomfort operowania nimi można określić jako „gumowy”, porównywalny do przypadku używania zwykłych łączników mechanicznych. Natomiast aktualnie produkowane przyciski monostabilne, stosowane w automatyce przemysłowej, wymagają dosłownie lekkiego nacisku do skutecznego wysterowania.

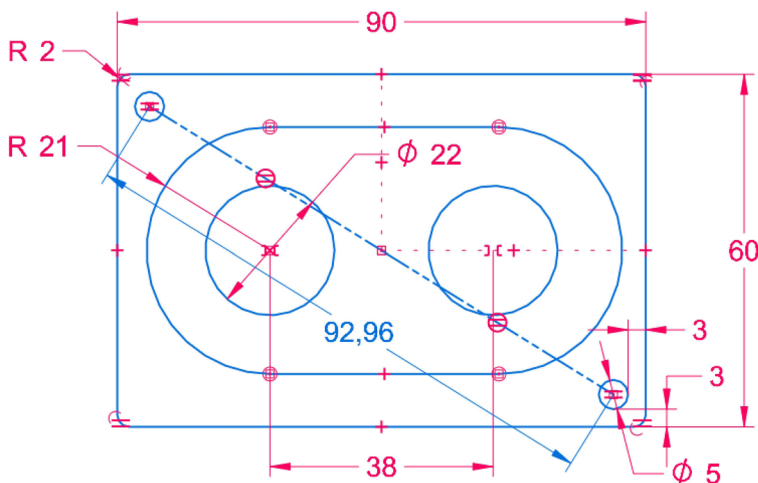
To przeważało o decyzji połączenia starego z nowym, czyli **zamontowania nowych przycisków w obudowie starego typu**. Zakupiono tanie i markowe przyciski monostabilne z katalogu firmy Schneider Electric (seria „Harmony”), które można zamontować bezpośrednio w otworze, a nie modułowo, jak w przypadku standardowych kaset. Jednak w celu zintegrowania tych części konieczne było **zaprojektowanie oraz wykonanie nowego panelu frontowego**.



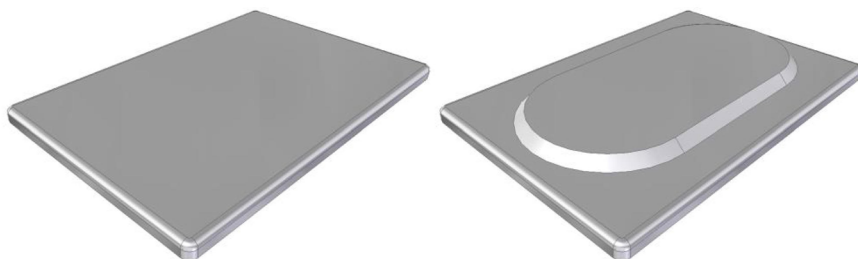
Zadanie to zostało wykonane przy użyciu oprogramowania Solid Edge – w środowisku ‘Część (ISO metryczne)’. Mając do dyspozycji oryginalny panel, odpowiednie wymiary można było łatwo zmierzyć suwmiarką. Najtrudniejszy był bezpośredni pomiar położenia otworów mocujących panel do obudowy, który jest przykręcany po przekątnej dwiema śrubkami z łbem stożkowym. Niewielki błąd powodowałby nierównoległość krawędzi łączonych części, którego nie dałoby się skompensować przez poszerzenie otworów, jak w przypadku śrub z łbem walcowym. Jednak tego rodzaju części zwykle są konstruowane przy zachowaniu okrągłych wartości wymiarów nominalnych i tak też było tym razem.

Przewidując, że **projekt nowego panelu mógł być wielokrotnie modyfikowany i poprawiany, zdecydowano się na zamodelowanie go w trybie sekwencyjnym.** Skojarzenie edytowalnego szkicu z modelem jest w tym przypadku zaletą. Na podstawie pomiarów wykonany został jeden główny szkic, na którym umieszczono elementy niezbędne do wykonania wszystkich dalszych operacji bryłowych, tzn. obrys otworów śrubek, obrys otworów przycisków oraz obrys centralnej wyspy.

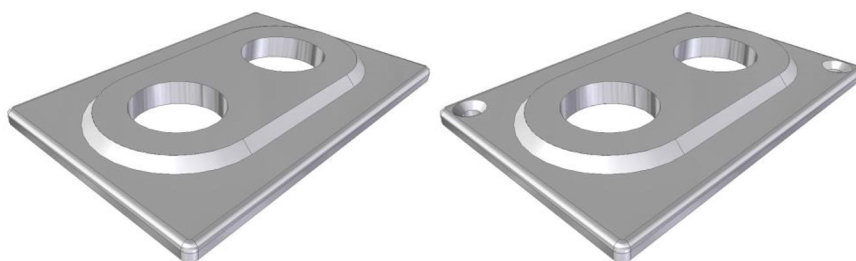
Elementom szkicu zadano oczywiście odpowiednie wymiary sterujące i relacje, ale także jeden sterowany wymiar kontrolny – odległość pomiędzy otworami śrubek. Dzięki temu możliwe jest zweryfikowanie, na podstawie dodatkowych pomiarów, czy nie popełniono gdzieś błędu i położenie istotnych elementów jest prawidłowe.



W pierwszej operacji wyciągnięto obrys panelu, otrzymując płaski prostopadłościan o okrągłych narożach. Następnie zostały zaokrąglone zewnętrzne krawędzie przedniego lica. W kolejnej operacji z płaszczyzny tego samego co poprzednio szkicu, wyciągnięto obrys wyspy, jednak na odpowiednio większą wysokość. Zastosowano jednocześnie obróbkę, polegającą na zadaniu nachylenia bocznych lic wyspy.



Kolejną operacją było wycięcie otworów pod przyciski, przy których szkice także znajdowały się na tej samej płaszczyźnie. Ostatnią operacją, prowadzącą do otrzymania kompletnej geometrii panelu, było wstawienie otworów montażowych pod śrubki M4 z łbem stożkowym. Okazało się, że predefiniowane ustawienia takiego standardowego otworu ('Pogłębienie stożkowe') nie będzie zapewniało licowania czoła oryginalnych śrubek z płaszczyzną panelu, dlatego operację wykonano jako 'Otwór prosty' z odpowiednio dobranymi wymiarami fazy początkowej.



W celu potwierdzenia walorów wizualnych opracowanego panelu konieczne było umieszczenie w jego kontekście modeli przycisków.

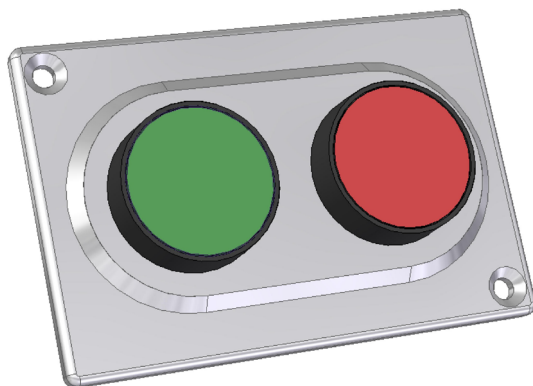


UWAGA

Bardzo często producenci udostępniają w Internecie uogólnione modele bryłowe, ułatwiając projektowanie przy użyciu środowiska CAD.

W takim przypadku bieżący etap zadania polegałby na zaimportowaniu bryły takiego przycisku do projektu i wstawieniu jej w projekcie złożenia. Jednak mając do dyspozycji zakupione przyciski, których część wystająca ponad obrys otworu montażowego ma bardzo prosty kształt (walec, a dokładnie odcięty stożek ze względu na pochYLENIE bocznych lic), **odpowiednie modele można wykonać szybciej** niż wyszukać na stronie producenta.

W związku z tym, że projekt był dość prosty, **bryły przycisków zostały zamodelowane jako kolejne obiekty tej samej części**, czyli nie skorzystano jak zwykle w takich przypadkach ze środowiska 'Złożenie (ISO metryczne)'. W przypadku gdy projekt części zawiera dodatkowe bryły, do edycji może być wybrany jednocześnie jeden. Odpowiednia opcja 'Uaktywnij obiekt' dostępna jest w menu kontekstowym po kliknięciu prawym przyciskiem myszy w obszarze listy na nazwie wybranego obiektu.



Po wykonaniu kilku poprawek, upewnieniu, że wszystko pasuje i dobrze się prezentuje, bryła panelu została wyeksportowana do uniwersalnego formatu Parasolid *.x_t i w takiej postaci przekazana do wykonania z aluminium przy użyciu obrabiarki CNC.

Jakość i dokładność obróbki była na tyle dobra, że powierzchnia wykonanego panelu nie wymagała dodatkowych operacji w celu uzyskania wymaganych walorów estetycznych.



Do ukończenia projektu należało jeszcze **opracować odpowiedni sposób mocowania kasety do żeliwnego korpusu wiertarki.**

Otwory montażowe zastosowanej kasety również rozmieszczone są po jednej przekątnej. Pierwszy z nich wypadł w miejscu górnego kołnierza korpusu wiertarki, w którym przy zachowaniu staranności i ostrożności wywiercono i nagwintowano bezkolizyjny otwór M6.

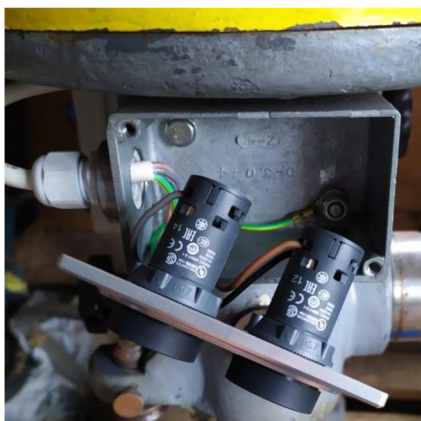


WAŻNE

Pracując w systemach CAD projekt możemy wielokrotnie poprawiać i wszystkie nieudane operacje łatwo cofnąć.

Natomiast w rzeczywistej realizacji, **błędne wykonanie niektórych operacji bywa nieodwracalne w skutkach**. Symulowanie złożenia w systemach CAD zdecydowanie ułatwia uniknięcie tego rodzaju fatalnych błędów, jednak nie miało to zastosowania w tym przypadku z powodu zbyt dużej pracochłonności ewentualnego modelowania korpusu wiertarki.

Drugi otwór wypadł w pustej przestrzeni, jednak łatwym rozwiązaniem było wykorzystanie istniejącego punktu montażowego (przedłużona śruba kołnierza) przez dorobienie odpowiedniego uchwytu z grubszej blachy. Szczegóły mocowania przedstawiono na poniższych fotografiach.



Ostatnim szczegółem było **wykonanie redukcji do montażu dławicy**, służącej do szczelnego wyprowadzenia przewodów na zewnątrz.

Przewody w układzie sterowania mają zwykle znacznie mniejsze przekroje niż w układach wykonawczych ze względu na niewielki prąd. Jednak w przypadku tej kasety średnica otworu dławicy była przesadnie duża i została zredukowana przy użyciu gwintowanego króćca, odciętego od jakiejś starej puszkii elektrycznej, do wnętrza którego wkręcono mniejszą dławicę.

Studium przypadku 2.

Figurka aniołka – podróbka czy oryginał?

Skanery 3D wraz z odpowiednim oprogramowaniem do kontroli jakości wymiarowej jak np. ‘Geomagic Control’ lub ‘GOM Inspect’, znajdują zastosowanie w sprawdzaniu zgodności kształtu i wymiarów produktów względem geometrii modelu referencyjnego.



WAŻNE

Obiektem referencyjnym jest najczęściej nominalny model CAD, na podstawie którego wytwarzane są rzeczywiste produkty. Dotyczy to najczęściej pojedynczych części, ale w niektórych przypadkach także złożonych zespołów.

Takim przypadkiem jest choćby kontrola geometryczna podwozi samochodowych firmy Volkswagen z zamontowanymi elementami zawieszenia. Proces kontroli geometrycznej w dużych fabrykach jest najczęściej w pełni zautomatyzowany, a głowice skanujące poruszają się na ramionach odpowiednio zaprogramowanych robotów przemysłowych.



UWAGA

Obiektem referencyjnym może być także inny obiekt, gdy chcemy porównać do siebie geometrię dwóch przedmiotów. Dodatkowo, celem takiego porównania niekoniecznie musi być kształt całego przedmiotu, a na przykład jego wybrane fragmenty.

Takie sytuacje zdarzają się jednak w dość nietypowych przypadkach, z których jeden dotyczy treści niniejszego przykładu.

Pewien przedsiębiorca **wytwarza wysokiej jakości figurki aniołków z ceramiki wypalanej**, takie jak te poniżej.



Podczas wizyty w hurtowni, z którą współpracuje, zauważył w magazynie figurki innego producenta o łudząco podobnym kształcie i motywach artystycznych. Nie byłoby w tym nic dziwnego, bo

jak to w sztuce – jak jeden artysta coś wymyśli, kolejni go naśladowają, rozwijając pomysł i tak powstają nowe trendy. Jednak te podobne figurki wcale nie stwarzały wrażenia ulepszonych produktów, w których przypadkowo wykorzystano podobne motywy. Były one takich samych rozmiarów, motywy artystyczne zgadzały się co do rodzaju i liczby, a najbardziej istotna różnica polegała na tym, że nie były wykonane z wypalanej gliny tylko jako odlewy gipsowe.

Gipsowe podróbki zalewają rynek i firma wspomnianego przedsiębiorcy coraz dotkliwiej doświadczała tego rodzaju konkurencji. Gipsowe odlewy dają się łatwo kopiować i powielać przy użyciu form wykonanych z silikonu. Stąd padło podejrzenie, że te ładujące podobne figurki gipsowe zostały wykonane jako kopie jego produktów. Przy tym w serii, każda wypalona z gliny figurka jest nieco inna, bo zaledwie parę elementów można w tej technice wykonać przy użyciu formy (główka, dłonie itp.). Większa część figurki wykonywana jest ręcznie i tak też łączona, co tłumaczy różnicę w cenie w porównaniu do odlewów gipsowych.

Oczywiście **zastosowanie tak różnych materiałów i technologii wymuszało pewne różnice**. Na przykład elementy z ceramiki wypalanej mogą być bardziej subtelne i delikatne, bo materiał jest twardy i zwarty. Gips łatwiej się kruszy, dlatego tego rodzaju elementy muszą być bardziej masywne. Figurki gipsowe także są ręcznie malowane, co również powoduje pewne różnice, które mogą być celowo wykorzystane do zamaskowania podobieństwa w nieuczciwych praktykach.

Same wrażenia, przypuszczenia i podejrzenia to jednak za mało. W takich sprawach, szczególnie rozstrzyganych w sądowych rozprawach, trzeba mieć pewność i dowody. Przedsiębiorca nabył więc serię podejrzanych figurek gipsowych i rozpoczął poszukiwanie metody, która umożliwiłaby pomiar wybranych elementów. Elementy o swobodnych kształtach są trudne w bezpośrednich pomiarach – w związku z niejednoznacznością identyfikacji charakterystycznych punktów. Istnieje co prawda dziedzina zwana antropometrią, która historycznie zajmowała się pomiarami elementów ludzkiej twarzy na tle różnic lub podobieństw rasowych, a współcześnie znajduje zastosowanie w algorytmach sztucznej inteligencji mających za zadanie

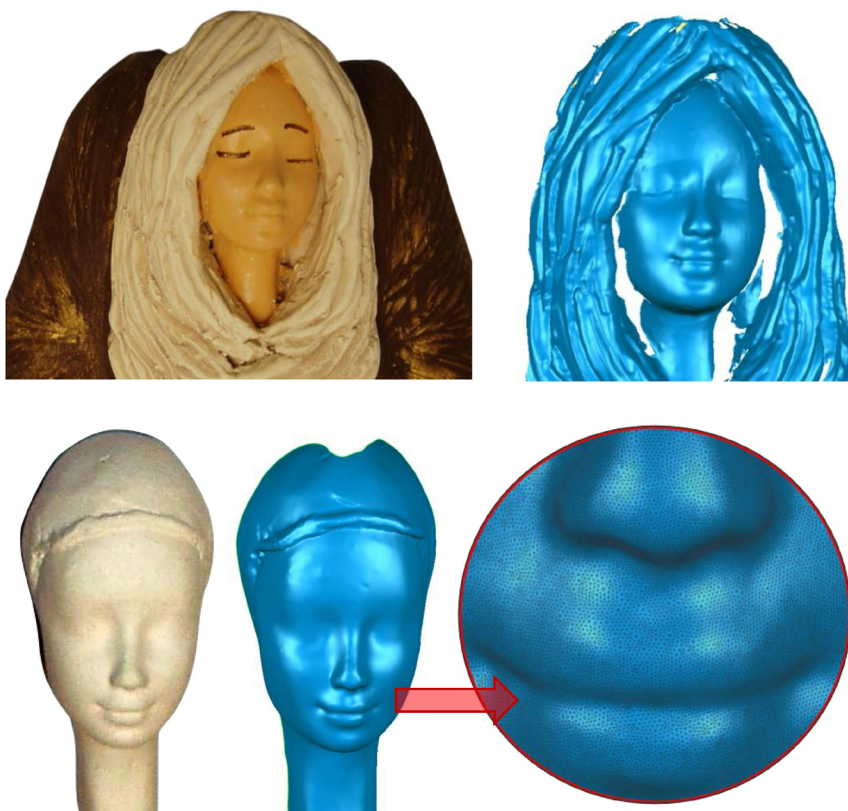
identyfikowanie ludzi. Odpowiednie metody byłyby jednak zbyt trudne do zastosowania w przypadku wielokrotnie mniejszych aniołkowych główek, w dodatku pomalowanych z twórczą fantazją.

Przedsiębiorca zgłosił się z tym problemem do jednego z lubelskich centrów badawczych. Z pomocą przyszły **metody kontroli jakości wymiarowej, opierające się na technice skanowania 3D**. Paradoksalnie, technika skanowania, znajdująca częste zastosowanie w dziedzinie inżynierii odwrotnej, tym razem miała być użyta do weryfikacji czy faktycznie doszło do swego rodzaju „inżynierii odwrotnej”, polegającej na wytwarzaniu produktu na podstawie konkurencyjnego produktu. W tym celu zdecydowano się na wstępne porównanie jedynie fragmentów figurek – twarzy, ponieważ oprócz dłoni, tylko te stanowiły zbiór wspólny części powielanych w obu przypadkach przy użyciu form. Przedsiębiorca dostarczył zatem jedną z figurek gipsowych, noszących znamiona kopii oraz odcisk autorskiej formy do produkcji główek aniołków z gliny.

Skanowaniu 3D podlegała twarz figurki gipsowej oraz ta odcisnięta w glinie z oryginalnej formy. W tym celu został użyty skaner polskiego producenta **SmartTech Universe 5Mpx**, który jest przeznaczony do pomiarów w przestrzeni o niewielkich wymiarach, ale za to ze znaczną dokładnością, sięgającą 0,025 mm.



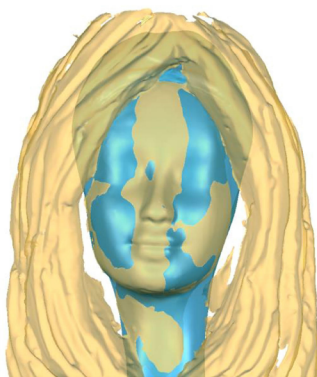
Otrzymane chmury punktów zostały odpowiednio oczyszczone i przetworzone w siatki trójkątów. Poniżej zestawiono fotografie rzeczywistych obiektów i odpowiadające im widoki opracowanych siatek trójkątów, wynikających z procesu skanowania 3D. W pierwszym rzędzie przedstawiono obrazy dotyczące figurki gipsowej, a w drugim – ceramicznego odcisku formy do produkcji główek.



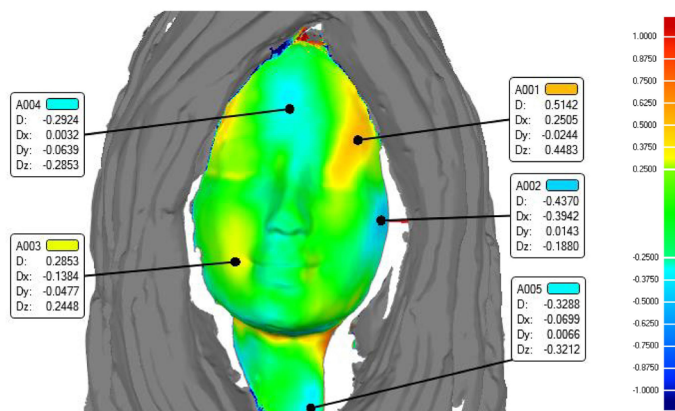
Ostatni obraz prezentuje znakomitą jakość odwzorowania kształtu tych niewielkich obiektów w widoku siatki trójkątów na przykładzie zarysu ust i nosa.

Siatki trójkątów następnie nałożono na siebie w programie ‘Geomagic Control’ przyjmując jako referencyjny model siatkę domniemanego oryginału. Siatki zostały ze sobą wyrównane przy użyciu lokalnej **metody najlepszego dopasowania** (ang. *Best Fit*), polegającej na iteracyjnych przesunięciach i statystycznych obliczeniach odległości par punktów porównywanych geometrii.

Dokładniej mówiąc, kryterium tych obliczeń jest **minimalizacja odchylenia standardowego miary odległości porównywanego zbioru par punktów**. Kolejne iteracje kończą się w chwili osiągnięcia minimalnej wartości tego parametru, co określa sytuację, w której elementy są możliwie najlepiej dopasowane. Ostateczna wartość odchylenia standardowego stanowi swego rodzaju miarę, którą można interpretować jako błąd dopasowania wynikający z geometrycznych różnic. Jeśli ta wartość wynosiłaby zero, wskazywałoby to na identyczność porównywanych elementów.



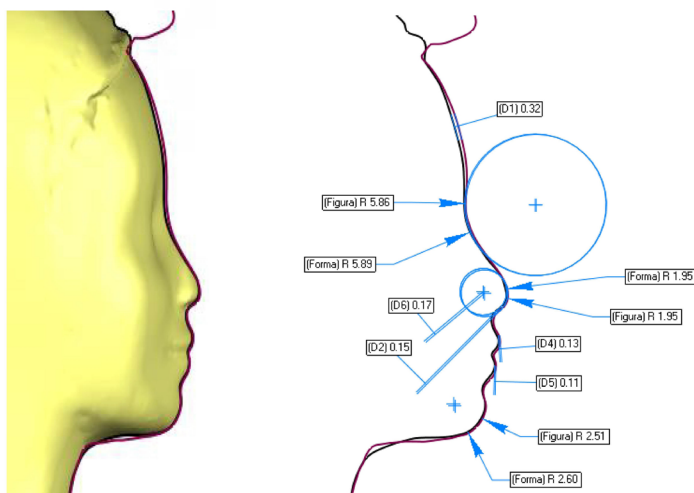
Lokalne różnice porównywanych par punktów mają oczywiście różne wartości. Można **przedstawić to graficznie w postaci kolorów** – zielony oznacza najmniejsze odchyłki, czerwonym określa się dodatnie wartości maksymalne, a niebieskim skrajnie ujemne. Pozostałe kolory odpowiadają stanom pośrednim. Poniżej przedstawiono widok otrzymanej mapy odchyłek.



Na podstawie **mapy odchyłek**, można było stwierdzić, że w obszarze oznaczonym na zielono znajduje się praktycznie cała geometria odwzorowująca rysy twarzy. Oznacza to, że główne elementy twarzy – oczy, nos, usta, broda, dokładnie się na siebie nakładają.

Odchylenie standardowe, będące miarą rozproszenia punktów należących do twarzy figurki gipsowej względem punktów twarzy modelu odcisku formy do produkcji aniołków, wyniósł zaledwie 0,192 mm. Jest to bardzo mała wartość, zważywszy, że obie figury zostały wyprodukowane przez różnych producentów i z różnych materiałów. Wykonane w programie obliczenia statystyczne wskazują, że aż 89% obszaru twarzy porównywanych figur mieści się w przedziale odchyłek $\pm 0,25$ mm.

Dodatkowo wykonano **przekrój w płaszczyźnie najlepiej oddającej profil twarzy**. Fioletową linią oznaczono profil twarzy gipsowego aniołka, natomiast czarną – referencyjny profil ceramicznego odcisku formy.



W oprogramowaniu możliwe jest wykonanie pomiarów geometrycznych na tak zdefiniowanym przekroju. Można stwierdzić, że profile nałożonych na siebie twarzy są prawie identyczne. Najczęściej występujące odchyłki nie przekroczyły 0,1 mm. Zmierzono także promienie zaokrągleń podstawowych kształtów twarzy – brody, nosa i łuku brwiowego, które różniły się maksymalnie o kilka setnych milimetra, natomiast środki odpowiednich łuków znajdowały się niemal w tych samych punktach.

Przeprowadzona analiza z całą pewnością wykazała, że porównywane figurki w obszarze twarzy są powiązane procesem mechanicznego kopiowania z użyciem formy. Biorąc pod uwagę naturalne aspekty, za oryginał należałoby przyjąć obiekt o wyższej jakości, czyli formę, której kształt określono za pośrednictwem ceramicznego odcisku. Nie chodziło jednak o ustalenie, kto od kogo kopiował, tylko czy w ogóle doszło do kopiowania.

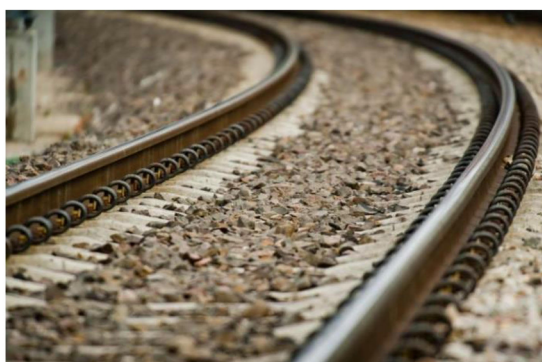
Podsumowując, oba obiekty zostały wykonane z różnych materiałów i z pewnością ich linie produkcyjne były od siebie znacznie oddalone. Mimo to oba modele zachowały niemal identyczną formę geometryczną twarzy z uwzględnieniem niewielkich odchyłek, które mogłyby wystąpić w zakresie tylko jednej serii produkcyjnej tego rodzaju wyrobów.

Aktualnie, sprawa ciągnie się w sądzie już od paru lat, co jest raczej normą w procesach cywilno-gospodarczych. Same koszty sądowe, jak w pokerze, urosły do wysokich sum. Jednak mimo tej sytuacji nie do pozazdroszczenia dla obu stron, nasz przedsiębiorca nie zbankrutował wskutek nieuczciwej konkurencji, a wręcz przeciwnie. Wyciągnął z tej sytuacji naukę i uruchomił nową linię produkcyjną, rozszerzając swoją ofertę rynkową o tanie figurki gipsowe, wytwarzane jako kopie własnych produktów z wyższej półki. Firma tym sposobem weszła w fazę dynamicznego rozwoju, bo koszty produkcji zmalały, a obroty wzrosły. Firma nadal produkuje wyroby z ceramiki wypalanej dla wymagających klientów, jednak stanowi to już tylko poboczne źródło jej przychodów. Zwyciężyły prawa ekonomii związane z popytem i ceną, co z jednej strony przełożyło się na niezaprzeczalny sukces, ale z drugiej kojarzy się z postępującym kryzysem kulturowym.

Studium przypadku 3.

Kontrola wymiarów łapek mocujących szyny kolejowe do podkładów

Sprężynująca łapka kolejowa, przytwierdzająca szyny do podkładów kolejowych. Wydawałoby się niezłożony element wykonany z powyginanego, grubego drutu – co w niej jest ciekawego?



Ciekawe jest na przykład to, **czy została prawidłowo wykonana**, bo jak się okazuje, kilka wymiarów określających jej kształt, jest ściśle określonych w dokumentacji technicznej.

Jeszcze ciekawsze jest to, **jak w ogóle zmierzyć coś takiego?** Można użyć specjalnie do tego celu przygotowanych **sprawdzianów pomiarowych, czyli szablonów o określonym kształcie i wymiarze**, które dopasowuje się w odpowiednich miejscach mierzonej sztuki. Pomiar takimi sprawdzianami jest analogiczny do pomiaru szerokości szczeliny szczelinomierzem.

Nie znamy dokładnego wymiaru, ale znamy zakres, w jakim się on mieści, określony między najgrubszym listkiem, który jeszcze wchodzi w szczelinę a kolejnym grubszym o parę setnych milimetra, który już przez nią nie przechodzi. W takiej łapce nie ma szczelin, są za to łuki – jak zmierzyć ich promień?



W takim przypadku również **znamy granice**, w których wartość promienia łuku powinna się zmieścić. Można przygotować dwa sprawdziany – jeden w kształcie wycinka koła o promieniu równym dolnej granicy tolerancji, a drugi o większym promieniu – odpowiadającym górnej granicy tolerancji. Promień łuku jest prawidłowy, gdy jeden szablon wesprze się na krawędzi w jednym stycznym punkcie (promień większy od minimalnego), a drugi wesprze się na końcach (promień mniejszy od maksymalnego) lub jeden z szablonów dokładnie pokryje się na długości łuku z krawędzią (wymiar graniczny promienia).

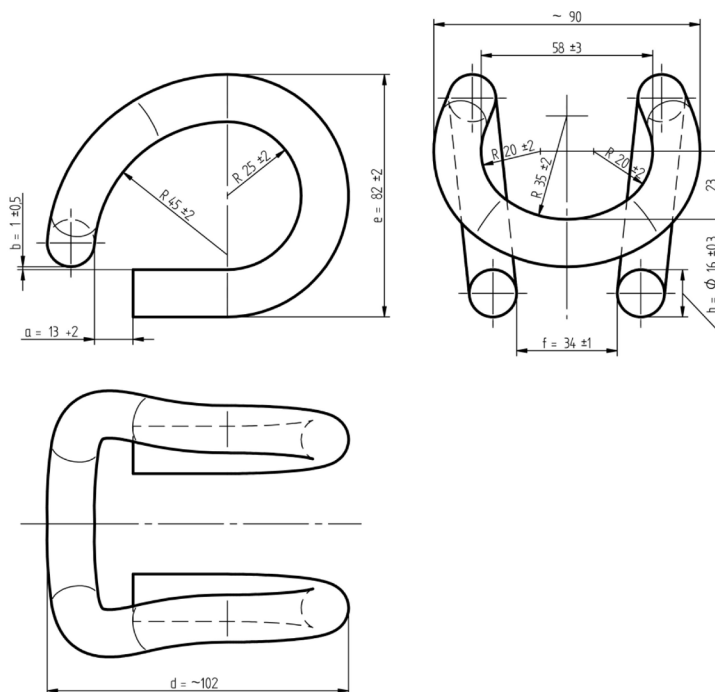
Niestety w omawianym przypadku ta metoda byłaby trudniejsza do zastosowania, a to z tego powodu, że łuki łapek kolejowych nie są płaskie. Drut gięty jest jednocześnie w dwóch kierunkach w taki sposób, iż promień danego łuku mógłby być określony jedynie na odpowiednim rzucie prostokątnym. Na to też jest sposób. Zamiast płaskich szablonów można przygotować wałki o większej i mniejszej średnicy i za ich pomocą określać, czy mierzony egzemplarz jest dobry czy zły. A co w przypadku, gdy takich tolerowanych wymiarów jest więcej? Potrzebna jest odpowiednio większa liczba sprawdzianów pomiarowych. Zwiększa to koszty oraz czas wykonania sprawdzenia jednej sztuki, który jest tym ważniejszy im dłuższa jest seria do pomierzenia.

Okazuje się, że **wszystkie te problemy znikają, gdy pomiary zostaną wykonane komputerowo na wirtualnych modelach łapek, utworzonych techniką skanowania 3D**. Pomiary tego rodzaju realizowane są przy użyciu odpowiedniego oprogramowania, jak np. **‘Geomagic Control’** lub **‘GOM Inspect’**. Istotnym warunkiem do

wykonania takich pomiarów jest jednak dysponowanie modelem referencyjnym, względem którego „skan” kontrolowanego obiektu jest wyrównywany i porównywany. Jak się okazało, nominalny model takiej łapki nie jest dostępny i ciekawe czy w ogóle istnieje. Nie wszystkie elementy muszą być przecież projektowane komputerowo.

3.1. Odtworzenie modelu CAD łapki kolejowej

Pierwszym zadaniem z zakresu komputerowego wspomaganie projektowania było zatem **odtworzenie bryłowego modelu 3D łapki** na podstawie dość łatwo dostępnej dokumentacji technicznej PKP PLK S.A., która zawierała takie oto rysunki:

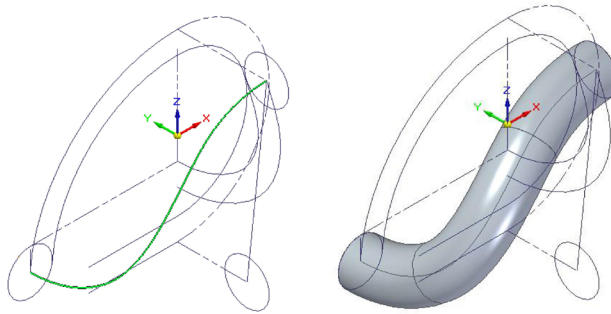


W tym celu zostało wykorzystane **oprogramowanie Solid Edge**, a konkretnie **środowisko ‘Część (ISO metryczne)’**.

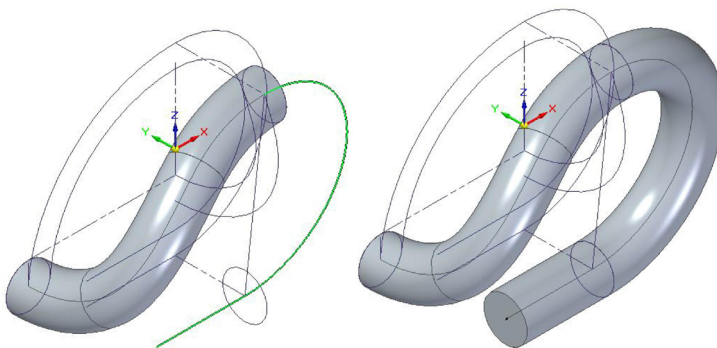
Zadanie zostało wykonane **w trybie sekwencyjnym**. Obliczono promienie łuków tzw. osi obojętnej (przechodzącej przez środki stycznych przekrojów), które naniesiono jako szkice na wzajemnie

prostopadłe, pionowe płaszczyzny bazowego układu współrzędnych. Na przykład na jednej płaszczyźnie dany łuk został narysowany jako płaski, a w prostopadłym widoku redukował się do nachylonego odcinka. Natomiast łuki w czołowej ćwiartce łapki, mają kąty 90° i różne promienie w obu prostopadłych rzutach, które tak właśnie należało narysować na odpowiednich płaszczyznach.

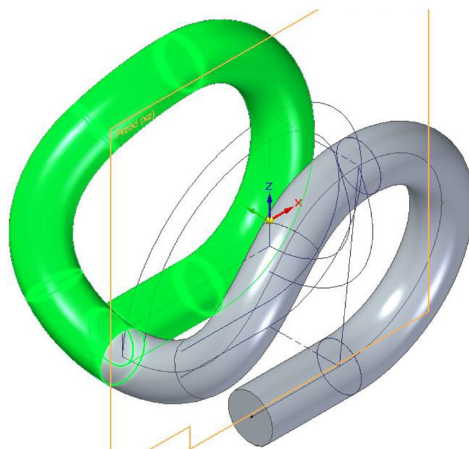
Następnie **odpowiednie odcinki łuków były rzutowane na siebie** przy użyciu polecenia 'Krzywa wypadkowa', co prowadziło do otrzymania przestrzennego szkicu pierwszego fragmentu osi obojętnej. Wykorzystując otrzymaną oś jako ścieżkę wyciągnięcia profilu kołowego o średnicy drutu łapki wykonano odpowiedni fragment modelu bryłowego.



Kolejny fragment osi otrzymano na podstawie wypadkowej tylnego łuku łapki, przedłużonego o odcinek jej prostego końca oraz odcinka prostego łączącego środki górnego i dolnego przekroju kołowego:



Dwa zamodelowane fragmenty złożyły się na model bryłowy jednej połówki powyginanej łapki. Drugą połowę otrzymano przez odbicie lustrzane względem pionowej płaszczyzny symetrii.



Model następnie został wyeksportowany do wygodnego formatu Parasolid *.x_t i w takiej postaci był gotowy do wykorzystania w oprogramowaniu służącym do kontroli jakości wymiarowej.

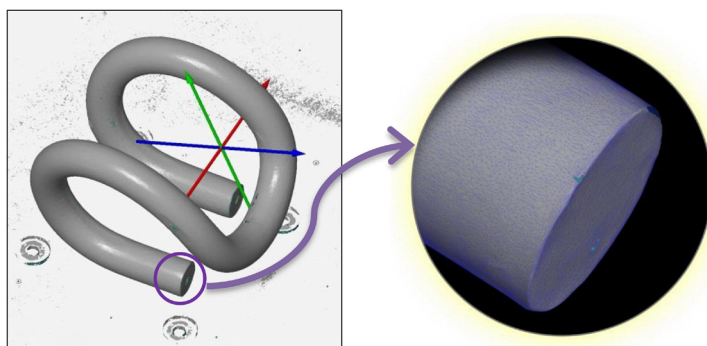
3.2. Skanowanie łapek i bazowanie modeli

Drugim zadaniem z pochodnego obszaru komputerowego wspomagania projektowania była **kontrola jakości wymiarowej rzeczywistych łapek**. Do realizacji tego zadania pomiarowego wykorzystano optyczny skaner 3D GOM Atos Triple III.

Głowica zastosowanego skanera składa się z dwóch kamer cyfrowych oraz projektora. System pomiarowy bazuje na metodzie światła strukturalnego, która polega na projekcji prążków światła i jednoczesnym rejestrowaniu ich przez kamery, działające na zasadzie techniki stereoskopowej. System umożliwia **zdefiniowanie kilku czasów ekspozycji kamer, zależnie od oświetlenia otoczenia i właściwości powierzchni skanowanego detalu**.



Pokryta ciemną farbą łapka sprężysta jest obiektem trudnym do skanowania. W takim przypadku **na powierzchnię detalu powinien być наносzony specjalny środek antyrefleksyjny lub matowa farba w jasnym kolorze**. Ma to na celu poprawę jakości obrazu emitowanego przez projektor skanera przez zmniejszenie pochłaniania światła na powierzchni detalu. Jednak dążąc do optymalizacji procesu pod dłuższe serie pomiarowe, dołożono starań, aby uniknąć tego problematycznego etapu. Zastosowane rozwiązanie polegało na doborze dwóch, odpowiednio wydłużonych czasów ekspozycji, które zapewniły w tych trudnych warunkach zaskakująco dobre efekty skanowania. Docelowym produktem skanowania jest siatka trójkątów, która stanowiąc trójwymiarową strukturę, przybliża elementarne powierzchnie rzeczywistego obiektu elementarnymi płaszczyznami.



Do skanowania zastosowano również **napędzany stolik obrotowy, umożliwiający częściową automatyzację procesu**. Skanowanie każdej łapki przebiegało w dwóch seriach – w pierwszej kolejności łapka była skanowana dookoła w sześciu slajdach w jej naturalnym położeniu, a następnie w czterech slajdach po odwróceniu spodem

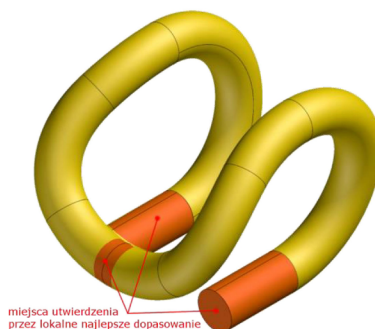
do góry. Serie były łączone przy użyciu czterech markerów referencyjnych. Odklejane z taśmy markery (jak na kolejnym zdjęciu), nakleja się na skanowany obiekt, aby umożliwić oprogramowaniu efektywne śledzenie ich położenia, o ile tylko znajdą się one „w polu widzenia” głowicy skanującej.



Zastosowana procedura umożliwia efektywne skanowanie również w dłuższych seriach pomiarowych.

Kolejnym ważnym zadaniem jest opracowanie **właściwego sposobu bazowania siatki trójkątów, otrzymanej jako wynik skanowania rzeczywistego obiektu, względem referencyjnego modelu CAD, stanowiącego nominalną i zorientowaną geometrię w przypisanym układzie współrzędnych**. Od przyjętego sposobu bazowania zależy bowiem interpretacja dalszych wyników pomiaru. Konieczny jest taki dobór wyrównania porównywanych modeli, który odbiera im wszystkie stopnie swobody i jednocześnie najlepiej odpowiada pomiarom bezpośrednim najważniejszych wymiarów tolerowanych.

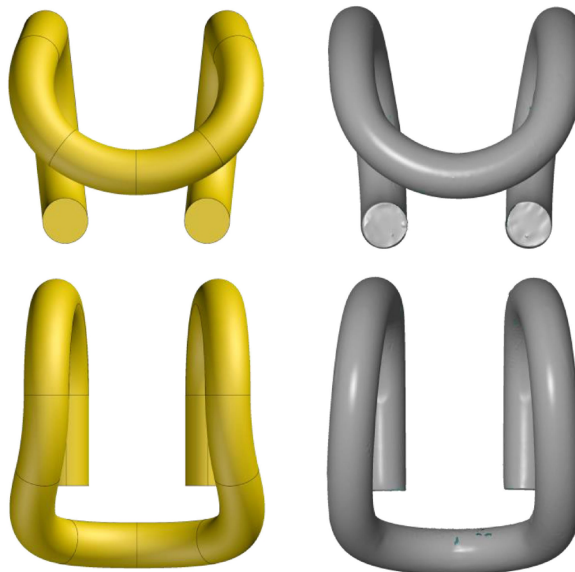
Na poniższym rysunku przedstawiono zastosowane rozwiązanie, naniesione na widok referencyjnego modelu CAD:



Zdecydowano, że **odpowiednim bazowaniem będzie najlepsze dopasowanie (ang. *Best Fit*) obszaru prostych końców łapki**, współpracujących z kotwą przytwierdzenia oraz dopasowanie przekroju czołowego łuku, współpracującego ze stopką szyny kolejowej.

3.3. Opracowanie wyników pomiarów

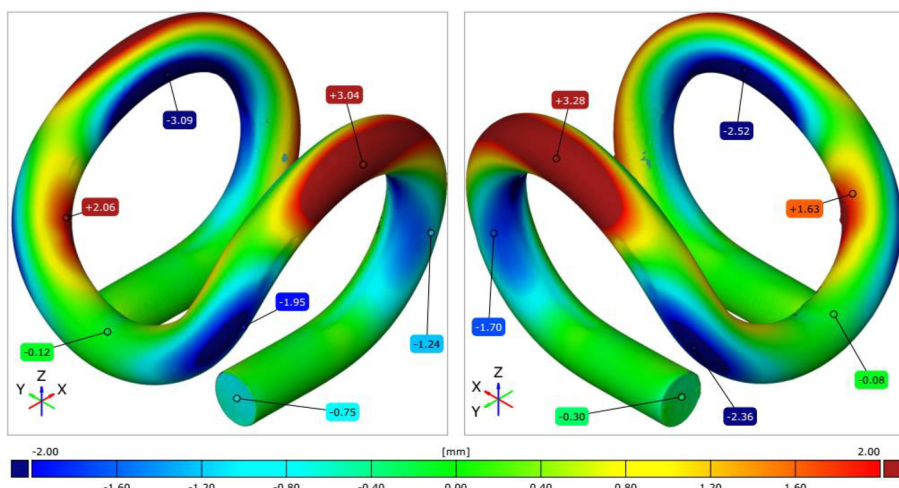
Pomiary geometryczne zostały wykonywane w oprogramowaniu 'GOM Inspect', służącym do kontroli jakości wymiarowej. Wstępne porównanie widoków z przodu i z góry nominalnego modelu CAD z widokami otrzymanych w wyniku skanowania siatek trójkątów rzeczywistych łapek, wskazuje na znaczne uproszczenia łuków w obszarze czołowym. W rzeczywistych łapkach nie występują dwa punkty przegięcia, które w modelu nominalnym znajdują się w miejscu przechodzenia łuku czołowego w łuki boczne. Natomiast widoki łapek z lewej i prawej strony są zbliżone do profilu referencyjnych widoków CAD i nie wykazują żadnych anomalii.



Mapa odchyłek geometrycznych, wynikająca z porównania odpowiednio bazowanych siatek trójkątów rzeczywistych łapek względem nominalnego modelu CAD, potwierdza powyższe spostrzeżenia.

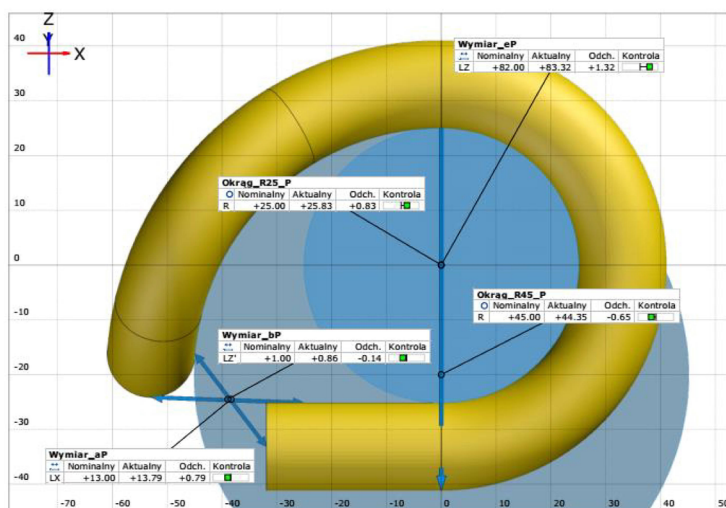
Największe odchyłki w przeciwnych kierunkach występują symetrycznie względem płaszczyzny pionowej w okolicy wierzchołków łuków, których kształt został uproszczony.

Należy jednak zwrócić uwagę, że najważniejsze pod względem konstrukcyjnym i funkcjonalnym obszary końców łapek współpracujących z kotwą, jak również obszar czołowego łuku, współpracującego z podstawą szyny, znajdują się w zakresie minimalnych odchyłek. Wynika to z przyjętego względem tych obszarów bazowania, jak również z ich dobrej zbieżności geometrycznej względem modelu nominalnego.



Natomiast **szczegółowe pomiary polegają na dopasowaniu prostych elementów geometrycznych do odpowiednich fragmentów skanu i budowaniu na ich podstawie odpowiednich konstrukcji w celu określenia rzeczywistych odchyłek wymiarów tolerowanych.**

Na przykład pomiar promienia łuku polega na dopasowaniu koła do wygenerowanego w odpowiednim widoku konturu łapki. Zostało to przedstawione na poniższym, przykładowym widoku łapki:



Długość dopasowywanego łuku jest wyznaczona na podstawie odpowiednich obszarów modelu CAD, w którym miejsca styczności łuków oraz punkty przegięcia są ściśle określone.

Dopasowanie elementu pomiarowego odbywa się na podstawie obliczeń statystycznych i zawsze obarczone jest pewnym błędem, wynikającym z niejednoznaczności interpretacji przybliżanego kształtu na podstawie punktów pomiarowych. Ten błąd zależy naturalnie od liczby zebranych punktów pomiarowych, względem których przybliżany jest dany kształt, lecz również od nieregularności rzeczywistego kształtu (np. rzeczywisty przekrój powinien być kołowy, a jest owalny z powodu odkształcenia plastycznego lub błędu wykonania). W celu dopasowania elementów geometrycznych stosowano metodę Gaussa, która jest standardowa przy pomiarach numerycznych (np. przy użyciu współrzędnościowych maszyn pomiarowych).

Oprogramowanie 'GOM Inspect' umożliwia **zdefiniowanie kompletnego szablonu pomiarowego zawierającego niezbędne reguły umożliwiające odpowiednie bazowanie geometrii rzeczywistego obiektu względem nominalnego modelu, określenie rzeczywistych odchyłek oraz obliczenie odchyłek wymiarów tolerowanych.**

Wyniki zestawiane są w formie graficznej i tabelarycznej w raporcie generowanym automatycznie na podstawie odpowiednio zdefiniowanego szablonu. Tego rodzaju szablon wykorzystywany jest wielokrotnie dla każdego kolejno skanowanego egzemplarza, co umożliwia łatwe wykonanie całej serii pomiarów.

Przeprowadzone pomiary wykazały, że **wymiary podlegające standardowej kontroli są w większości zachowane**. Także promienie łuków odnoszące się do profilu łapki mieściły się w dopuszczalnym polu tolerancji.

Nie zgodne były natomiast promienie łuków występujących w obszarze czołowym łapek, których kształt został w pewnym stopniu uproszczony względem geometrii określonej w dokumentacji technicznej. Charakter i wielkość tych niezgodności pozwalają przypuszczać, iż nie są one przypadkowe, lecz wynikają z celowych zmian producenta, polegających na uproszczeniu konstrukcji z przyczyn technologicznych.



WAŻNE

Stwierdzona niezgodność geometryczna, polegająca na uproszczeniu łuków w obszarze czołowym łapki aż do likwidacji dwóch punktów przegięcia na styku łuków, może mieć wpływ na usztywnienie lub zmniejszenie sprężystości rzeczywistej struktury łapki względem założeń konstrukcyjnych.

Studium przypadku 4.

Projektujemy stół pod ciężką wiertarkę

Starą dobrą polską **wiertarkę WS-15** można wciąż kupić z ogłoszenia za ok. 1500–2500 zł. Trafiają się egzemplarze w różnym stanie technicznym, dlatego przed zakupem takiej maszyny warto ją dokładnie sprawdzić. W przypadku remontu, wciąż można jednak nabyć większość części pochodzących z rozbiórki, a nawet nowe, które przeleżały wiele lat jako zapasowe w magazynach zakładów produkcyjnych. Ciekawe, że te wiertarki były produkowane w Polsce od lat pięćdziesiątych jako projekt szkół zasadniczych. Uczniowie szkół montowali je na zajęciach warsztatowych, ucząc się przy okazji praktycznej budowy maszyn. Często stanowiły wyposażenie zakładów produkcyjnych, gdzie wiele z nich pracuje do dziś. Taka wiertarka waży w sumie ok. 115 kg.



Stół pod taką wiertarkę powinien być solidny i stabilny. Z tego względu jego nogi powinny być pochylone w poprzek na kształt trapezu. Akurat w garażu leżą takie grube kawałki rur 2½ cala z jakiegoś starego trzepaka. Zastosowanie ich do takiej konstrukcji z pewnością

będzie przewymiarowane, ale za to nie trzeba kupować nowego materiału, co w tym przypadku obniży koszty. **Stosując nadmiarowe przekroje profili, można pominąć obliczenia wytrzymałościowe**, bo wszelkie kryteria z pewnością będą spełnione.



UWAGA

**Nadmiarowość w takich przypadkach ma jeszcze jeden ważny aspekt – sprzyja zapewnieniu niezbędnej sztywności konstrukcji, choć nie jest to jedyny warunek. Równie ważne jest umieszczenie odpowiednich odкосów lub poprzeczek, które w głównych węzłach konstrukcji reduko-
wałyby momenty skręcające od sił bocznych.**

4.1. Rysowanie szkicu konstrukcji ramowej

Projekt został wykonany w programie Solid Edge w środowisku ‘Złożenie (ISO metryczne)’. To środowisko także wyposażone jest w narzędzia do rysowania, niezbędne do wykonania odpowiednich szkiców konstruowanej ramy.

W przypadku konstrukcji ramowej, wygodnie jest posłużyć się narzędziem do rysowania przestrzennego – tzw. ‘Szkic 3D’. Zasady są te same co przy rysowaniu szkiców płaskich, jednak w przestrzeni trudniej jest przewidzieć i zadać odpowiednie relacje tak, aby szkic umożliwiał łatwą edycję, dopasowując się do zmieniających wartości wymiarów sterujących. Jest to jednak niezbędne, ponieważ rozpoczynając projekt należy liczyć się z jego wielokrotną modyfikacją. Jeśli takie skonstruowanie szkicu 3D sprawiałoby problemy, nic nie stoi na przeszkodzie, aby zastąpić go kilkoma szkicami płaskimi, które także można powiązać odpowiednimi relacjami.

Założono, że podstawa stołu będzie miała obrys kwadratu, natomiast szerokość blatu będzie dopasowana do szerokości

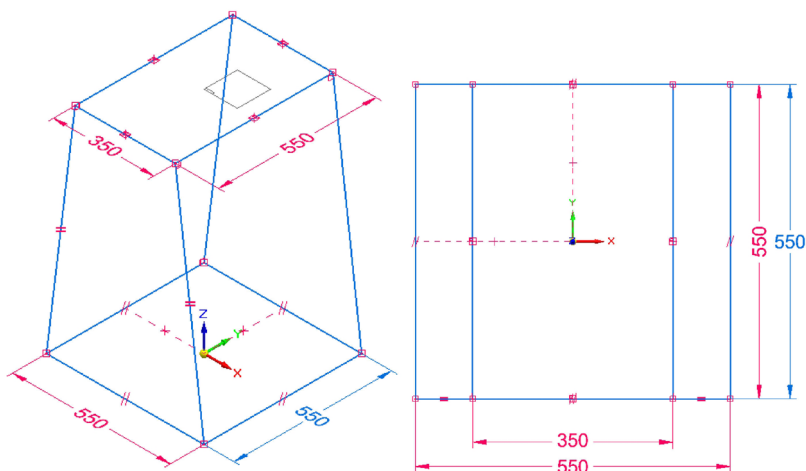
podstawy wiertarki. Przy użyciu narzędzia 'Szkic 3D', w pierwszej kolejności zostały wykonane dwa prostokąty, które odpowiadały zarysowi podłogi i blatu. Wykonano je na równoległych płaszczyznach, oddległych od siebie o wysokość stolika.



WAŻNE

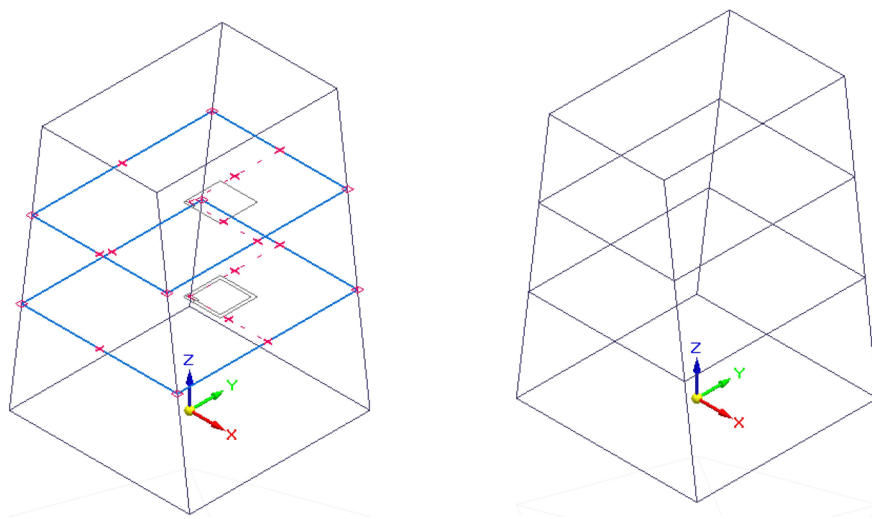
Elementy szkicu powiązano odpowiednimi relacjami z początkiem układu współrzędnych oraz ze sobą nawzajem.

Edycja wymiarów sterujących spowoduje symetryczne dopasowanie się obu szkiców do siebie względem początku układu współrzędnych.



Następnie połączono naroża prostokątów skośnymi odcinkami odpowiadającym nogom.

Dodano dwie płaszczyzny odpowiadające półkom stolika, na których narysowano zwykłe płaskie szkice, łącząc je relacjami z punktami, w których nogi przebijają daną płaszczyznę.



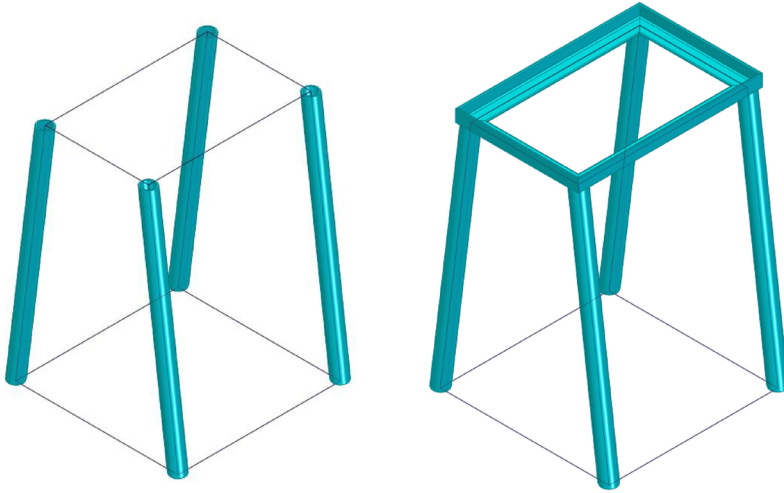
W ten sposób otrzymano trójwymiarowy szkic, który sam dostosowuje się do ewentualnych modyfikacji głównych wymiarów stołu.

4.2. Zadawanie profili i obróbka połączeń

Gdy szkic już jest gotowy, należy przejść do narzędzia **'Rama'**, dostępnego w tym samym środowisku **'Złożenie (ISO metryczne)'**. Każde użycie tego narzędzia tworzy kolejny komponent ramy w głównym oknie środowiska złożenia. Z tego względu warto przyjąć zasadę, że wszystkie elementy o tym samym profilu zadawane są w jednej operacji.

Najpierw **zadano profile odcinkom odpowiadającym nogom stołu**. Profil rurowy, który odpowiadał średnicy znalezionej w gąrażu materiału, jest standardowy, dlatego jego model w postaci pliku *.par już się znajdował w odpowiednim folderze programu Solid Edge:

'\Frames\ANS\Round Tubing\Round Tubing 1 1/2x.145.par'



Następnie dobrano profil odcinków, które mają stanowić **ramę blatu**. Najlepszym rozwiązaniem okazał się kątownik o szerokości zdolnej zaślepić otwarte lica rur stanowiących nogi oraz o wysokości odpowiedniej do grubości blatu, który będzie wykonany z drewnianych listew.

Tym razem również został użyty model standardowego profilu dostępny w programie Solid Edge:

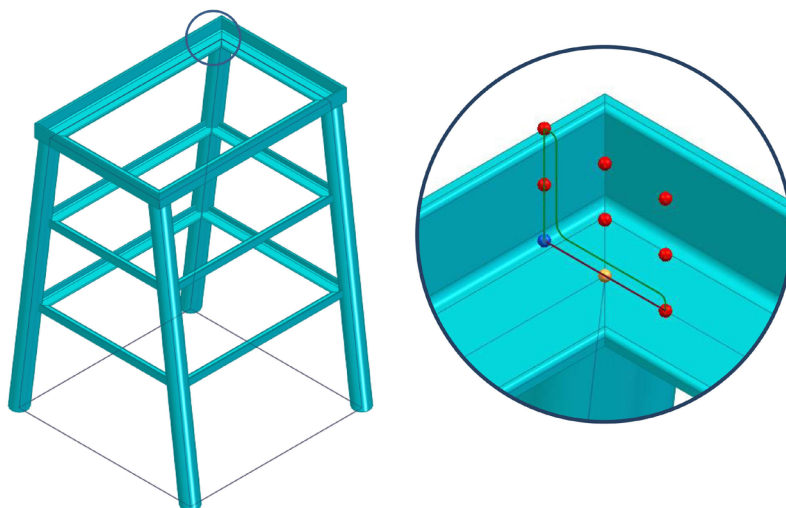
`'\Frames\DIN\Angle\Angle 50x40x5.par'`

Natomiast **ramy dwóch półek na podręczne narzędzia** zostały zaprojektowane z cieńszego kątownika:

`'\Frames\DIN\Angle\Angle 30x20x3.par'`

Półki będą wykonane ze sklejki, natomiast ich ramy będą pełniły rolę usztywniającą całą konstrukcję.

Główna konstrukcja ramy została przedstawiona na poniższym rysunku. Zadając kolejne profile odcinkom ramy, należy oczywiście dobrać odpowiedni sposób wyrównania względem ścieżki określonej szkicem. W przypadku profilu rurowego, naturalnie ścieżka pokrywa się z osią. Natomiast w przypadku kątowników możliwości może być więcej, co przedstawia kolejny rysunek.



Jednocześnie należy określić sposób zakończenia, wynikający np. z **obróbki naroży**. W przypadku ram o kształcie prostokąta jest to zwykle ścięcie pod kątem 45° . W razie potrzeby końce można przyciąć w środowisku ramy do wybranych lic innych elementów. Na przykład naroża półki mogłyby być przycięte powierzchnią walcową nóg stołu, jednak w tym przypadku nie udało się otrzymać prawidłowego rozwiązania takiej operacji przy założonej obróbce naroży przez ścięcia ukośne.

Wykonanie operacji ‘Przytnij’ podczas edycji wybranego końca odcinka ramy, powodowało wymuszenie doczołowej obróbki naroża. W sumie rozwiązanie tego szczegółu nie było zbyt istotne, ponieważ podczas wykonywania ram półek, po zesparowaniu jej zukosowanych odcinków, w łatwy sposób można wyznaczyć ćwiartki okręgów, wzdłuż których należy przyciąć naroża, aby uzyskać odpowiednie li-cowanie z nogami stołu. Teoretycznie, kontur ten jest eliptyczny, ale na krótkim odcinku niewiele różni się od łuku kołowego.

4.3. Modelowanie detali i generowanie wykazu części

W kontekście złożenia zostały wykonane **okrągłe stopki stołu**. W podobny sposób zostało wykonane **wypełnienie dodatkowych półek**, które będzie wycięte ze sklejk. Natomiast **blat będzie wyko-**

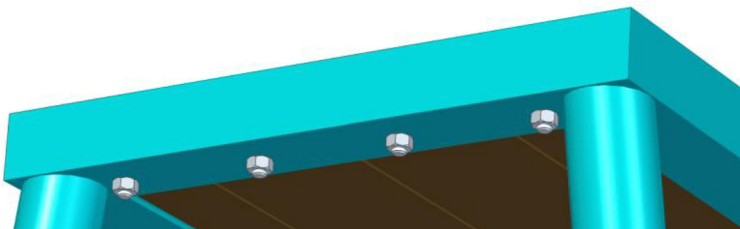
nany z jednakowych listew drewnianych, których mocowanie do ramy przewidziano przy użyciu śrub M8 z łbem kulistym.

W celu otrzymania optymalnego i równego rozmieszczenia, elementy te także zostały zamodelowane w projekcie. W środowisku 'Złożenie (ISO metryczne)' także można wykonywać niektóre operacje bryłowe, do których zalicza się wykonywanie otworów.

Ma to szczególne znaczenie w konstrukcjach ramowych, które nie powstają w środowisku części i nie są modyfikowane w typowy dla modelowania bryłowego sposób. W środowisku złożenia można posłużyć się także szykiem z operacji w złożeniach, co wydało się najlepszym rozwiązaniem do wykonania za jednym razem serii wszystkich otworów śrub do montażu blatu.



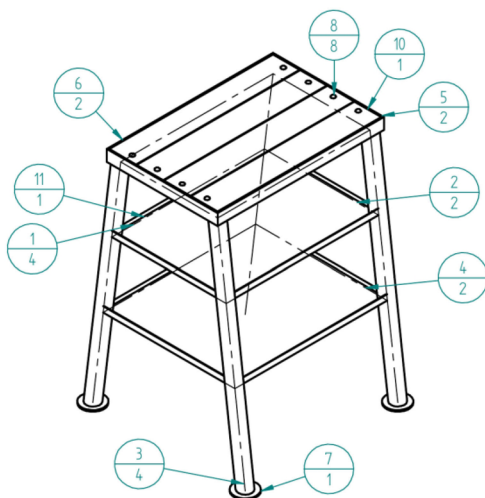
Korzystając z **definicji utworzonego szyku**, wstawiono w **otwory śruby**. Natomiast widok od spodu wystarczy do upewnienia się, że położenie śrub nie powoduje żadnej kolizji i całość będzie fizycznie możliwa do zmontowania.



Wykonano także **realistyczną wizualizację kompletnego złożenia stołu w wirtualnej przestrzeni bliżej nieokreślonego warsztatu**. W tym celu użyto skojarzonej z oprogramowaniem ‘Solid Edge’ aplikacji ‘KeyShot’. Na stole znajduje się zgrubnie zamodelowana podstawa wiertarki w celu weryfikacji, że będzie ona dobrze pasować do rozmiarów blatu i proporcje stołu będą odpowiednie. Efekty pracy prezentuje poniższa „fotografia”.



Do projektu niemal automatycznie można wygenerować dokumentację rysunkową w środowisku ‘Rysunek (ISO metryczny)’. Rysunki mogą zawierać rzuty, przekroje itp., a także listę składowych elementów. W przypadku tego prostego projektu, wykonywanie dodatkowych rysunków części byłoby zbędne (może z wyjątkiem dwóch kątowników z wykonaną serią otworów). Wygenerowano zatem rysunek aksonometryczny z tabelą części. W etykietach elementów na rysunku złożeniowym, w górnym wierszu podany jest numer elementu, a pod kreską liczba elementów o tym numerze.



Numer elementu	Nazwa pliku (bez rozszerzenia)	Ilość	Długość [mm]
1	Angle 30x20x3	4	550
2	Angle 30x20x3	2	412
3	Round Tubing 1 1/2x145	4	807
4	Angle 30x20x3	2	475
5	Angle 50x40x5	2	400
6	Angle 50x40x5	2	600
7	Stopka	1	
8	Sruba	8	
9*	Nakrętka	8	

Otrzymanie takiego rysunku jak powyższy, wymaga kilku dodatkowych zabiegów. Domyślną czcionką Solid Edge jest ‘Solid Edge ISO’, która nie obsługuje polskich znaków diakrytycznych. Należy zatem zastąpić ją czcionką ‘Solid Edge ISO Unicode’. Odpowiednie ustawienia należy zadać w ‘Stylach’ dla poszczególnych elementów tekstowych, a czasem bezpośrednio we właściwościach niektórych obiektów (jak komórki tabel).

Kolejnym dodatkiem jest kolumna ‘Długość’, która nie jest domyślnie powiązana z tabelą. Aby dołączyć tę kolumnę, należy edytować ustawienia tabeli i w zakładce ‘Dane’ utworzyć nową kolumnę i wprowadzić w jej polu o nazwie ‘Tekst’ wartość ‘%{Długość odcinka/@0/NU|G}’.

Całkowitą długość potrzebnego materiału danego typu można łatwo obliczyć sumując długości odpowiednich elementów.



WAŻNE

Podsumowując cały projekt, jego wykonanie wymagało zaledwie paru godzin pracy i to w przypadku, gdy było to pierwsze praktyczne zadanie, polegające na konstruowaniu ramy w Solid Edge. Otrzymano łatwe w modyfikacji rozwiązanie.

Choć przycięcie rur i kątowników na zadany wymiar nie jest problemem, to już wyobrażenie sobie w szczegółach nawet tak prostej konstrukcji nie jest łatwym zadaniem. Polegając tylko na swojej intuicji i odręcznych, na szybko rysowanych szkicach, mogłoby się okazać, że zbudowana na tej podstawie rzeczywista konstrukcja jest na przykład nieproporcjonalna i niezbyt estetyczna. Łatwo pomylić się w wymiarach, albo po prostu nie wszystko wystarczająco przemyśleć, jak na przykład sposób licowania zbiegających się w jednym narożu trzech odcinków o dwóch różnych profilach. W celu obliczenia długości odcinków pótek w płaszczyźnie trapezu musielibyśmy korzystać z funkcji kąta lub twierdzenia Talesa.

Tymczasem, **praca w programie CAD wymusza wręcz doprecyzowanie wszystkich szczegółów, których rozwiązania na bieżąco są wizualizowane.** Opracowany projekt znacznie ułatwia realizację fizyczną, nawet jeśli ta będzie dość odległa w czasie. W tym przypadku od jego utworzenia minęły 2 lata, a po jego otwarciu bardzo szybko można odtworzyć sobie w szczegółach już nieco zapomnianą koncepcję rozwiązania.



WAŻNE

Ogromną zaletą projektu CAD jest to, że nawet gdy nie będziemy z różnych przyczyn w stanie samodzielnie wykonać rzeczywistego obiektu, można na jego podstawie zlecić wykonanie całości lub pewnych trudniejszych fragmentów.

Studium przypadku 5.

Czego unikać w zadaniach inżynierii odwrotnej

Inżynieria odwrotna niekoniecznie jest procesem, który wykorzystuje nowoczesne technologie, jakimi są skanery 3D lub drukarki 3D. Tego rodzaju wynalazki znacznie zwiększyły jednak możliwości zadań odtwórczych.



WAŻNE

Inżynieria odwrotna w skrócie polega na zawróceniu istniejącego obiektu do wcześniejszej fazy – projektowania wraz z kolejnymi – konstruowanie, prototypowanie, testowanie, produkcja.

Projekt jakiegoś obiektu jest zatem odtwarzany lub wykonywany na podstawie rzeczywistego egzemplarza, który też w jakiś sposób musiał być zaprojektowany i wyprodukowany.

Inżynieria odwrotna może mieć także różne cele, jak na przykład szpiegostwo technologiczne, produkcja podróbek, odtwarzanie zużytych części zabytkowych pojazdów, modernizacja produkcji elementów opracowanych klasycznymi metodami itp.

W przemyśle często spotykana jest sytuacja, że producent zleca część zadań podwykonawcom, którzy opracowują niektóre części i je wytwarzają. Zwykle **zleceniodawca ma wszelkie prawa nie tylko do gotowej części, ale także do jej projektu**. To jednak w przypadku wieloletnich kontraktów bywa zaniedbywane, a producent chcąc zmienić podwykonawcę musi projektować dany element od nowa.

Zdarza się także, że **produkcja jakiegoś przedmiotu trwa od wielu lat** i dopiero, gdy zużyją się narzędzia np. formy produkcyjne lub zajdzie potrzeba modernizacji produktu, jego bryłowy model CAD i dokumentacja projektowa już nie istnieją lub zostały zgubione. Te przykłady określają przestrzeń różnych zastosowań inżynierii odwrotnej.

Jednak najbardziej atrakcyjne w tej dziedzinie są właśnie nowoczesne technologie. Popularnonaukowe media przedstawiają je jako łatwy sposób rozwiązywania wielu problemów technicznych. Rzeczywistość jest jednak inna.

Nowoczesne technologie charakteryzują się dynamicznym rozwojem, a to oznacza, że stosowane w nich urządzenia są drogie i szybko się starzeją. Aktualne wersje ponadto są często niedopracowane, bo nie mają tak ugruntowanej i przebadanej formy jak np. obrabiarki lub nie są tak powszechnie stosowane i testowane jak np. komputerowe systemy operacyjne i popularne aplikacje użytkowe. Obsługa nowoczesnych urządzeń to często udręka, polegająca na rozwiązywaniu nieprzewidywalnych sytuacji problemowych.

Nawet we współpracy z przedsiębiorcami, często zdarza się, że usługodawca ma mylne pojęcie o zakresie stosowalności metod, polegających na nowoczesnych technologiach. Zwykle zaskoczeniem bywają **wyższe koszty usługi związane z amortyzacją drogiego sprzętu**. Powszechnie niska jest również świadomość znacznego nakładu pracy wymaganego do realizacji zadania, szczególnie w jednostkowych ilościach.

Dla przykładu skanowanie 3D. Wydaje się często, że zadanie polega na umieszczeniu skanowanego detalu w polu widzenia skanera, kilkakrotnej zmianie pozycji i generowaniu numerycznego modelu w skojarzonym oprogramowaniu. Rzeczywiście, przy odrobinie wprawy, proces skanowania można przyspieszyć. Łatwiej dobiera się odpowiednie pozycje detalu, związane z kątem ekspozycji poszczególnych lic, parametry ekspozycji zapewniające najlepsze efekty skanowania i szybciej dokonuje się obróbki chmury punktów lub siatki trójkątów.

Ale ku zaskoczeniu wielu potencjalnych kontrahentów **otrzymany model numeryczny nie jest modelem CAD**, do którego tworzenia i edycji są przyzwyczajeni w oprogramowaniu, którego używają.

Jest to siatka trójkątów – zbiór wektorów, który co najwyżej można swobodnie kształtować w takich programach do grafiki komputerowej 3D jak Blender.



WAŻNE

Utworzenie edytowalnego, nominalnego modelu CAD jest dopiero kolejnym zadaniem, które wykonuje się rysując szkice i zadając kolejne operacje bryłowe lub powierzchniowe – zupełnie tak samo, jak w przypadku projektowania w oprogramowaniu CAD.

Oprogramowanie do inżynierii odwrotnej umożliwia pracę na „podkładce”, jaką jest siatka trójkątów odwzorowująca rzeczywisty, skanowany obiekt.

Inne przypadki błędnego wyobrażenia o nowej technologii mogą wynikać z **nieświadomości zakresu jej stosowalności**. Zwykle nie ma sensu stosować tego rodzaju technologii do problemów łatwo rozwiązywalnych klasycznymi sposobami. Tego właśnie dotyczy opisany niżej przykład.

Pewne przedsiębiorstwo, **disponujące profesjonalnym skanerem 3D, chciało nawiązać szerszą współpracę** z innym, większym przedsiębiorstwem, które takiego urządzenia nie posiadało. Kierownik tego pierwszego chciał zaimponować właśnie nową technologią i zaproponował pilotażową realizację jakiegoś zadania z zakresu inżynierii odwrotnej. Kontrahent dostarczył jako obiekt do odtworzenia stalowy przewód stosowany w hydraulice siłowej o długości prawie dwóch metrów, gięty pod ostrymi kątami w trzech płaszczyznach.

Skanowanie takiego przewodu, zwanego dalej rurką, naturalnie mija się z celem. Obiekt nie musiał przecież charakteryzować się dokładnym odwzorowaniem, bo stalowe przewody hydrauliczne są na tyle elastyczne, że gięte odcinki z powodzeniem pozwalają przy tej długości na kompensację rzędu nawet centymetra. Do odtworzenia

urki wystarczyłoby zmierzyć długości prostych odcinków i kąty między płaszczyznami. W ostateczności można posłużyć się arkuszem tektury do odrysowania odcinków giętych w tej samej płaszczyźnie i określenia promienia łuków.

Zadanie jednak musiało być zrealizowane za wszelką cenę przy użyciu skanera 3D, bo wagą był prestiż przedsiębiorstwa.

Do wykonania pomiaru użyto zatem **skanera 3D Polymetric PT-M1600**, wyposażonego w stół obrotowy, umożliwiający przeprowadzenie skanowania obiektu w automatycznych sekwencjach. Użycie tego rodzaju udogodnienia nie było początkowo przewidziane z powodu braku możliwości stabilnego zamocowania w pozycji pionowej obiektu, którym jest długi, cienki i gięty przewód hydrauliczny.



Do zmatowienia powierzchni obiektu o metalicznym połysku użyto specjalnego proszku antyrefleksyjnego w sprayu, który w trakcie tej niezbyt wymagającej realizacji zastąpiono lakierem w sprayu o jasnym, matowym kolorze.

5.1. Wstępna analiza zadania

Dostarczony stalowy przewód hydrauliki siłowej określał najtrudniejszy przypadek, aby otrzymane rozwiązanie uwzględniło wszystkie możliwe do napotkania przeszkody. W tym celu wybrano przewód o największej długości (ok. 180 cm) i najbardziej złożonym kształcie (gięcia wykonane w kilku płaszczyznach).



Z punktu widzenia **procesu skanowania 3D, cienkościenny, długi i gięty w kilku płaszczyznach stalowy przewód hydrauliczny charakteryzuje się wyjątkowo niekorzystnymi właściwościami**. Mała powierzchnia i osiowa symetria odcinka powodują trudności w składaniu modelu z oddzielnych skanów. Wielopłaszczyznowe gięcia i znaczna długość sprawiają, że możliwe jest ustawienie przedmiotu w niewielu stabilnych położeniach i tylko w pozycji leżącej. Dodatkowo duża sprężystość i cienka ścianka powodują trudności przy próbie utwierdzenia obiektu w innej niż leżąca pozycji. Optymalne do skanowania obiekty charakteryzują się zwartą budową, nawet jeśli ich geometria jest dużo bardziej złożona.

Przewidywany w ramach projektu zakres pracy obejmował:

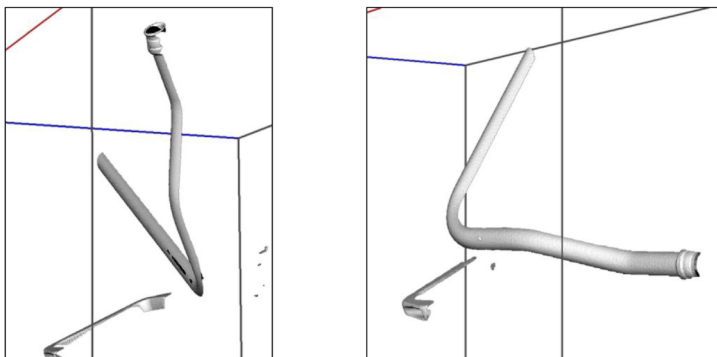
- przygotowanie fragmentu obiektu przez pokrycie proszkiem antyrefleksyjnym,
- wykonanie kilku oddzielnych skanów fragmentu obiektu i sprawdzenie możliwości ich łączenia w oprogramowaniu skanera,
- kalibrację skanera do największej możliwej przestrzeni pomiarowej, aby zredukować liczbę koniecznych do połączenia slajdów,
- przygotowanie całego obiektu przez pokrycie proszkiem antyrefleksyjnym i wykonanie docelowej, całościowej liczby slajdów,
- składanie otrzymanych slajdów w kompletny model opisany chmurą punktów,
- wykorzystanie oprogramowania Geomagic Design X do utworzenia edytowalnego modelu CAD,
- oszacowanie pracochłonności proponowanej metody.

Po wstępnej analizie stwierdzono, że **wykonanie zadania metodą skanowania 3D nie jest zasadne ze względu na zbyt duży nakład pracy**, w porównaniu z możliwością osiągnięcia zbliżonego efektu na podstawie bezpośrednich pomiarów obiektu i wykonania modelu komputerowego z użyciem klasycznego oprogramowania CAD.

5.2. Próba wykonania skanu przez składanie par slajdów

Zgodnie z założonym zakresem prac, przewód hydrauliczny został miejscowo **zmatowiony przy użyciu proszku antyrefleksyjnego**, po czym podjęto próbę utworzenia chmury punktów wybranego fragmentu przewodu przez składanie oddzielnych slajdów w oprogramowaniu skanera. **Docelowy skan w postaci dookólnej chmury punktów wybranego fragmentu, miał zostać złożony z pojedynczych slajdów wykonanych po obwodzie rury.**

Oprogramowanie skanera umożliwiało łączenie slajdów tylko na tzw. punkty charakterystyczne. Odbywa się to przez wskazanie co najmniej trzech tych samych, niewspółliniowych punktów geometrii w każdej parze składanych slajdów.



Przewidziana przez producenta metoda okazała się niewykonalna z kilku powodów:

- Kształt przewodu jest regularny, osiowosymetryczny i nie posiada charakterystycznych punktów geometrycznych, możliwych do

jednoznacznego wskazania. W takim przypadku konieczne jest dodanie elementów referencyjnych o wyraźnym kształcie, aby na podstawie ich położenia dokonać połączenia wymaganych fragmentów. Mała średnica przewodu utrudnia umieszczenie dodatkowych elementów, dlatego w zmatowionej powierzchni wykonałem niewielkie zarysowania o różnych kształtach, które miały umożliwić identyfikację kilku wymaganych punktów.

- Z powodu kształtu przewodu giętego w kilku płaszczyznach, pozycjonowanie tego obiektu było bardzo kłopotliwe i musiało sprowadzić się do ustawienia w kilku stabilnych, leżących położeniach. W związku z tym, sąsiednie slajdy musiały być obrócone względem siebie o kąty rzędu kilkudziesięciu stopni. Wskazanie trzech tych samych, niewspółliniowych punktów na sąsiednich slajdach było w większości niemożliwe, ponieważ te punkty nie mogły być jednocześnie widoczne.
- W tych przypadkach, w których było możliwe wskazanie trzech wytypowanych punktów w obu slajdach, połączona chmura punktów była nieznacznie powiększona o nowe dane geometryczne, ponieważ łączone slajdy musiały być do siebie bardzo podobne.

W efekcie, udało się połączyć trzy slajdy w czasie przekraczającym trzy godziny. Biorąc pod uwagę, że kompletny model obiektu składałby się z kilkudziesięciu skanów i praca nad nim musiałaby wynieść kilkadziesiąt godzin. Na podstawie przeprowadzonych prób stwierdzono, że **realizacja zadania metodą ręcznego łączenia skanów na podstawie wskazywania charakterystycznych punktów jest w tym przypadku nieefektywna**, pracochłonna i nieracjonalna.

5.3. Mocowanie przewodu do stolika obrotowego

Rozwiązaniem stwierdzonych problemów z łączeniem skanów, mogło być użycie stolika obrotowego. Istotny problem jednak wiązał się ze sposobem mocowania rurki do stołu obrotowego w pozycji pionowej. Przyjęcie takiej pozycji było konieczne, bo w przeciwnym przypadku obracający się długi przewód wykraczałby poza granice przestrzeni pomiarowej, uniemożliwiając połączenie serii skanów ze sobą. Pomysły z wykorzystaniem gotowych statywów lekkich, jakie można spotkać w gospodarstwie domowym, nie

przyniosły efektów. Tego rodzaju konstrukcje nie zapewniałyby łatwości zmiany położenia przewodu oraz stabilności nawet w warunkach statycznych.

Kolejnym pomysłem było **wykorzystanie imadła dla stabilnego zamocowania cienkościennej rury**, czego oczywiście nie można zrobić bezpośrednio, nie powodując jej uszkodzenia. W związku z tym konieczne było **zastosowanie dodatkowego mocowania, które składało się ze sztywnego metalowego pręta, gumowych tulejek i opasek zaciskowych**.



Takie rozwiązanie zapewniło jednocześnie **wymaganą stabilność przez nisko położony środek ciężkości, pewność połączenia przez ścisk pręta w imadle i nieinwazyjne połączenie ze skanowanym przewodem**.

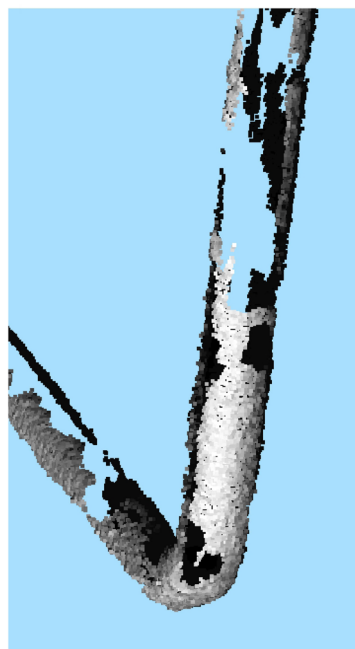
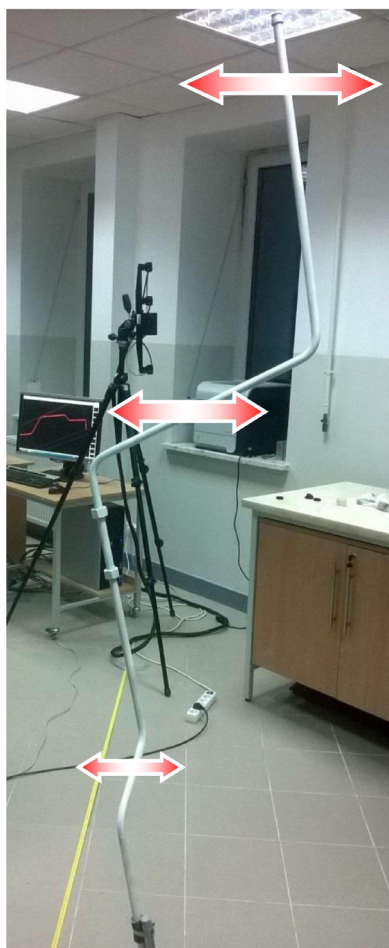
Dodatkowo **umożliwiało ustawienie pozycji obiektu przez zmianę kąta nachylenia pręta** utwierdzonego w szczękach imadła.

5.4. Próba skanowania z użyciem stolika obrotowego

Wykorzystanie stolika umożliwia częściową automatyzację procesu skanowania, który odbywa się w kolejnych sekwencjach po jego obrocie o zadany kąt. Poszczególne slajdy są wówczas au-

tomatycznie łączone w jeden klaster. Jeśli przyrost kąta i liczba slajdów zostały dobrane tak, że w sumie zostanie wykonany pełny obrót, **otrzymany skan jest chmurą punktów określoną wokół pionowej osi stolika obrotowego**. Opisanym sposobem przeprowadzono próbę skanowania fragmentu przewodu hydraulicznego, zamocowanego w pionowym położeniu na stoliku obrotowym.

Mimo że mocowanie okazało się wystarczająco stabilne, **jedno-punktowe utwierdzenie przewodu w jednym z jego końców powodowało podatność na drgania**, wywołane zmianami położenia stolika podczas przejścia do kolejnych etapów skanowania. Zjawisko zostało przedstawione na poniższej fotografii w formie strzałek, odpowiadających wektorom drgań.



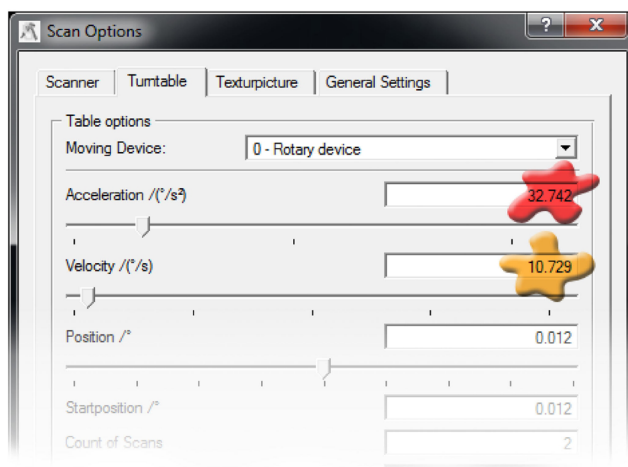
Łatwość, z jaką utwierdzony długi, stalowy przewód hydrauliczny wpada w oscylacje wynika także z jego niekorzystnych proporcji geometrycznych, w tym cienkościenności oraz z dużej sprężystości materiału. Na kolejnym rysunku przedstawiono efekt skanowania tego oscylującego obiektu, czyli rozproszenie chmury punktów.

To **dyskwalifikuje ją do dalszej obróbki**, w tym do łączenia z innymi wyskanowanymi fragmentami. Stwierdzone rozwarstwienie było największe przy skanowaniu górnych części pionowo usytuowanego przewodu, ponieważ w tym miejscu występowały oscylacje o największej amplitudzie.

Nowsze oprogramowanie innych producentów skanerów jest w stanie automatycznie stwierdzić występowanie wstrząsów i odpowiednio zareagować, np. wydłużając czas skanowania lub redukując rozproszenie na podstawie obliczeń statystycznych. Wówczas jednak firma nie posiadała takiego systemu.

5.5. Próba rozwiązania problemu oscylacji przewodu podczas skanowania

Problem **wymuszania oscylacji przewodu podczas zmiany położenia stolika** nie ustępował, mimo ustawienia w oprogramowaniu minimalnych parametrów prędkości i przyspieszenia.

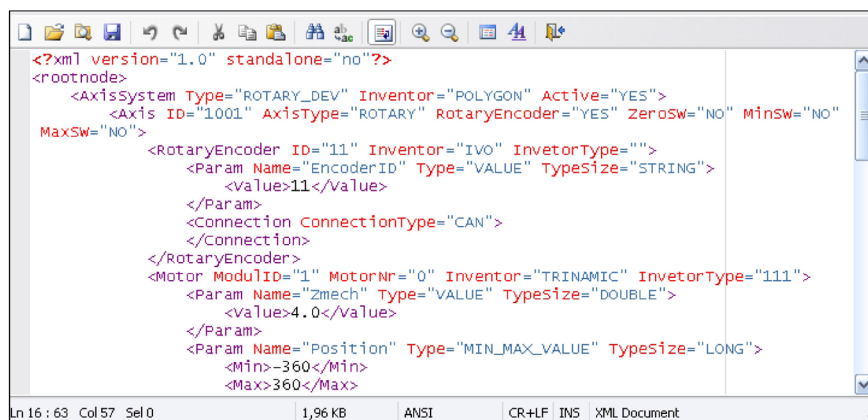


W celu znalezienia rozwiązania, nawiązano nawet korespondencję z niemieckim producentem skanera. Zapytano o **możliwość**

ustawienia w oprogramowaniu zwłoki czasowej na ustabilizowanie się obiektu przed kolejnym skanem w sekwencji. W odpowiedzi stwierdzono, że oprogramowanie nie posiada takiej funkcji, ale pomysł jest bardzo dobry i zostanie ona zaimplementowana w kolejnej wersji.

Bezpośrednią przyczyną problemu były ograniczenia oprogramowania, uniemożliwiające zmniejszenie przyspieszeń stolika do poziomu niewywołującego oscylacji. Ostatecznie podjęto jeszcze jedną próbę rozwiązania problemu, polegającą **na odszukaniu w oprogramowaniu i edycji plików konfiguracyjnych z fabrycznymi nastawami urządzenia.** W związku z tym, że tego rodzaju parametry są przez producenta zamknięte dla użytkownika, ich modyfikacja odbywała się metodą „prób i błędów”.

Poniżej przedstawiono fragment listingu pliku zawierającego fabryczne ustawienia sterowników stolika.



```
<?xml version="1.0" standalone="no"?>
<rootnode>
  <AxisSystem Type="ROTARY_DEV" Inventor="POLYGON" Active="YES">
    <Axis ID="1001" AxisType="ROTARY" RotaryEncoder="YES" ZeroSw="NO" MinSw="NO"
MaxSw="NO">
      <RotaryEncoder ID="11" Inventor="IVO" InvetorType="">
        <Param Name="EncoderID" Type="VALUE" TypeSize="STRING">
          <value>11</value>
        </Param>
        <Connection ConnectionType="CAN">
        </Connection>
      </RotaryEncoder>
      <Motor ModulID="1" MotorNr="0" Inventor="TRINAMIC" InvetorType="111">
        <Param Name="zmech" Type="VALUE" TypeSize="DOUBLE">
          <value>4.0</value>
        </Param>
        <Param Name="Position" Type="MIN_MAX_VALUE" TypeSize="LONG">
          <Min>-360</Min>
          <Max>360</Max>
        </Param>
      </Motor>
    </Axis>
  </AxisSystem>
</rootnode>
```

Tym sposobem udało się określić odpowiednie wartości zmiennych, zapewniające zarówno **stabilną pracę, jak i małe przyspieszenia stolika, niepowodujące oscylacji utwierdzonego na nim obiektu.** Skutkiem ubocznym było wydłużenie czasu pozycjonowania stolika (automatycznego doprecyzowania położenia po wykonanym obrocie), co dodatkowo wydłużało czas na ustabilizowanie się utwierdzonego przewodu przed rozpoczęciem kolejnego skanowania. W związku ze znalezieniem skutecznego rozwiązania problemu, zasadne było przejście do kolejnego etapu, polegającego na **kalibrowaniu właściwej przestrzeni pomiarowej skanera.**

5.6. Kalibracja maksymalnej przestrzeni pomiarowej

W celu redukcji liczby niezbędnych łączy skanów na charakterystyczne punkty, założono, że zostanie skalibrowana największa możliwa przestrzeń pomiarowa. W takim przypadku redukcji ulega również dokładność pomiaru, która w przedmiotowym projekcie nie miała jednak dużego znaczenia.

Zmiana przestrzeni pomiarowej na większą miała miejsce dopiero na bieżącym etapie realizacji projektu, ponieważ w przypadku niepowodzenia poprzednio wykonanych czynności byłaby bezcelowa. Przewidywano także pewne trudności związane z wykonaniem tego rodzaju kalibracji.

Zasadniczy problem był związany z dysproporcją rozmiarów płyty kalibracyjnej (ok. 600 x 400 mm) a wymaganymi rozmiarami przestrzeni pomiarowej (co najmniej 1200 x 800 mm). W typowych zastosowaniach, płyta kalibracyjna ma wielkość docelowej przestrzeni pomiarowej. Kalibracja polega na regulacji optyki, ustawienia kamery i projektora skanera oraz na wykonaniu serii zdjęć w różnych ustawieniach płyty kalibracyjnej. Odległość płyty od skanera zmienia się w krokach co 10–15 cm, przy czym w każdym kroku konieczne jest wykonanie serii zdjęć kalibracyjnych w pięciu pozycjach płyty.



W bieżącym przypadku, **płyta kalibracyjna była czterokrotnie mniejsza od żądanej powierzchni przestrzeni pomiarowej, co przełożyło się na konieczność wykonania czterokrotnie większej liczby zdjęć kalibracyjnych.** Zostało wykonanych ponad 70 zdjęć kalibracyjnych, do czasu zawieszenia oprogramowania, spowodowanego ograniczoną ilością dostępnej pamięci RAM w systemie komputerowym. Proces kalibracji musiał zostać powtórzony pod warunkiem wykonania maksymalnie 70 zdjęć kalibracyjnych i czas wykonania tego etapu projektu zajął w sumie cały dzień roboczy.

Przewód miał być skanowany w pozycji pionowej, natomiast przestrzeń pomiarowa charakteryzuje się większą szerokością niż wysokością. Aby w tym przypadku zapewnić najlepsze wykorzystanie przestrzeni pomiarowej, głowica skanera została obrócona o 90° . Okazało się, że **w takiej pozycji pracy skanera prawidłowa kalibracja stolika obrotowego jest również możliwa.**

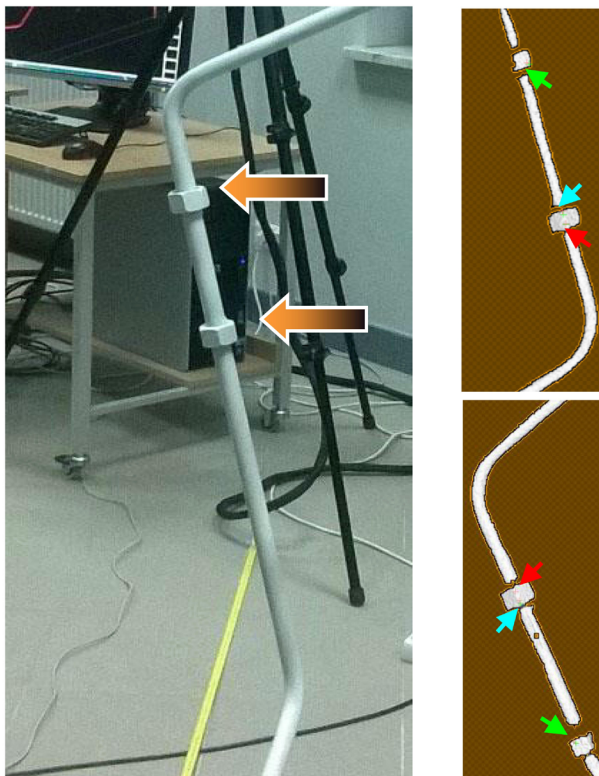


Tego rodzaju dostosowanie przestrzeni pomiarowej przez obrót głowicy skanera nie byłoby konieczne w przypadku, gdyby zintegrowane oprogramowanie umożliwiała łatwiejszy sposób łączenia skanów, na przykład przy użyciu markerów. W tym przypadku, **sposób łączenia na charakterystyczne punkty okazał się na tyle problematyczny**, iż zasadne było podjęcie opisanych wyżej kroków w celu zmniejszenia liczby przewidywanych do złożenia fragmentów.

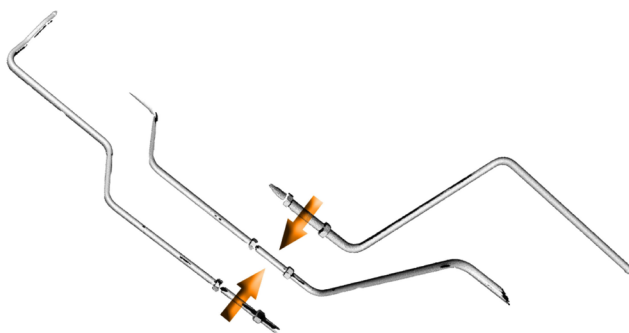
5.7. Właściwe skanowanie i składanie par kłastrów

Mimo wykonania poprzednich czynności, polegających na najlepszym dopasowaniu przestrzeni pomiarowej do skanowanego obiektu, **konieczne było wykonanie skanu przewodu hydraulicznego w trzech częściach, które musiały być następnie złożone w całość**. W przypadku regularnego obiektu, jakim jest okrągły przewód, konieczne jest **wtrącenie referencyjnych kształtów, zapewniających możliwość identyfikacji co najmniej trzech tych samych punktów w łączonych częściach**.

Do tego celu zostały **wykorzystane nakrętki**, znajdujące się na przewodzie, służące do mocowania króćców w gniazdach. Nakrętki zostały przesunięte do środkowej części przewodu i ustabilizowane na wcisk za pomocą taśmy klejącej. Następnie cały przewód został zmatowiony matowym lakierem w sprayu.

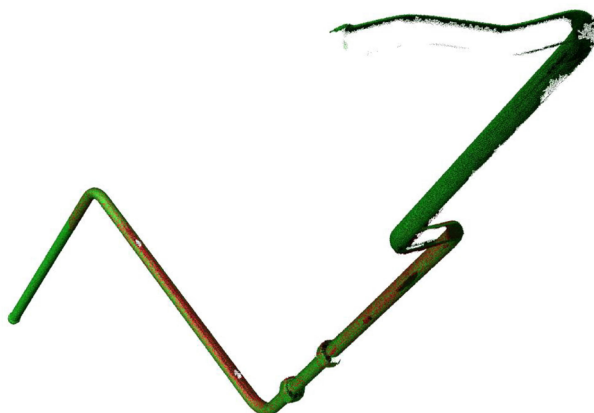


Przewód został wyskanowany w trzech częściach: „górnej”, środkowej i „dolnej”, co nastąpiło po przełożeniu mocowania na przeciwny koniec i odwróceniu przewodu. **Regularny kształt nakrętek utrudniał identyfikację tych samych krawędzi**, zwłaszcza że dwa przeciwległe klastry były względem siebie odwrócone.



Największym problemem tego etapu **była konieczność przewidywania sposobu łączenia skanów jeszcze przed rozpoczęciem skanowania**. Jeśli po wykonaniu skanowania okazałoby się, że możliwości wskazania z wystarczającą dokładnością odpowiednich punktów są niewystarczające, cały proces należałoby rozpocząć od nowa. W przypadku użycia funkcji łączenia skanów na markery, wystarczyłoby w razie potrzeby zwiększyć ich liczbę bez konieczności powtarzania skanowania.

Ostatecznie, po wykonaniu kilku prób, udało się właściwie połączyć skany, otrzymując chmurę punktów odwzorowującą cały obiekt.



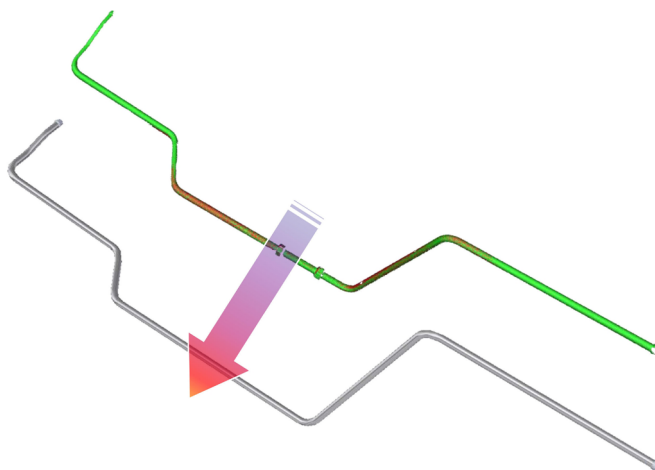
Otrzymana chmura punktów charakteryzuje się **stosunkowo małą gęstością**, co było spowodowane koniecznością kalibracji możliwie maksymalnej przestrzeni pomiarowej, powodując redukcję dostępnej rozdzielczości pomiarowej.

Najbardziej wybrakowanym fragmentem był jeden z końców rury, który podczas skanowania przemieszczał się w okolicy górnej granicy przestrzeni pomiarowej. Z powodu występujących braków i zbyt małej gęstości, otrzymana chmura punktów nie nadawałaby się do wykonania modelu powierzchniowego w postaci siatki trójkątów, co jednak nie było konieczne.

Do budowy modelu CAD w odpowiednim programie do inżynierii odwrotnej może posłużyć wybrakowany materiał cyfrowy, ponieważ przewidziane funkcje umożliwiają odtwarzanie nawet dużych braków, których kształt jest regularny. Jakość otrzymanej chmury punktów należy ocenić jako możliwie najlepszą do osiągnięcia w istniejących warunkach i z pewnością wystarczającą do dalszej obróbki w odpowiednim programie. Z punktu widzenia inżynierii odwrotnej, **najbardziej istotną cechą była zbieżność i małe rozproszenie punktów na powierzchni pojedynczych fragmentów** oraz wymagana ciągłość złożonej chmury punktów.

5.8. Utworzenie modelu CAD na podstawie otrzymanego skanu

Chmura punktów to tylko statystyczny zbiór niepowiązanych ze sobą danych geometrycznych. Odpowiednie oprogramowanie do inżynierii odwrotnej, np. 'Geomagic Design X' umożliwia wykorzystanie chmury punktów jako bazy do budowy bryłowego modelu CAD.



Model CAD powstał w wyniku wyciągnięcia przekroju okrągłego o średniej średnicy wzdłuż ścieżki obliczonej przez oprogramowanie na podstawie kształtu chmury punktów. Dokładność otrzymanego modelu była na tyle wysoka, że znacznie przekraczała potrzeby kontrahenta.

5.9. Wnioski po realizacji projektu i osiągnięte efekty

Okazało się, że **stalowy przewód hydrauliki siłowej, z powodu wyjątkowo niekorzystnych właściwości** (znaczna długość, niewielka średnica, wielopłaszczyznowe gięcia) **jest obiektem wyjątkowo trudnym do skanowania**. W trakcie realizacji dosłownie piętrzyły się kolejne problemy techniczne, jak na przykład mocowanie niestabilnego przewodu, kalibracja maksymalnie dużej przestrzeni pomiarowej przy użyciu stosunkowo niewielkiej płyty kalibracyjnej, utrudnione łączenie skanów dla obiektu pozbawionego charakterystycznych krawędzi.

Ostateczny zakres pracy uległ znacznemu rozszerzeniu w związku z podejmowaniem prób rozwiązywania nieprzewidywalnych na początku problemów. Rozszerzenie polegało przede wszystkim na **opracowaniu sposobu mocowania przewodu hydraulicznego w celu wykorzystania obrotowego stolika skanera oraz na roz-**

wiązywaniu problemów z oscylacjami tego przewodu, wywołanymi poprzez automatyczne zmiany położenia stolika w kolejnych sekwencjach skanowania.

Dotrzymanie komercyjnych, krótkich terminów wykonania usługi, jest możliwe tylko dla zadań rutynowych. Z tego względu racjonalne byłoby przerwanie projektu już po sformułowaniu wstępnych wniosków, wskazujących na dalsze trudności.

Technologią lepiej nadającą się do tego zadania jest skanowanie bez użycia stolika, ale z łączeniem slajdów na tzw. markery – referencyjne naklejki, których położenie jest monitorowane przez oprogramowanie, dzięki czemu proces jest w większości zautomatyzowany. Przewód hydrauliczny może być w ten sposób skanowany w pozycji leżącej, kolejno z obu stron. Posiadana wersja oprogramowania nie oferowała niestety tej funkcjonalności.

Kolejne spostrzeżenie dotyczy małej, w mojej opinii, gęstości otrzymanej chmury punktów na powierzchni skanowanego przewodu przy największej przestrzeni pomiarowej, jaką udało się osiągnąć. Otrzymane pojedyncze slajdy były „strzępkami” **chmury punktów, które łączyły się w akceptowalną formę tylko dzięki automatycznemu składaniu**, związanemu z wykorzystaniem stolika obrotowego. Przyczyną była mała rozdzielczość detektora wynosząca 2 MPx. W tym przypadku ograniczeniem dla większych przestrzeni pomiarowych jest także ograniczona moc projektora skanera, wynikająca z konstrukcyjnie zakładanej mobilności urządzenia.

Zadanie zostało zrealizowane dużym nakładem pracy, niewspółmiernie do bezpośrednio ocenianych efektów. Została jednak opracowana gotowa ścieżka technologiczna umożliwiająca skanowanie tego rodzaju trudnych do zamocowania obiektów.

Docelowe rozszerzenie projektu o kolejne wzory geometryczne stalowych przewodów hydrauliki siłowej, miałyby charakter jedynie czynności rutynowych. Skanowanie pozostałych wzorów z serii odbywałoby się już zgodnie z przygotowaną metodologią i mogłoby pod względem efektywności konkurować z metodą bezpośrednich pomiarów. Niestety, w tym przypadku okazało się to bezcelowe, ponieważ ze względu na długi czas realizacji tego pilota-

żowego projektu, potencjalny kontrahent rozwiązał zlecony problem we własnym zakresie, właśnie metodą tworzenia modelu CAD na bazie bezpośrednich pomiarów.

Rozwojowym efektem, bezpośrednio wynikającym z doświadczeń związanych ze zrealizowanym projektem, było pozyskanie funduszy i zakup nowszego skanera 3D o znacznie większych możliwościach. Jak wspomniano na wstępie, urządzenia bazujące na nowoczesnych technologiach ulegają szybkiemu starzeniu, co niewspółmiernie zwiększa koszty amortyzacji i wymusza konieczność jego ciągłej modernizacji.

Z recenzji:

Tematyka podręcznika jest zgodna z najnowszymi trendami w dziedzinie nauk technicznych i nowości produktowych występujących na rynku globalnym. Tymi trendami są modelowanie 3D oraz szybkie prototypowanie. Przykładem oprogramowania CAD jest program Solid Edge, służący do projektowania 3D i generowania dokumentacji technicznej projektowanych elementów lub złożeń.

Solid Edge jest używany zazwyczaj do projektowania maszyn, urządzeń i narzędzi produkcyjnych, projektowania konstrukcji stalowych, pojazdów, jednostek pływających i latających, artykułów gospodarstwa domowego, mebli i innych wyrobów. Korzystając z gotowego modelu konstrukcji, program błyskawicznie generuje dokumentację rysunkową, karty katalogowe, zestawienia materiałowe. Tworzy też wizualizacje i animacje projektów, dzięki czemu można kontrahentowi zaprezentować produkt jeszcze przed wyprodukowaniem pierwszego egzemplarza. Cechą wyróżniającą Solid Edge spośród innych systemów CAD jest mocno rozwinięte środowisko bezpośredniego modelowania parametrycznego (technologia Synchronous).

Autor bardzo szczegółowo opisuje w podręczniku Solid Edge – system CAD 3D z wysoko rozwiniętą funkcją Synchronous Technology, w tym teoretyczne zagadnienia związane z dziedziną komputerowego wspomagania projektowania oraz z praktycznymi możliwościami oprogramowania CAD. Uwzględnia także przykłady z obszarów pochodnych komputerowego wspomagania projektowania, jak zagadnienia inżynierii odwrotnej oraz kontroli jakości wymiarowej.

dr inż. Paweł Lonkwic

Wyższa Szkoła Ekonomii i Innowacji w Lublinie

20-209 Lublin, ul. Projektowa 4

tel.: +48 81 749 17 77

www.wsei.lublin.pl

ISBN – wersja elektroniczna: 978-83-66159-84-6

 **WSEI** LUBLIN
WYDAWNICTWO NAUKOWE
INNOVATIO PRESS