

Wydawnictwo Helion ul. Kościuszki 1c 44-100 Gliwice tel. 032 230 98 63 e-mail: helion@helion.pl



# SolidWorks 2006 w praktyce

Autor: Mirosław Babiuch ISBN: 83-246-0198-8 Format: B5, stron: 376

ion.nl



SolidWorks 2006 to aplikacja do modelowania 3D przeznaczona dla konstruktorów, oferująca uniwersalny zestaw narzędzi do modelowania powierzchniowego i bryłowego. Kolejne wersje tej aplikacji już tradycyjnie wytyczają nowe trendy wśród programów z tej grupy. Niezwykle intuicyjna obsługa programu, bazująca na znanych z systemu Windows mechanizmach "przeciągnij i upuść", pozwala nawet początkującym użytkownikom osiągnąć biegłość w ciągu kilku tygodni. Ogromna liczba narzędzi i modułów wspomagających sprawia, iż program ten doskonale wspomaga pracę projektanta. Wielką zaletą programu jest również możliwość wymiany plików z wieloma aplikacjami CAD/CAM/CAE, co umożliwia współpracę w ramach nawet największych zespołów projektowych.

Książka "SolidWorks 2006 w praktyce" to podręcznik dla początkujących użytkowników tej potężnej aplikacji. Przedstawia na przykładach zasady korzystania z SolidWorks 2006. Czytając ją, poznasz interfejs użytkownika i dostosujesz go do własnych potrzeb, a także nauczysz się wykorzystywać narzędzia do modelowania. Dowiesz się, w jaki sposób tworzyć części i złożenia, przeprowadzać analizy wytrzymałościowe metodą elementów skończonych za pomocą modułu CosmosXpress oraz jak ustrzec się błędów w projekcie, wykorzystując możliwość projektowania w przestrzeni. Dzięki zawartym w niej ćwiczeniom nauczysz się budować nawet najbardziej złożone konstrukcje.

- Konfigurowanie środowiska pracy
- Zarządzanie plikami danych
- Szkicowanie na płaszczyźnie oraz w przestrzeni
- · Wymiarowanie w dwóch i trzech wymiarach
- Tworzenie brył części oraz elementów powierzchniowych
- Przygotowanie modelu formy wtryskowej na podstawie szkicu koncepcyjnego
- Tworzenie złożeń części oraz projektowanie "na złożeniu"
- Symulacja rozpływu masy w formie wtryskowej
- Obliczenia wytrzymałościowe
- Renderowanie projektów
- Tworzenie dokumentacji technicznej

Wykorzystaj nowoczesne narzędzia wspomagające pracę konstruktora i twórz, skupiając się na projekcie, a nie na narzędziu do projektowania.

# Spis treści

	Wstęp	7
Rozdział 1.	Pierwsze kroki	9
	Uruchomienie programu	
	Nowy dokument	
	Środowisko pracy	
	Menu rozwijane	
	Paski narzędzi	
	Menedżer poleceń	
	Skróty klawiaturowe	
	Szybkie porady	
	Panele boczne	
	Kursor, mysz, menu podręczne	
	Pliki danych	
	Otwarcie pliku	
	Zapisanie projektu do pliku	
Rozdział 2.	Praca w dwóch wymiarach	
	Szkic	
	Szkic prosty a złożony	
	Rozpoczęcie szkicu	
	Płaszczyzny szkicu	
	Metody wskazania płaszczyzny szkicu	
	Zamknięcie szkicownika	
	Narzędzia szkicu	
	Linia	
	Wybierz	49
	Szybkie przyciąganie	
	Relacje	
	Prostokąt	
	Okrąg	77
	Łuk z punktu środka	
	Łuk styczny oraz Łuk trzypunktowy	
	Splajn	
	Wielobok	
	Parabola	
	Wymiary	
	Inteligentny wymiar	
	Wymiar pionowy/poziomy	
	Równania zależności pomiędzy wymiarami	

	Tekst	122
	Narzędzia do edycji szkicu	127
	Zaokrąglenie/Sfazowanie	127
	Odsuń elementy	130
	Przytnij elementy	133
	Wydłuż	137
	Podziel elementy	
	Linia z uskokiem	
	Lustro/Dynamiczne lustro	141
	Przenieś/Obróć/Skalui/Koniui	143
	Szyk liniowy/kołowy	147
Rozdział 3.	Tworzenie oraz edvcia cześci — brvł	151
	Podstawowe metody tworzenia brył	
	Wycjagniecie	
	Dodanie przez obrót	161
	Wyciagniecie wyciecia	169
	Wycięcie przez obrót	181
	Dodanie/wyciecie przez wyciogniecie po ścieżce	
	Dodanie/wycięcie przez wyciągnięcie po scieżce	100
	Zasharalaria/Officeraturia	
	Zaokrągienie/Siazowanie	
Rozdział 4.	Wykorzystanie w praktyce zaawansowanych narzędzi modelowania .	221
	Projektowanie produktów konsumenckich — korpus suszarki do włosów	221
	(od szkicu ołówkiem do formy wtryskowej)	
	Obraz w szkicu	
	Wyciągnięcie po profilach z wieloma krzywymi prowadzącymi	225
	Kopuła	
	Deformacja	230
	Skorupa	241
	Połącz/Podziel	242
	Wybrane narzędzia tworzenia form wtryskowych	247
	Linia neutralna	247
	Powierzchnie zamknięcia stykowego	249
	Powierzchnie neutralne	250
	Oprzyrządowanie formy	252
	Powierzchnie — wybrane narzędzia	
	Powierzchnia planarna	
	Wyciagniecie powierzchni po profilach	
	Wypełnienie powierzchni	258
	Przytnii powierzchnie	261
	Połacz nowierzchnie	263
	Pogrubienie nowierzchni	264
	Tryh wyświetlania Zehra oraz Krzywizna	266
	Ćwiczenia uzunelniające	267
	Otwór wentylacyjny	207
	Analiza Maldflaw (Maldflaw Ymraza)	2/4 277
	Żahra	
	Analiza COSMOSXnress (Co to jest MES?)	288 295
Dondalat C		
Rozdział 5.	I WORZENIE ZłOŻEN ORAZ ARKUSZY WYÓRUKU	303
	Tworzenia prostago złożenia oraz wiezeń	
	Dodanje mogujace, edvoje pojedvnozoj ozoćej v zloženju	200
	Toolboy, hiblioteka części	
	100100A, UIUIIUIEKA CZĘŚCI	

Elementy konstrukcji spawanej — szkielet wózka	
Tworzenie gwintów zewnętrznych	
Podsumowanie	
Tworzenie nowego elementu na podstawie istniejącego złożenia	
Istniejąca część jako narzędzie edycji — narzędzie Odciśnięcie	
Lokalny oraz globalny układ współrzednych	
Podsumowanie złożeń	
Dodatek PhotoWorks/PhotoWorks Studio	
Arkusze wydruku	
Skorowidz	

# Rozdział 4. Wykorzystanie w praktyce zaawansowanych narzędzi modelowania

## Projektowanie produktów konsumenckich — korpus suszarki do włosów (od szkicu ołówkiem do formy wtryskowej)

W projektowaniu produktów codziennego użytku, takich jak sprzęt RTV, małe AGD i elektronika przenośna, zazwyczaj uczestniczy artysta plastyk, który przekazuje rysunki koncepcyjne. Na podstawie tych rysunków konstruktor musi zaprojektować obudowę oraz rozmieścić części wewnątrz obudowy. Zaprojektowana obudowa jest ponownie zatwierdzana przez artystę, a wtedy pozostaje kilka operacji prowadzących do utworzenia formy wtryskowej. W taki sposób projektuje się w programie *SolidWorks*. Omówione zostaną dwie metody projektowania: za pomocą operacji na elemencie typu solid oraz za pomocą powierzchni.

W tej części książki zostanie przedstawiony przykład wykonania formy wtryskowej na podstawie bardzo prostego szkicu ołówkiem. Projektowanie można podzielić na trzy etapy. Pierwszy to utworzenie trójwymiarowej części na podstawie odręcznego rysunku koncepcyjnego. Następny etap to dalsza obróbka części w taki sposób, by powstały pełnowartościowe mechaniczne elementy, dające się wykonać i spełniające pewną funkcję w urządzeniu. Ostatni etap to utworzenie form, które pozwolą na odlanie, sprasowanie czy wtryśnięcie projektowanych elementów. Na początek skupmy się na pierwszym etapie modelowania i zacznijmy od wstawienia szkicu w postaci elektronicznej.

## Obraz w szkicu

## Opis

Narzędzie *Obraz w szkicu* jest dostępne w programie *SolidWorks* od wersji 2006. Do wstawienia obrazu konieczny jest utworzony, aktywny szkic. Narzędzie znajduje się w menu rozwijanym *Narzędzia \rightarrow Narzędzia szkicu \rightarrow Obraz w szkicu.* Po dodaniu obrazu możliwa jest edycja jego wielkości oraz położenia. Po zakończeniu pracy narzędziem obraz jest widoczny na płaszczyźnie szkicu oraz w *Drzewie operacji* jako nowa gałąź szkicu. Otwo-rzenie <P-*klik>* menu rozwijanego tej gałęzi oraz wybranie pozycji *Właściwości operacji* pozwala przywołać jej właściwości.

Wykonanie poniższego ćwiczenia nie jest niezbędne do wykonania następnych, jednak dobrze jest zrealizować w praktyce własną koncepcję elementu (narysowanego odręcznie).

### Ćwiczenie 4.1. Wstawienie obrazu do szkicu

**1.** W dowolnym programie graficznym narysuj suszarkę (prawa strona). Możesz również narysować ją ołówkiem na papierze i zeskanować, tak jak to zostało wykonane w tym ćwiczeniu (rysunek 4.1).

**Rysunek 4.1.** Zeskanowany szkic suszarki



2. Zapisz rysunek jako plik z rozszerzeniem TIF.



Nie może być to TIF poddany jakiejkolwiek kompresji, nawet bezstratnej LZW.

 Utwórz nowy plik części, wybierz z Menedżera poleceń pozycję Geometria odniesienia, a następnie pozycję Plaszczyzna (kroki 1. i 2. na rysunku 4.2).





- **4.** W *Menedżerze właściwości* pojawią się opcje tworzenia nowej płaszczyzny szkicu. Rozwiń *Drzewo operacji* znajdujące się w obszarze roboczym i wybierz *Plaszczyznę prawą* jako *Element odniesienia* nowej płaszczyzny (kroki 3. i 4.).
- **5.** Zaznacz opcję *Odległość odsunięcia* i wpisz wartość 0 (kroki 5. i 6.). Zatwierdź operację *narożnikiem potwierdzającym*.
- **6.** Na koniec zmień nazwę płaszczyzny na *Plaszczyzna szkicu* (kliknij <*L-klik*> na etykietę płaszczyzny w *Drzewie operacji*, a następnie wciśnij klawisz *F2*).

Wstawienie nowej płaszczyzny pokrywającej się z istniejącą *Płaszczyzną prawą* może wydawać się zbędne, daje jednak nowe możliwości manipulowania położeniem nowego szkicu.

- 7. Wstaw szkic na nowo utworzonej płaszczyźnie.
- **8.** Narysuj pionowy odcinek o długości 170 mm biegnący od początku układu współrzędnych zgodnie ze zwrotem osi *Y* (krok *1*. na rysunku 4.3).

Ponieważ po dodaniu zdjęcia konieczna będzie zmiana jego wymiarów oraz położenia, utworzony odcinek będzie stanowił punkt odniesienia. Przyjmijmy zatem, że tworzona część będzie miała wysokość 170 mm.

- 9. Wybierz <L-klik> z menu rozwijanego Narzędzia → Narzędzia szkicu → Obraz w szkicu (kroki 2. i 3.), a następnie w nowym oknie Otwórz znajdź zdjęcie i wstaw je do szkicu.
- 10. Po wybraniu i wstawieniu rysunku do szkicu dostosuj jego wysokość tak, by równa była z narysowanym odcinkiem. Wykorzystaj przyciski zmiany wysokości (krok 1. na rysunku 4.4) lub szerokości w polu Właściwości. Zapoznaj się z pozostałymi opcjami w Menedżerze właściwości.



- **11.** Przytrzymując przycisk myszy *<L-trzym>* nad wstawionym obrazem, masz możliwość jego przesuwania. Umieść obraz tak, by najdalej wysunięty "w tył" punkt krawędzi rączki znalazł się nad początkiem układu współrzędnych i przecinał utworzony odcinek.
- **12.** Zatwierdź zmiany *narożnikiem potwierdzającym*. Ewentualna ponowna edycja rozmiaru lub położenia obrazu możliwa jest po ponownym uaktywnieniu, np. przez kliknięcie <2xL-klik> w jego obszarze.
- **13.** Usuń utworzony odcinek i wyjdź ze szkicu.

## Wyciągnięcie po profilach z wieloma krzywymi prowadzącymi

## Opis

Narzędzie *Wyciągnięcie po profilach* omawiane w poprzednim rozdziale pozwoli utworzyć wyciągnięcie wzdłuż zorientowanej poziomo osi. Dodatkowe krzywe prowadzące nadadzą odpowiedni, zgodny ze szkicem kształt.

Na początek będziemy musieli poczynić pewne założenia uzupełniające informacje, których nie ma na szkicu. Ponieważ brakuje rysunku izometrycznego oraz pozostałych rzutów, nie wiemy, jaki przekrój ma korpus. Przyjmijmy więc, że tył korpusu ma przekrój okręgu, a jego przód to elipsa.

Jeśli zdecydowałeś się wykonać ćwiczenie 4.1, to ćwiczenie 4.2 jest jego kontynuacją. Jeśli jednak pominąłeś pierwsze ćwiczenie, to wykonaj następne, wykorzystując dane z książki.

## Ćwiczenie 4.2. Utworzenie korpusu

- **1.** Uruchom plik utworzony w ćwiczeniu 4.1, a następnie wybierz widok *Prawa strona*.
- **2.** Wstaw dwie nowe płaszczyzny równoległe do *Płaszczyzny przedniej*. Pierwsza powinna pokrywać się z przodem suszarki, a druga powinna odcinać zaokrąglony tył (kroki *1*. i *2*. na rysunku 4.5).



**3.** Narysuj na *Płaszczyźnie2* okrąg ze środkiem umieszczonym nad przecięciem osi układu współrzędnych, którego średnica będzie w przybliżeniu równa średnicy suszarki na wstawionym rysunku (krok *3*.). Dla osób, które nie zdecydowały się na wstawienie obrazu, podaję, że średnica okręgu to 70,55 mm, a jego środek umieszczony jest na wysokości 130,97 mm.

**4.** Na *Płaszczyźnie1* naszkicuj elipsę spłaszczoną w pionie o wymiarach zgodnych ze wstawionym obrazem (rysunek 4.6). Jeśli nie korzystasz z obrazu, pobierz dane z rysunku 4.6. Wyjdź ze szkicu.



- **5.** Ukryj płaszczyzny, na których umieszczone są okrąg i elipsa, a następnie wybierz widok *Prawa strona*.
- **6.** Wstaw nowy szkic na *Plaszczyźnie prawej* i narysuj dwa splajny łączące krawędzie okręgu i elipsy. Poprowadź splajny tak, by w przybliżeniu pokrywały się z konturami zawartymi we wstawionym obrazie.
- 7. Powiąż splajny z okręgiem i elipsą relacjami Prostopadle.
- **8.** Powiąż również punkty końcowe splajnów z okręgiem i elipsą relacjami *Przebicie*. W razie problemów wróć do opisu narzędzia *Wyciągnięcie po profilach* w poprzednim rozdziale.
- 9. Wyjdź ze szkicu.
- **10.** Wybierz widok *Prawa strona*, a następnie utwórz płaszczyznę równoległą do *Płaszczyzny górnej*, która przechodzi w przybliżeniu przez środki okręgu i elipsy (krok *1*. na rysunku 4.7).
- **11.** Wstaw szkic na nowej płaszczyźnie, a następnie wybierz widok Normalny do.
- **12.** Połącz elipsę z okręgiem łamaną, tak jak przedstawiono na rysunku 4.7 (kroki 2. i 3.).
- 13. Powiąż odcinki z elipsą oraz okręgiem relacjami Przebicie.
- 14. Wyjdź ze szkicu.
- **15.** Wybierz narzędzie *Wyciągnięcie po profilach*.



**16.** Wskaż <*L-klik*> okrąg i elipsę jako profil początkowy oraz końcowy (kroki *1*. i *2*. na rysunku 4.8).



- **17.** Uaktywnij opcję *Wybierz kontury lańcuchowo*, a następnie wskaż <*L-klik*> dwa splajny jako krzywe prowadzące (kroki 3. 5.).
- **18.** Wskaż <*L-klik*> również ostatnio utworzone łamane jako krzywe kształtujące powierzchnie boczne (kroki *6*. i *7*.).

- **19.** Z menu rozwijanego powiązań początkowych oraz końcowych wybierz opcję *Normalna do profilu* (kroki 8. i 9.).
- **20.** Zatwierdź utworzenie wyciągnięcia. Jeśli wystąpią problemy z utworzeniem elementu, sprawdź, czy utworzyłeś wszystkie relacje tak, jak podano w ćwiczeniu.

## Kopuła

Rysunek 4.9.

Różne metody

tworzenia kopuł

## Opis

Narzędzie pozwala utworzyć kopułę na wybranej płaszczyźnie. Uruchamiane jest w menu rozwijanym *Wstaw*  $\rightarrow$  *Operacje*  $\rightarrow$  *Kopuła*. Po uruchomieniu narzędzia należy wybrać <L-*klik*> płaszczyznę, która zostanie odkształcona, a następnie określić wielkość odkształcenia. Domyślnie tworzona jest kopuła, która jest rozciągnięciem płaszczyzny o określoną wartość wzdłuż wektora kierunkowego (punkt A na rysunku 4.9). Dla płaszczyzn o przekroju okręgu oraz elipsy dysponujemy opcją *Kopuła eliptyczna*, która pozwala utworzyć kopułę będącą połówką elipsoidy obrotowej (punkt *B*). Narzędziem można również utworzyć kopuły na wielu płaszczyznach jednocześnie, o ile parametry kopuły są możliwe do zrealizowania na każdej z wybranych płaszczyzn (punkt *C* — jednoczesne utworzenie kopuł na dwóch bryłach). Zmiana kierunku wyciągnięcia kopuły jest możliwa przez wybranie krawędzi kierunkowej (punkt *D*) lub punktu na szkicu (kroki *1. – 3.* na rysunku 4.10).



Rysunek 4.10 (kroki 1. - 3.) przedstawia kopuły ograniczone wybranym punktem splajnu. Wysokość kopuły określana jest położeniem wskazanego punktu, dlatego pole *Odległość* jest nieaktywne. Gdy kopuła tworzona jest na walcu (punkt *B*) lub szczycie ściętego stożka, to wpisanie wartości 0 w polu *Odległość* (punkt *A*) powoduje utworzenie kopuły o podstawie stycznej do krawędzi płaszczyzny bocznej.



Możliwe jest również utworzenie kopuły na płaszczyźnie nieplanarnej (punkt *A* na rysunku 4.11). Otrzymany kształt kopuły (punkt *B*) zależny jest wtedy także od wielkości krzywizn płaszczyzny. Gdy podstawą kopuły jest wielobok, to możliwy jest wybór pomiędzy kopułą o krawędziach normalnych lub stycznych do krawędzi (kroki 1. - 3.).



#### Ćwiczenie 4.3. Zamknięcie suszarki

Kontynuując projekt suszarki, utwórz zaokrąglony wlot powietrza. Wróć do części z ćwiczenia 4.2, a następnie wykonaj poniższe kroki:

- 1. Uruchom narzędzie Kopuła.
- 2. Wskaż <*L-klik*> tylną płaszczyznę jako podstawę operacji (krok 1. na rysunku 4.12).



- 3. Zaznacz opcję Kopuła eliptyczna (krok 2.).
- **4.** W polu *Odległość* ustaw wartość w taki sposób, by powierzchnia kopuły pokrywała się ze szkicem (krok *3*.).

## Deformacja

#### Opis

Narzędzie *Deformacja* służy do odkształcania istniejących elementów różnymi metodami dostępnymi w opcjach *Narzędzia*. Dzięki temu narzędziu możemy podejść do bryły jak do plastycznego elementu, który możemy dowolnie odkształcać. Narzędzie dostępne jest w menu rozwijanym *Wstaw*  $\rightarrow$  *Operacje*  $\rightarrow$  *Deformacja*.

Po uruchomieniu narzędzia dysponujemy trzema typami deformacji.

#### Punkt oraz Naciśnięcie powierzchni

Typ deformacji *Punkt* (punkt *1a.* na rysunku 4.13) jest symulacją naciśnięcia punktowego powierzchni. Po uruchomieniu narzędzia wskazujemy *<L-klik>* punkt na utworzonej wcześniej części. Wybrany punkt będzie wywierał nacisk w określonym kierunku na powierzchnię, na której jest położony, oraz zostanie opisany w polu *Punkt deformacji* (punkt *2a.*). Jeśli nie zostanie określony kierunek deformacji, będzie on styczny do płaszczyzny, na której punkt się znajduje. Pole *Odległość deformacji* (punkt *3a.*) określa dystans pomiędzy początkowym i końcowym położeniem zdeformowanej płaszczyzny. Za pomocą opcji w polu *Obszar deformacji* decydujemy, które płaszczyzny są odkształcane,



a które pozostają nieruchome. Określany jest również promień (punkt 4a.), w obrębie którego następuje odkształcenie. Przyciski w polu *Opcje kształtu* (punkt 6a.) określają sztywność płaszczyzny. Im sztywność jest większa, tym krzywizna zdeformowanej płaszczyzny jest mniejsza.

Podobnie funkcjonuje typ *Naciśnięcie powierzchni* (punkt *1b*.). Kluczowa różnica polega na tym, iż to nie punkt wywiera nacisk na element, ale siła, która jest rozłożona w przestrzeni. Przestrzenną reprezentacją gradientu wywieranej siły jest bryła, którą możemy wybrać w polu *Obiekt narzędzia* (punkt *4b*.). Ponieważ deformowana część ma wewnętrzną sztywność, konieczne jest określenie dopuszczalnego odchylenia deformacji. Wartość wpisuje się w polu o tej samej nazwie (punkt *5b*.). Musi być ona większa od 0.1 lub większej wartości, w zależności od warunków deformacji. Wartości w polu *Pozycja obiektu narzędzia* (punkty *6b. – 8b*.) określają położenie bryły (narzędzia deformacji) w przestrzeni.

#### Ćwiczenie 4.4. Podstawka do cięcia

Z wykorzystaniem przedstawionego narzędzia *Deformacja* zaprojektuj podstawę do cięcia jajek. Wykonaj poniższe kroki:

- **1.** Utwórz nowy plik części, a następnie za pomocą dwóch wyciągnięć wykonaj podstawę przedstawionej na rysunku 4.14 bryły (kroki *1. 4.*).
- **2.** Wykonaj trzy operacje zaokrąglenia o promieniu 10 mm w kolejności przedstawionej na rysunku 4.15. Pierwsze zaokrąglenie (punkt *1*.) dotyczy krawędzi obu podstaw drugiego wyciągnięcia.
- **3.** Druga operacja (punkt 2.) zaokrągla górną krawędź pierwszego wyciągnięcia, a ostatnia powstałe pionowe krawędzie (punkt 3.).



Podwójne wyciągnięcie o podstawie kwadratu

Zaokrąglenie

wybranych krawędzi bryły



- 4. Uruchom narzędzie Skorupa przyciskiem o tej samej nazwie znajdującym się w Menedżerze operacji.
- 5. Ustal grubość skorupy na 2 mm (krok *1*. na rysunku 4.16).
- 6. Uaktywnij <L-klik> pole Ściany do usunięcia, a następnie wskaż <L-klik> podstawę pierwszego wyciągnięcia (krok 3.).
- 7. Zatwierdź zmiany i zaobserwuj utworzone wybranie (krok 4.).
- 8. Wybierz widok Przód i na Płaszczyźnie przedniej narysuj element przedstawiony na rysunku 4.17 (krok 1.).



- **9.** Korzystając z narzędzia *Szyk liniowy*, utwórz szereg 16 elementów przesuniętych o 4 mm (krok 2.).
- **10.** Narzędziem *Wyciągnięcie wycięcia* wytnij żeberka w istniejącej części, korzystając z profili utworzonych w poprzednich krokach (krok *3*.).
- **11.** Zaokrąglij ściany utworzonych żeberek promieniem 0,2 mm (krok 4.).
- **12.** Uruchom narzędzie *Deformacja*, a następnie wybierz <*L-klik*> w polu *Typ deformacji* opcję *Punkt* (krok *1*. na rysunku 4.18).
- 13. Uaktywnij <L-klik> pole Punkt deformacji (punkt 2.), a następnie przejdź do widoku Góra i wskaż <L-klik> punkt w centrum na górnej płaszczyźnie środkowego listka (punkt 3.). Powiększ widok obszaru roboczego, by wskazanie nie było kłopotliwe.



- 14. Uaktywnij następne pole, *Kierunek deformacji* (punkt 4.), i wskaż <*L-klik*> *Płaszczyznę górną* (punkt 5.) z *Drzewa operacji*. Zmień kierunek przyciskiem (punkt 6.) tak, by strzałka kierunku była zwrócona do elementu (punkt 3.).
- **15.** W polu *Odległość deformacji* wpisz 10 (punkt 7.), a w polu *Promień deformacji* 50 (krok 8.).
- **16.** Jeśli istnieje jeden obiekt bryłowy, na którym określony jest punkt deformacji, to ponowne wskazanie tego obiektu (punkt 9.) nie jest konieczne. Nie będzie to jednak błędem i nie będzie miało wpływu na efekt końcowy.
- By cały obiekt nie został zdeformowany, należy ograniczyć obszar deformacji nieruchomymi ścianami. Uaktywnij <*L-klik>* pole *Nieruchome krzywe/krawędzie/ściany* (punkt 10.) i wskaż cztery (punkty *A* – *D*) płaszczyzny leżące po każdej stronie żeberek. Pamiętaj, by żeberka nie zostały zaznaczone. Punkt *B* wskazuje miejsce analogiczne do punktu *A*.
- **18.** Wybierz średnią sztywność płaszczyzny (punkt *11*.) oraz maksymalną dokładność kształtu (punkt *12*.).
- **19.** Zatwierdź operację deformacji i przyjrzyj się powstałemu odkształceniu.

Otrzymana deformacja pozwoliła uzyskać symetryczne, niemalże kołowe odkształcenie, jednak może ono nie odpowiadać kształtowi jajka, który chcielibyśmy uzyskać. Spróbujmy więc zastosować drugi typ deformacji — *Naciśnięcie powierzchni*.

- **20.** Edytuj istniejącą operację *Deformacja* za pomocą *Drzewa operacji*.
- **21.** Usuń istniejący wybór z pola *Punkt deformacji*, a następnie wybierz typ deformacji *Naciśnięcie powierzchni*.
- **22.** Wybierz z listy rozwijanej *Obiekt narzędzia* pozycję *Elipsoida* (krok 2. na rysunku 4.19).



- **23.** Na etykiecie wybranego obiektu możesz określić jego wymiary. Wpisz dane z rysunku (krok *3*.).
- 24. Określ dopuszczalne odchylenie na 3 mm (krok 4.).
- **25.** Przesuń obiekt o  $\Delta x=50$ ,  $\Delta y=20$ ,  $\Delta z=-50$ , a następnie ustaw maksymalną dokładność odwzorowania odkształcenia.
- **26.** Jeśli określiłeś w początkowej części ćwiczenia obiekt do deformacji, po przełączeniu jej typu nie musisz wskazywać obiektu ponownie. Jeśli jednak tego nie zrobiłeś, wskaż istniejącą część do edycji.
- **27.** Zatwierdź zmiany.
- **28.** Zauważ różnice pomiędzy kształtem obiektu zdeformowanego poprzez punktowy nacisk (punkt *A* na rysunku 4.20) i przez odciśnięcie *Obiektem narzędzia* (punkt *B*).

#### Rysunek 4.20.

Porównanie deformacji punktem oraz elipsoidą



#### Krzywa — krzywa

Trzeci, jeszcze nieomówiony typ deformacji polega na odkształceniu części przez określenie krzywej początkowej oraz docelowej. Metoda ta daje wiele swobody w kształtowaniu powierzchni oraz pozwala na zachowanie wysokiego stopnia kontroli nad przebiegiem deformacji. Krzywymi deformacji mogą być zarówno elementy części (krawędzie,

punkty), jak i elementy szkicu. Przykładem deformacji od krawędzi do krawędzi części jest rysunek 4.21 (punkt *A*), na którym deformowana jest część górna od jej krawędzi do krawędzi części dolnej.

#### Rysunek 4.21.

Deformacja od krawędzi do krawędzi oraz od krzywej do krzywej



Punkt *B* na rysunku 4.21 przedstawia deformację od dwóch naszkicowanych krzywych. Element odkształca się w stopniu proporcjonalnym do odległości pomiędzy krzywymi w danej płaszczyźnie.

Narzędzie pozwala na jednoczesne użycie wielu zestawów krzywych mieszanych, np. od krawędzi po elementy szkicu. Umożliwia to wykonywanie bardzo złożonych deformacji. Na rysunku 4.22 (punkt *A*) została przedstawiona deformacja wyciągniętego wieloboku do linii naszkicowanych na obręczy. W ten sposób powstała ciekawie wyglądająca pokrywka (punkt *B*).



#### Ćwiczenie 4.5. Deformacja rączki suszarki

Wykorzystaj poznane umiejętności, tworząc oraz odpowiednio deformując rączkę suszarki. Wykonaj poniższe kroki:

**1.** Otwórz plik z ćwiczenia 4.3, a następnie wygaś istniejący element (kroki *1. – 2.* na rysunku 4.23).



- **2.** Kliknij <*L-klik*> na *Plaszczyznę górną* w *Drzewie operacji*, a następnie w obszarze roboczym przesuń ją <*L-trzym*> z przyciśniętym klawiszem *Ctrl*.
- 3. Określ odległość odsunięcia nowej płaszczyzny na 110 mm (punkt 5.).
- 4. Ustaw Płaszczyznę górną na zawsze widoczną.
- 5. Uważnie przypatrz się szkicom na rysunku 4.24, a następnie wybierz widok Góra.
- **6.** Narysuj dwie elipsy (punkty *1*. i *2*.) w taki sposób, by przy wybranym widoku *Góra* pokrywały się. Dobierz wymiary w taki sposób, by utworzone wyciągnięcie przez te elipsy mogło stanowić rękojeść. Promienie zastosowane na rysunku 4.24 to 18 mm oraz 12 mm.
- **7.** Przejdź do widoku *Prawa strona*, a następnie połącz elipsy odcinkiem (punkt *3*.) oraz splajnem odzwierciedlającym tylną część rękojeści (krok *4*.).
- **8.** Powiąż zakończenia odcinka oraz splajnu (punkty A C) z utworzonymi elipsami za pomocą relacji *Przebicie*.
- **9.** Wybierz narzędzie *Wyciągnięcie po profilach*, a następnie wskaż <*L-klik*> utworzone elipsy jako profile tworzące nowy element.



Utworzenie elips

**Rysunek 4.25.** *Tworzenie wyciągnięcia po profilach* 



**10.** Uaktywnij pole wyboru krzywych prowadzących i naciśnij *<L-klik>* przycisk *Wybierz kontury łańcuchowo* (krok 4. na rysunku 4.25). Wskaż *<L-klik>* splajn oraz odcinek jako krzywe prowadzące.



- **11.** Usuń zaznaczenie opcji *Scalaj wyniki* (punkt *8*.), by utworzony obiekt nie scalił się z istniejącym wygaszonym korpusem.
- 12. Zatwierdź operację.

**13.** Narysuj na *Płaszczyźnie prawej* odcinek pokrywający się z powierzchnią boczną oraz splajn, który będzie odzwierciedlał krawędź odręcznego szkicu (kroki 1. i 2. na rysunku 4.26).



- **14.** Uruchom narzędzie *Deformacja*, a następnie wybierz opcję *Krzywa krzywa* (krok 3.).
- **15.** Uaktywnij pole *Krzywe początkowe* (krok 4.) i wskaż < L-*klik*> ostatnio utworzony odcinek (krok 5.). Przejdź do pola Krzywe docelowe, a następnie wskaż <L-klik> splajn (krok 7.).
- **16.** Ustal sztywność elementu na średnią (krok 8.), a dokładność deformacji na najwyższa (krok 9.).
- **17.** Wskaż element do deformacji (krok 11.).



suszarki

Kolejność wykonywanych operacji nie jest istotna. Parametry w polu Opcje kształtu zmieniaj tak, by uzyskać jak najbardziej zadowalający rezultat.

18. Przywróć widoczność korpusu (krok 1. na rysunku 4.27).

**19.** Zauważ, że teraz istnieją dwa obiekty. W takiej sytuacji nie można wykonać na krawędzi łączącej te obiekty takich operacji jak zaokrąglenie czy fazowanie. Zaznacz oba obiekty w Drzewie operacji, a następnie z menu podręcznego wybierz Połącz (kroki 2. i 3.).

#### Rysunek 4.27.

Łączenie elementów



- 20. W Menedżerze właściwości wybierz opcję Dodaj i zatwierdź operację.
- **21.** Po połączeniu elementów powstaje jedna bryła z krawędziami gotowymi do zaokrąglenia. Zaokrąglij krawędź pomiędzy korpusem a rączką maksymalnym możliwym promieniem (krok *1*. na rysunku 4.28).



- 22. Podobnie wykonaj zaokrąglenie zakończenia rączki (krok 2.).
- **23.** Ukryj wstawiony szkic, by już nie przeszkadzał w wykonywaniu dalszych operacji (krok *3*.).
- 24. Ukryj również wszystkie widoczne płaszczyzny.

## Skorupa

#### Opis

Skorupa jest narzędziem do wykonywania cienkościennych elementów z pełnych brył. Narzędzie dostępne jest w *Menedżerze operacji* oraz menu rozwijanym *Wstaw*  $\rightarrow$  *Operacje*  $\rightarrow$  *Skorupa*. Po uruchomieniu narzędzia konieczne jest wskazanie ścian, które zostaną usunięte (kroki 1. i 2. na rysunku 4.29), oraz określenie grubości pozostałych ścian.

**Rysunek 4.29.** Skorupa wielogrubościowa



Możliwe jest również ustawienie różnych grubości dla wybranych ścian (kroki 3. - 5.). W tym celu posłuż się opcjami w polu *Ustawienia wielo-grubościowe*. Podstawowa grubość została określona na 2 mm. Dla ściany 3. grubość wynosi 10 mm a dla ścian 4. i 5. — 20 mm.

#### Ćwiczenie 4.6. Utworzenie skorupy suszarki

Wykorzystując narzędzie Skorupa, utwórz obudowę suszarki z jej bryły:

- **1.** Otwórz plik z ćwiczenia 4.5, a następnie uruchom narzędzie *Skorupa* (krok *1*. na rysunku 4.30).
- **2.** Wybierz *<L-klik>* przednią ścianę do usunięcia.
- 3. Określ grubość pozostałych ścian na 2 mm (krok 4.).
- 4. Zatwierdź operację.
- **5.** Dodaj elementy ozdobne według własnego uznania oraz wycięcie na wyłącznik (punkt *3.* na rysunku 4.31).



## **Połącz/Podziel**

## Opis

Narzędzia *Połącz* i *Podziel* pozwalają łączyć i dzielić bryły w ramach jednej części. Jeśli wykorzystujemy złożone narzędzia edycji brył i edytujemy pewien obszar bryły, niekiedy wygodniej jest ten obszar wyodrębnić, by operacja nie wpływała na pozostałą część bryły. Przykładem może być rysunek 4.32 (indeks *A*), na którym przedstawiony jest podgląd operacji wykonanych na jednolitej bryle.

Można zauważyć, że trzonek elementu po operacji skręcenia również został skręcony. Przy operacji zwężenia trzonek został zmniejszony. Gdy elementy zostały podzielone płaszczyzną (krok 1.), podczas tych samych operacji wymiary oraz pozycja trzonka nie zmieniły się (indeks *B*).



Dzielenie elementów pozwala również utworzyć odrębne części i pliki, gotowe do dalszej edycji. Dzielić możemy: płaszczyznami, ścianami modelu (planarnymi lub nie) oraz szkicami.

Narzędzia znajdziesz w menu rozwijanym *Wstaw*  $\rightarrow$  *Operacje*  $\rightarrow$  *Podziel* oraz *Wstaw*  $\rightarrow$  *Operacje*  $\rightarrow$  *Połącz*.

#### Ćwiczenie 4.7. Podział skorupy na trzy elementy, utworzenie pliku

By utworzyć formę, należy tak podzielić suszarkę, by część była wykonywalna. Dla większej jasności przykładu podzielmy skorupę na trzy elementy. Wykonaj poniższe kroki:

- 1. Otwórz plik z ćwiczenia 4.6, a następnie uruchom narzędzie Podziel.
- **2.** Uaktywnij pole *Narzędzie przycięcia*, a następnie w *Drzewie operacji* wybierz <*L-klik>* płaszczyznę, która odetnie tył skorupy (krok 2. na rysunku 4.33).
- **3.** Naciśnij *<L-klik>* przycisk *Tnij część*, by obiekt został podzielony. W tym momencie skorupa została podzielona na dwa elementy.
- **4.** Zaznacz oba znaczniki w polu *Powstale obiekty* (krok *1*. na rysunku 4.34), a następnie, klikając <*2xL-klik>* w kolumnie *Plik*, nadaj nazwy plikom tworzonych części.
- **5.** Po kliknięciu w komórkę drugiej kolumny otworzy się okno *Zapisywanie jako*, pozwalające nadać nazwę oraz określić lokalizację tworzonego nowego pliku. Wpisz w pierwszym wierszu nazwę korpus, a w drugim wlot.
- **6.** Wybierz opcję *Pokaż obiekty*, by powstałe elementy nie zostały ukryte po wykonaniu operacji podziału.
- 7. Zatwierdź operację.

korpusu



- 8. Otwórz plik nazwany korpus, a następnie ponownie uruchom narzędzie Podziel.
- 9. Otworzoną bryłę podziel Płaszczyzną prawą na dwie połówki (kroki 1. i 2. na rysunku 4.35).



- Zaznacz znacznik wyłącznie w pierwszym wierszu, a z części korpusu (to ta część z wycięciem pod wyłącznik) utwórz nowy plik o nazwie korpus prawa strona (krok 3.).
- **11.** Zaznacz opcję *Pokaż obiekty* i zatwierdź operację.

## Odniesienia do części źródłowych (rodziców), praca na kilku plikach jednocześnie

Utworzone, podzielone elementy są powiązane z elementem źródłowym. Dzięki temu każda zmiana w elemencie rodzicu będzie uwzględniona w utworzonych na jego podstawie plikach.

Wygodnie jest pracować na kilku jednocześnie otwartych powiązanych elementach. Otworzone pliki możemy przeglądać w *Eksploratorze plików* (rysunek 4.36), który umożliwia szybki podgląd zawartości plików oraz przechodzenie pomiędzy nimi <*2xL-klik*>.



otworzonych plików



Pogrubioną czcionką przedstawione są pliki, w których zmiany nie zostały zapisane. Szybkie przełączanie pomiędzy otworzonymi częściami umożliwia również skrót *Ctrl+Tab*.

Jeśli część zawiera odniesienia do innych plików, w jej nazwie w *Drzewie operacji* znajduje się strzałka (punkt *A* na rysunku 4.37).

Nazwa pliku, do którego istnieje odniesienie, jest również pokazana w *Drzewie operacji* (punkt *B*). By ją odczytać, należy pominąć frazę *Zapas*-, ostatni myślnik oraz cyfrę.

#### **Rysunek 4.37.** Odniesienie do innego pliku



#### Ćwiczenie 4.8. Wprowadzenie zmian w elemencie rodzicu oraz elementach powiązanych

Spróbuj w praktyce zapoznać się z działaniem odniesień do elementu źródłowego, edytując go i obserwując zmiany w elementach powiązanych.

- **1.** Otwórz jednocześnie trzy utworzone ostatnio pliki: plik rodzic z ćwiczenia 4.7 (tutaj *cwiczenie 4.7.sldprt*), *korpus* oraz *korpus prawa strona*.
- 2. Wprowadź w pliku źródłowym zmianę, np. w ozdobniku (punkt 1. na rysunku 4.38).



- **3.** Wykorzystaj skrót *Ctrl+Tab* i przejdź do pliku o nazwie *korpus*. Podczas przejścia ukaże się okno informujące o aktualizacji pliku.
- 4. Zauważ, że zmiana nastąpiła również w pliku powiązanym.
- Przejdź do następnego pliku, korpus prawa strona, i zauważ, że zmiana nastąpiła także w pliku powiązanym z plikiem powiązanym z plikiem źródłowym (rodzicem).

## Wybrane narzędzia tworzenia form wtryskowych

Następnym etapem po zaprojektowaniu części jest utworzenie formy wtryskowej. Aby utworzyć formę, trzeba wykonać kilka podstawowych kroków. Są to:

- określenie linii neutralnej, czyli będącej sumą punktów w miejscach, w których kierunek otwierania formy będzie normalny do pochylenia płaszczyzny,
- ♦ zamknięcie wszystkich miejsc niejasnych dla podziału gniazdo rdzeń,
- utworzenie powierzchni podziałowej gniazda i rdzenia,
- określenie rozmiarów formy oraz jej kształtu,
- ♦ utworzenie formy,
- utworzenie bocznych rdzeni w miejscach ewentualnych podcięć.

Powyższy opis może się zmieniać w zależności od stopnia złożoności formy oraz warunków konstrukcyjnych. Nie uwzględnia takich kluczowych elementów jak wstawienie popychaczy czy miejsc wtrysku.

## Linia neutralna

### Opis

Narzędzie *Linia neutralna* służy do określenia krzywej podziału na rdzeń i gniazdo tworzonej formy. Po uruchomieniu narzędzia i wykonaniu analizy pochylenia ścian bryły program może automatycznie określić linię neutralną, jeśli geometria części nie jest wyjątkowo skomplikowana, lub też pozwolić na samodzielne utworzenie tej linii. Przy samodzielnym tworzeniu linii należy wybrać kolejne krawędzie w taki sposób, by kierunek otwierania formy w punktach linii był normalny do pochylenia powierzchni.

Narzędzie można znaleźć:

- w Menedżerze poleceń w grupie Narzędzia do form,
- w menu rozwijanym *Wstaw*  $\rightarrow$  *Formy*  $\rightarrow$  *Linia neutralna*,
- na pasku narzędzi Narzędzia do form (standardowo ukryty).

#### Ćwiczenie 4.9. Tworzenie linii neutralnej

Kontynuuj wykonywanie projektu suszarki i rozpocznij proces tworzenia formy, ustalając linię neutralną. Wykonaj następujące kroki:

**1.** Otwórz plik *korpus — prawa strona*, a następnie uruchom narzędzie *Linia neutralna*.

2. Wskaż kierunek otwierania formy, wybierając *<L-klik> Płaszczyznę prawą* z *Drzewa operacji* (krok 3. na rysunku 4.39). Zwrot można zmieniać, klikając *<L-klik>* na strzałkę przy krawędzi elementu lub znanym Ci już przyciskiem w *Menedżerze właściwości*.



- **3.** Ustal wartość w polu *Kąt pochylenia* na 1°. Wartości pochylenia ścian mniejsze niż ustalona będą uznawane za prostopadłe do kierunku otwierania formy.
- 4. Wykonaj analizę pochylenia ścian, wybierając <L-klik> przycisk Analiza pochylenia.
- **5.** Po wykonaniu analizy pochylenia zawartość *Menu właściwości* zmieniła się. Pojawiła się legenda kolorów oznaczających pochylenie ścian: dodatnie, bez pochylenia, ujemne, dodatnie i ujemne (krok *1*. na rysunku 4.40). Utworzona część zmieniła barwy zgodnie z rodzajem pochylenia każdej ze ścian.



- **6.** Linia neutralna została automatycznie wyznaczona, a każda wybrana krawędź została pokazana w polu *Linie neutralne* (krok *2*.).
- 7. Zatwierdź operację.



Dla bardzo złożonych elementów linia neutralna nie zostanie automatycznie utworzona. Metodologia wskazania linii neutralnych, podziałowych i zamknięcia stykowego przedstawiona jest w opisie następnego narzędzia.

## Powierzchnie zamknięcia stykowego

#### Opis

Pierwsze etapy tworzenia formy wtryskowej mają na celu jednoznaczne określenie kompletnej powierzchni podziałowej gniazda i rdzenia. Jeśli element ma otwory, to konieczne jest utworzenie dodatkowych powierzchni, które będą oddzielały gniazdo od rdzenia. Innymi słowy, w obszarach powierzchni zamknięcia stykowego rdzeń spotyka się z gniazdem.

Narzędzie Powierzchnie zamknięcia stykowego może być uruchomione za pomocą:

- przycisku w grupie Narzędzia do form Menedżera poleceń,
- menu rozwijanego Wstaw  $\rightarrow$  Formy  $\rightarrow$  Powierzchnie zamknięcia stykowego,
- przycisku na pasku narzędzi Narzędzia do form (standardowo ukryty).

#### Metodyka wyboru krawędzi powierzchni zamknięcia stykowego

Po uruchomieniu narzędzia w *Menedżerze właściwości* ukazuje się komunikat o konieczności rozdzielenia formy (punkt *A* na rysunku 4.41) na gniazdo i rdzeń. Pierwszym krokiem jest wskazanie <L-klik> krawędzi kursorem (punkt *1*.). W ten sposób możemy wskazywać kolejne połączone ze sobą krawędzie, aż do utworzenia pętli (kroki *1. – 6.*). Jednak szybszą metodą wyboru kolejnych krawędzi jest stosowanie kombinacji klawiszy *y/n*. Klawiszem *n* zmieniamy kierunek strzałki prowadzącej (kroki *2. – 4.*), a klawiszem *y* wybieramy krawędź powierzchni zamknięcia stykowego. Jeśli wybierzemy źle, możemy się wycofać, ponownie wybierając ostatnią krawędź lub klikając przycisk *Cofnij* (punkt *B*). Jeśli pętla zostanie poprawnie zamknięta, pojawi się komunikat o kontakcie (krok *6.*). Jeśli wszystkie otwarte obszary zostaną zamknięte, w polu *Komunikaty* pojawi się informacja o poprawnym rozdzieleniu gniazda i rdzenia (punkt *C*).

#### Ćwiczenie 4.10. Utworzenie powierzchni zamknięcia stykowego

W zależności od tego, czy i jaki wykonałeś otwór na wyłącznik w skorupie suszarki, rozdziel formę na rdzeń i gniazdo, wykonując powierzchnię zamknięcia stykowego.

- **1.** Otwórz plik *korpus prawa strona* i uruchom narzędzie *Powierzchnie zamknięcia stykowego*.
- 2. Utwórz z kolejnych krawędzi zamkniętą pętlę określającą powierzchnię.
- **3.** Poprawnie rozdzielona forma będzie opisana odpowiednim komentarzem (punkt 6. na rysunku 4.42) w *Menedżerze właściwości.*



Utworzenie

powierzchni

zamknięcia

stykowego



4. Zatwierdź operację.