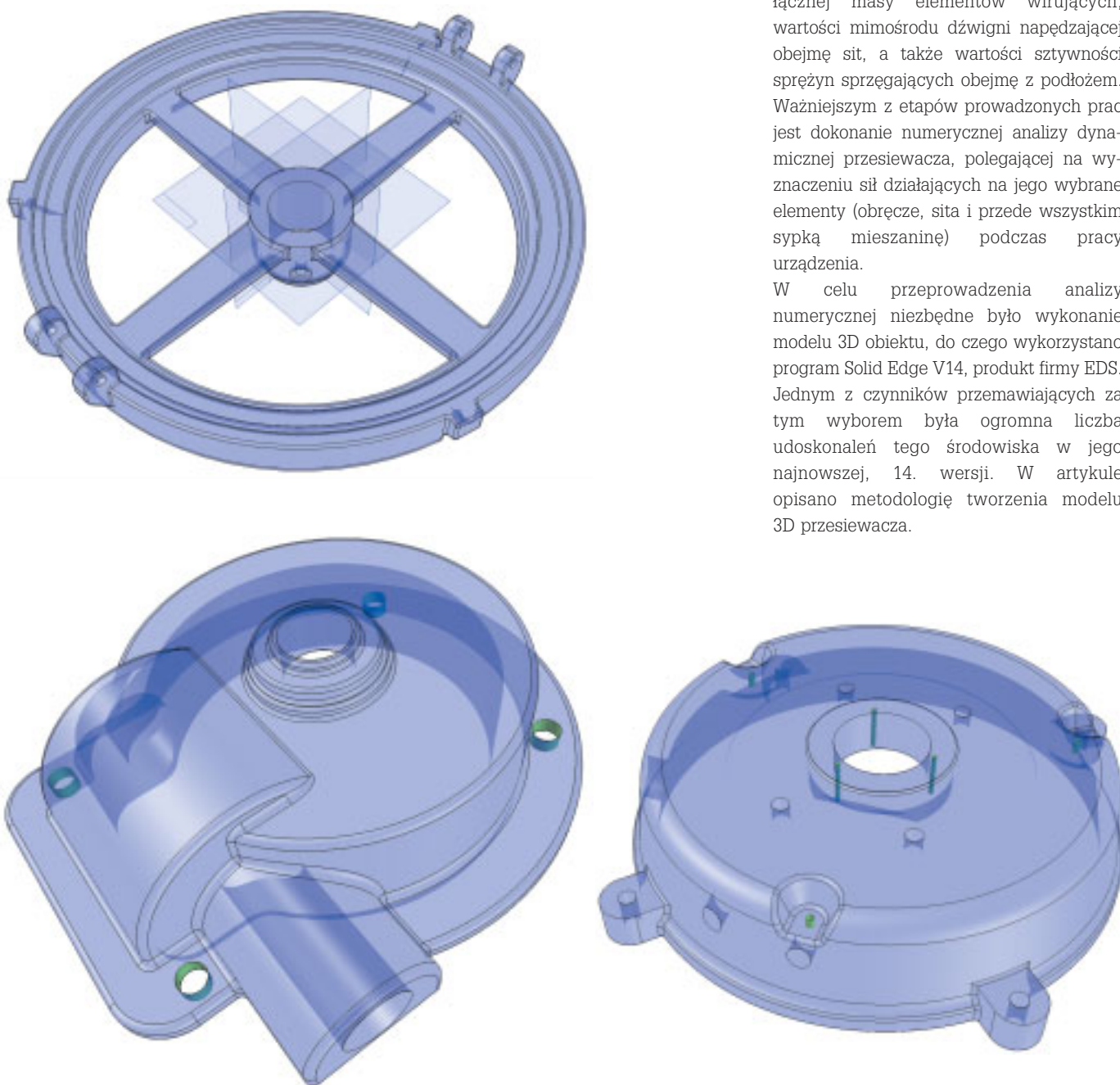


Przesiewacz materiałów sypkich

Przesiewanie jest najtańszą i najprostszą metodą sortowania materiałów sypkich. Wydajność procesu przesiewania jest funkcją m.in. wartości i kierunku sił działających na mieszaninę. Siły te zależą od wartości parametrów ruchu, jaki wykonują elementy robocze przesiewaczy. W większości przypadków są to sita wykonujące złożony ruch obrotowy. Rzadko jednak konstruktorzy zadają sobie trud zoptymalizowania wartości parametrów tego ruchu pod kątem osiągnięcia maksymalnej wydajności procesu.

Jednym z tematów badawczych podjętych przez członków Koła Naukowego Solid Edge z Katedry Eksploatacji Maszyn ATR w Bydgoszczy było przeprojektowanie jednego z istniejących przesiewaczy w sposób gwarantujący maksymalną możliwą wydajność procesu. Przeprojektowanie to polegać miało na wyznaczeniu optymalnej prędkości obrotowej stosu sit, łącznej masy elementów wirujących, wartości mimośrodowo dzwigni napędzającej obejmę sit, a także wartości sztywności sprężyn sprzęgających obejmę z podłożem. Ważniejszym z etapów prowadzonych prac jest dokonanie numerycznej analizy dynamicznej przesiewacza, polegającej na wyznaczeniu sił działających na jego wybrane elementy (obrócze, sita i przede wszystkim sypką mieszaninę) podczas pracy urządzenia.

W celu przeprowadzenia analizy numerycznej niezbędne było wykonanie modelu 3D obiektu, do czego wykorzystano program Solid Edge V14, produkt firmy EDS. Jednym z czynników przemawiających za tym wyborem była ogromna liczba ulepszeń tego środowiska w jego najnowszej, 14. wersji. W artykule opisano metodologię tworzenia modelu 3D przesiewacza.



Rys. 1. Dzięki nowoczesnej technologii modelowania powierzchniowego Rapid Blue uzyskanie złożonych kształtów nie stanowi problemu, a użytkownik ma pewność geometrycznej poprawności kształtu modeli.

Proces modelowania pojedynczych elementów przesiewacza

Proces modelowania urządzenia przeprowadzono według zasady *Reverse Engineering*. Autorzy otrzymali do dyspozycji istniejący obiekt rzeczywisty, po którego zwymiarowaniu utworzono tymczasową dokumentację wykonawczą. Na jej podstawie wykonano parametryczne modele powierzchniowe. Dzięki osiągalnej w SE V14 unikalnej technologii modelowania powierzchniowego *Rapid Blue*, z łatwością zamodelowano złożone kształty obejmujące sito, osłony przekładni napędowej oraz korpusu (rys. 1).

Trójwymiarowe elementy powierzchniowe cechuje łatwość edycji ich kształtu, nieosiągalna w przypadku technik modelowania bryłowego. Dodatkowo, w celu skrócenia czasu trwania prac oraz zyskania pewności osiągnięcia ich poprawności już za pierwszym razem, wielokrotnie wykorzystywano możliwość tzw. edycji dynamicznej kształtu powierzchni. Dzięki temu narzędziu można było w czasie rzeczywistym obserwować wpływ zmian wprowadzonych w modelach powierzchniowych na kształt ostateczny elementów, w celu maksymalnego upodobnienia ich do obiektów rzeczywistych.

W zamodelowanych elementach przeanalizowano płynność zmian krzywizny powierzchni, a także przeprowadzono proces wykrywania ewentualnych nieciągłości ich krawędzi. Dokonano tego dzięki analizie typu „zebra“ (będącej nowością w 14. wersji programu Solid Edge), która polega na rzucaniu prążków pomiarowych na badane modele powierzchniowe (rys. 2).

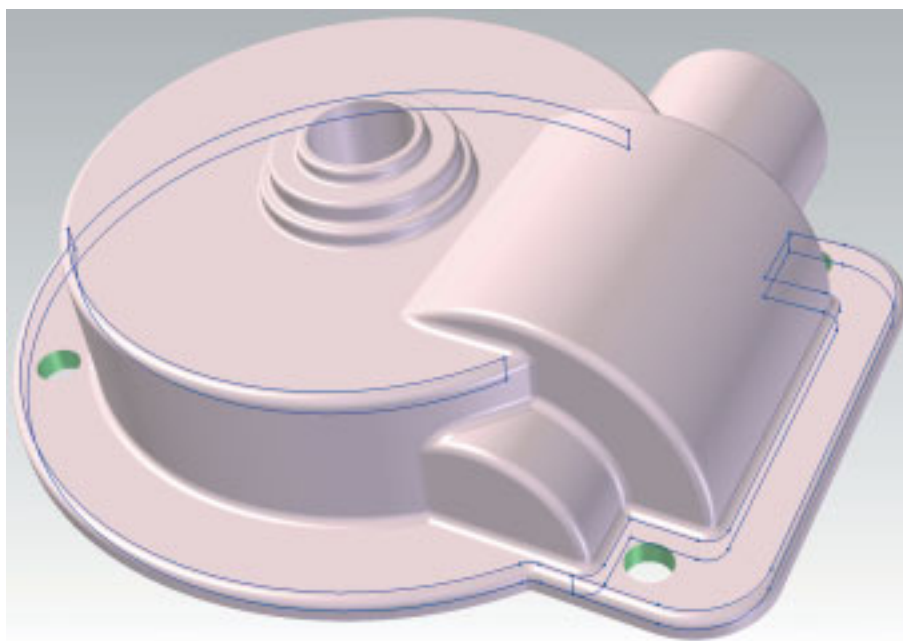


Rys. 2. Analiza typu „zebra“ w ogromnym stopniu ułatwia wykrywanie nieciągłości powierzchni oraz ich krawędzi.

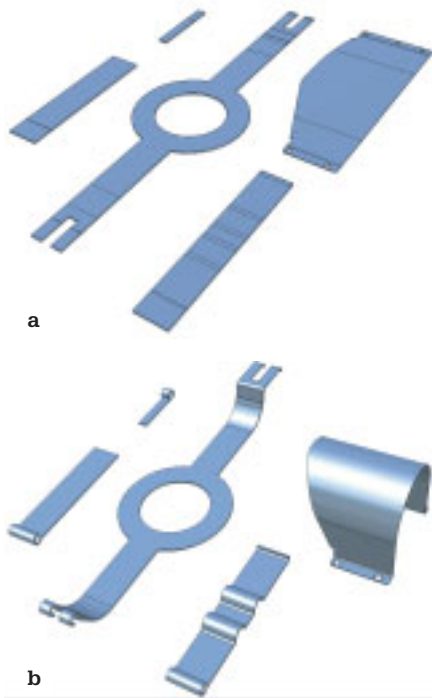
Modele powierzchniowe przekształcono w części bryłowe. Po zszyciu wszystkich powierzchni ograniczających objętość danego elementu przy pomocy polecenia *Stitched Surface system* samoczynnie zadaje pytanie, czy zamienić zbiór zamkniętych powierzchni w część bryłową. Jeżeli użytkownik dokonuje manualnej transformacji elementów powierzchniowych w bryłowe, powinien skorzystać z polecenia *Show Non-Stitched Edges*, dzięki któremu wykryć można krawędzie tych powierzchni, które jeszcze nie zostały zszyte (rys. 3). Pracując już z częściami bryłowymi, należy dla każdej z nich dobrać z biblioteki odpowiedni materiał. Mając dane o jego

gęstości, program Solid Edge V14 automatycznie przypisuje bryłom wartości podstawowych wielkości fizycznych (m.in.: masę, objętość, momenty bezwładności, ramiona bezwładności, współrzędne środków masy i objętości) w wybranym przez użytkownika układzie współrzędnych oraz w zdefiniowanych przez niego jednostkach miary.

Pewna część elementów przesiewacza nie ma tak skomplikowanych kształtów, aby do ich zamodelowania stosować techniki powierzchniowe. Są to m.in. części gięte z wykrawanej blachy – ich geometria jest ściśle uzależniona od procesu technologicznego wytwarzania. Modelowanie tego



Rys. 3. Aby wykryć krawędzie powierzchni nieposztywnych, należy posłużyć się narzędziem *Show Non-Stitched Edges*.



Rys. 4. Wybrane gięte elementy blaszane przesiewacza zamodelowane w module Solid Edge V14: Sheet Metal:
a) części wykrojone,
b) części obrobione plastycznie.

typu części należy przeprowadzić w module Solid Edge V14: Sheet Metal, gdzie pierwszym krokiem jest założenie grubości elementów, a także wartości minimalnego promienia gięcia. Części blaszane o złożonym kształcie modeluje się w Sheet Metal naprawdę łatwo dzięki ogromnej liczbie narzędzi służących do nadania im kształtu wynikającego z przeprowadzonego zabiegu obróbki plastycznej, a także zautomatyzowaniu wielu czynności, np. wykonywania podcięć technologicznych w miejscu gięcia z promieniem bliskim minimalnemu. Program umożliwia dokonanie rozwinięć elementów blaszanych w celu określenia kształtu półfabrykatu, a także zaprojektowania wykrojnika. Kształt elementów wykrojonych przedstawiono na rys. 4a, natomiast efekt przeprowadzonych na nich zabiegów obróbki plastycznej – na rys. 4b.

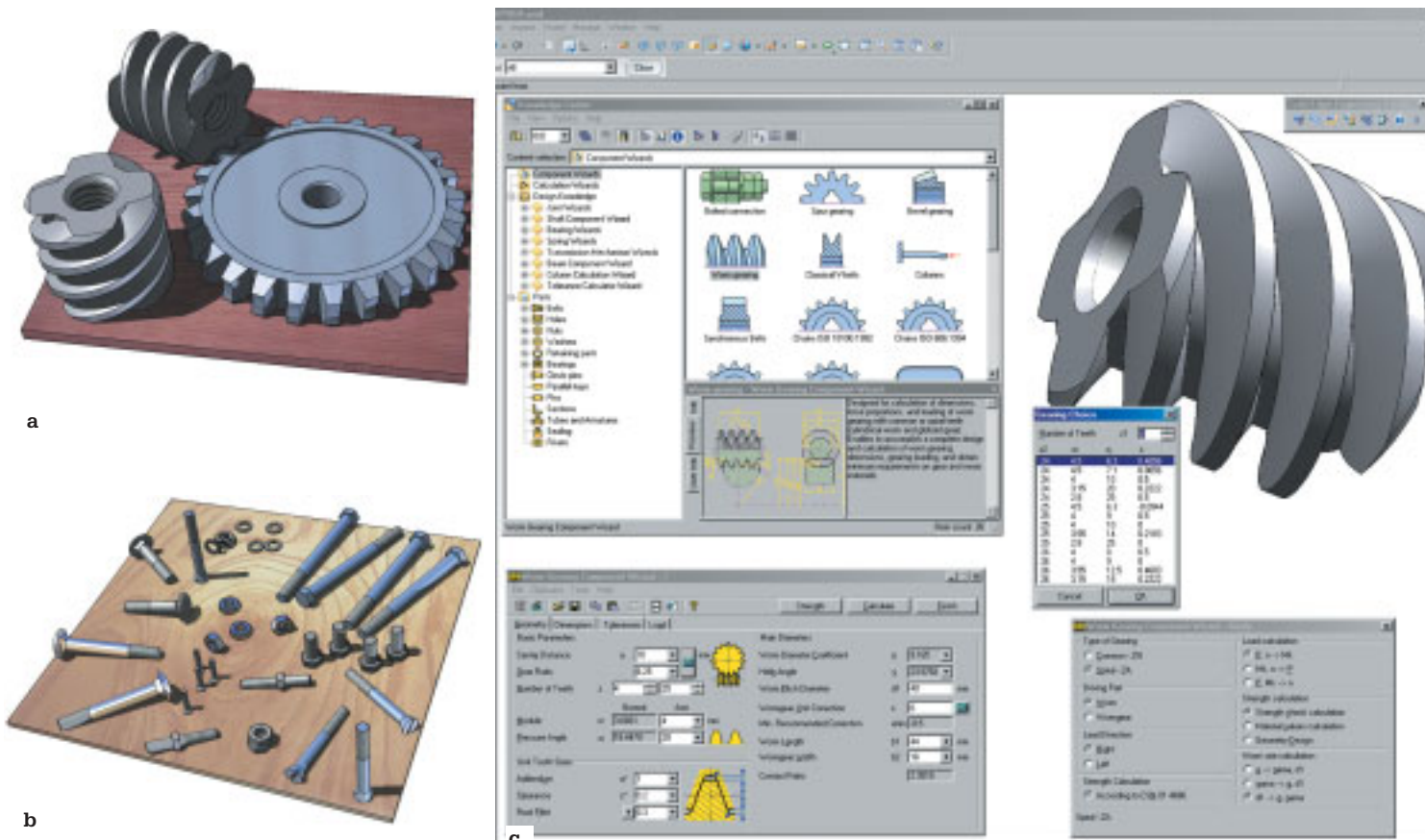
Dzięki narzędziu *Engineering Handbook* wygenerowano modele wielu elementów stosowanych w praktyce jako części gotowe. Do części takich należą m.in. ślimak i ślimacznica przekładni napędzającej stos sit. Poza tym dzięki *Engineering Handbook* równie szybko zaprojektować można szeroką gamę typowych części maszyn, tj. różne koła zębate np. o zębach prostych lub śrubowych, koła pasowe, koła pasowe zębate, wielowypusty,

sprężyny – np. śrubowe lub talerzowe, łożyska, wpusty, krzywki, łączniki gwintowe itd. Dodać należy, że w programie Solid Edge V14 nie tylko możliwe jest wygenerowanie złożonych kształtów części maszyn, lecz również przeprowadzenie ich obliczeń sprawdzających według formuł gotowych lub samodzielnie stworzonych przez użytkownika.

Na rys. 5 przedstawiono wygenerowane dzięki *Engineering Handbook* części: elementy przekładni ślimakowej (a) oraz łączniki gwintowe (b). Interfejs narzędzia podczas obliczeń sprawdzających poprawność wartości parametrów geometrycznych ślimaka przedstawiono na rys. 5c.

Proces modelowania złożów części przesiewacza

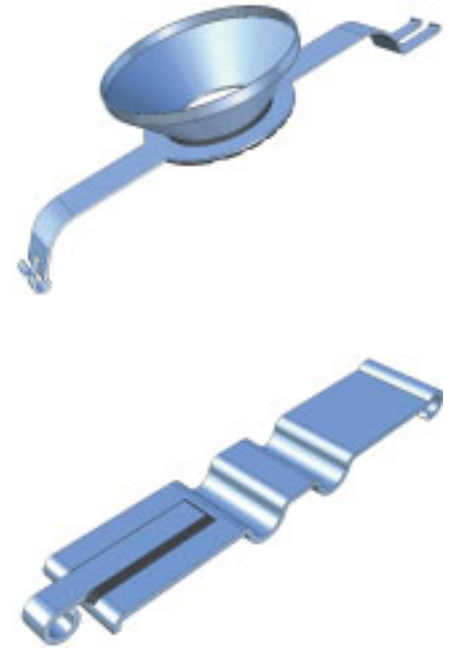
W programie Solid Edge V14 specjalizowanym modulem służącym do projektowania złożów części jest *Assembly*. Od ósmej wersji Solid Edge, dzięki dostępnemu w *Assembly* narzędziu *Capture Fit*, użytkownik ma możliwość uzupełnienia plików części lub złożów o informacje dotyczące lokalizacji wybranych elementów podczas ich wielokrotnego umieszczania w jednym lub wielu złożeniach. Dzięki temu ponowne osadzanie w pliku *Assembly* plików .par, .psm, .pwr lub .asm już raz osadzonych jest bardzo proste i zajmuje



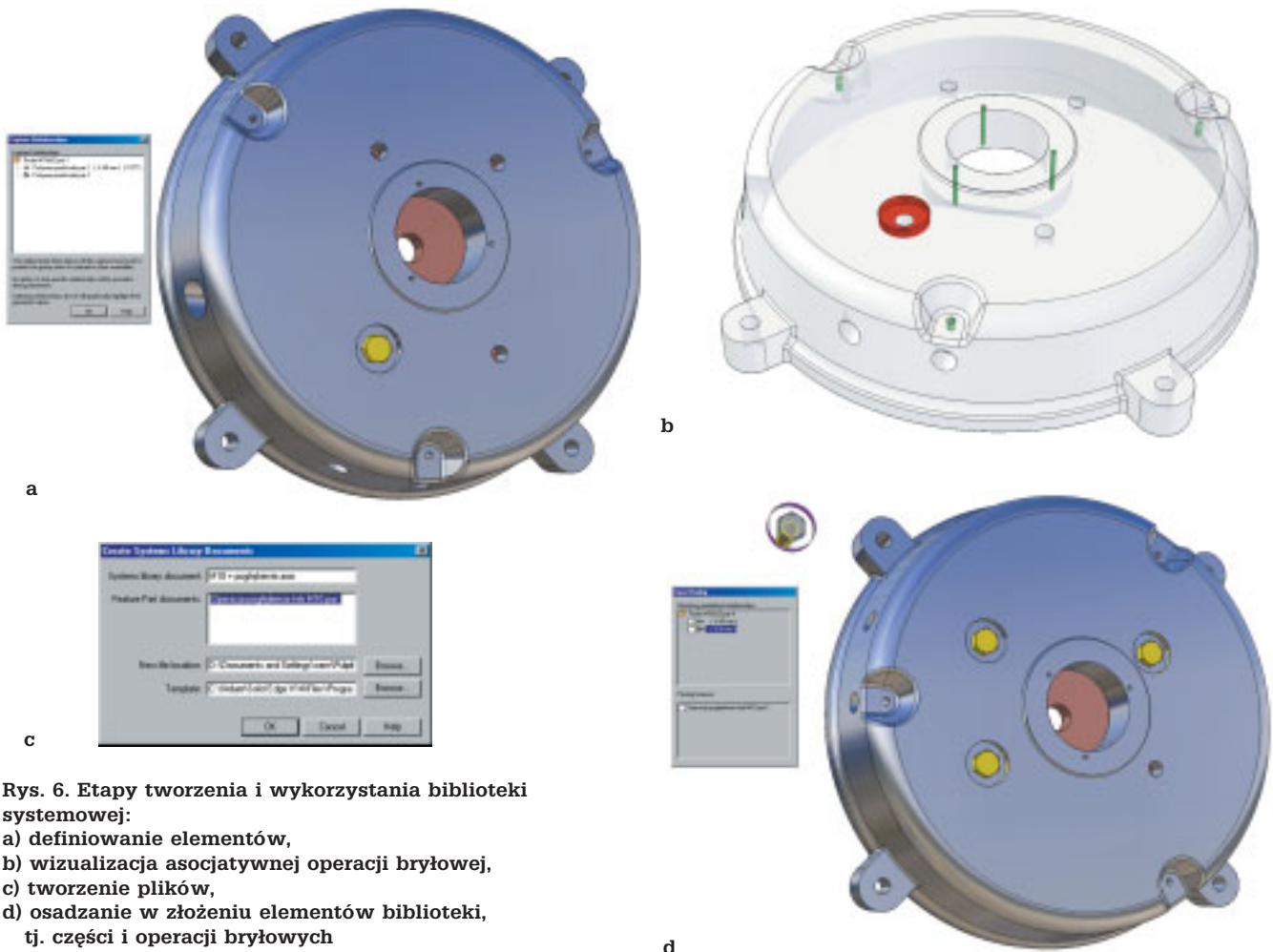
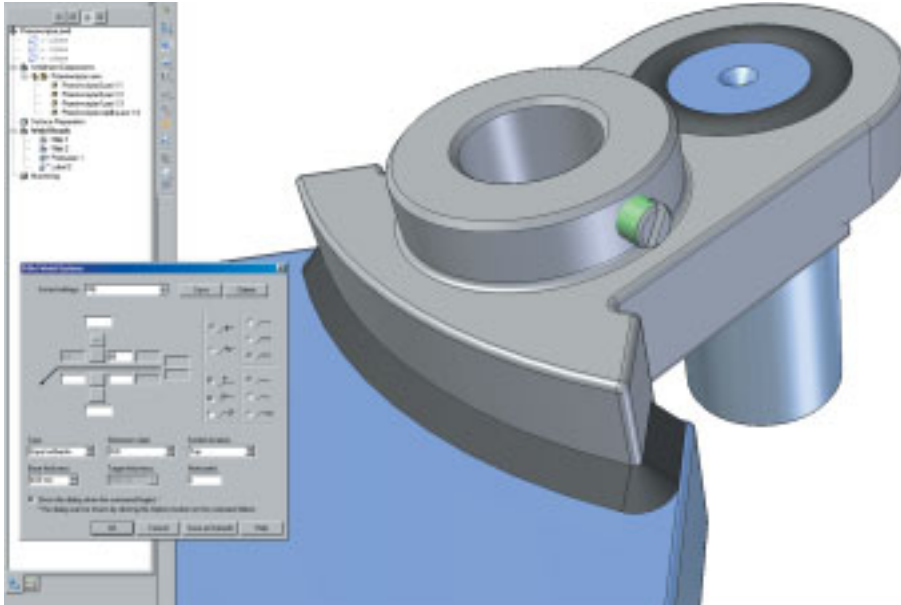
Rys. 5. Dzięki narzędziu Engineering Handbook możliwe jest m.in.:
a) zamodelowanie elementów przekładni ślimakowej, b) wygenerowanie łączników gwintowych,
c) przeprowadzenie inżynierskich obliczeń sprawdzających

niewiele czasu – części zostają „nauczone“, jak mają być umieszczane w złozeniu. Najważniejszą nowością 14. wersji modułu Assembly jest możliwość tworzenia tzw. bibliotek systemowych (*Systems Library*), czyli zbiorów części wyposażonych nie tylko w informacje o ich lokalizacji w złozeniu, lecz również o operacjach bryłowych, które mają zostać wykonane w częściach, względem których elementy zgrupowane w bibliotece systemowej będą

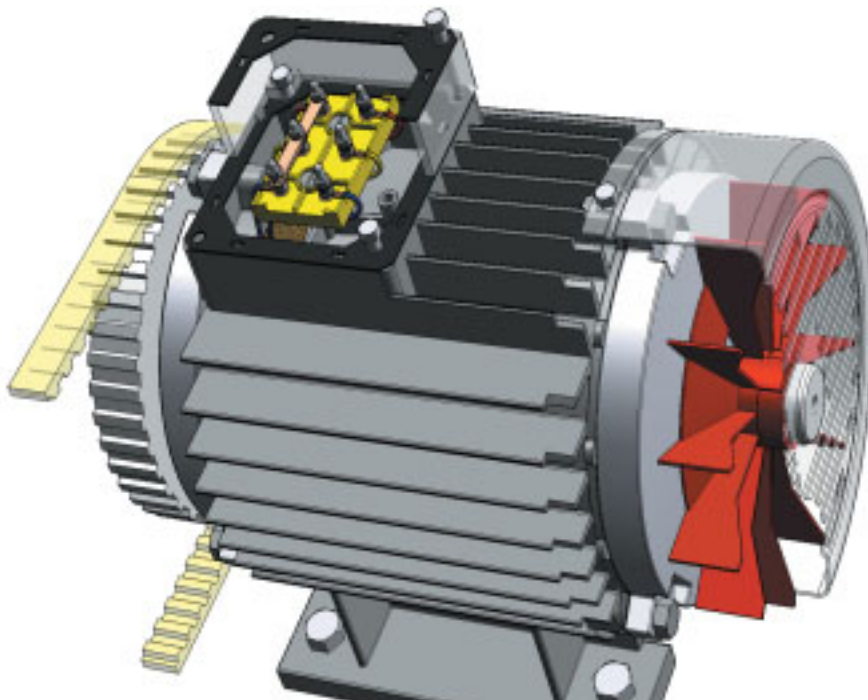
w złozeniu osadzone. W przypadku modelu przesiewacza biblioteki systemowe zostały utworzone m.in. dla większości łączników gwintowych, tj. śrub i wkrętów. Po umieszczeniu śruby danego typoszeregu w otworze korpusu, dzięki narzędziu *Insert-Part Copy* wykonano asocjatywne zagłębienie w korpusie pod łeb śruby (rys. 6a). Jako składniki biblioteki systemowej uznano następnie model śruby, wszystkie relacje niezbędne do jej utwierdzenia oraz operację



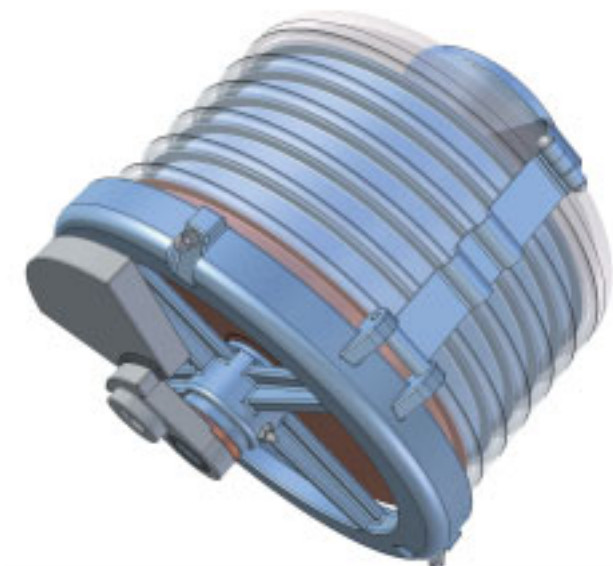
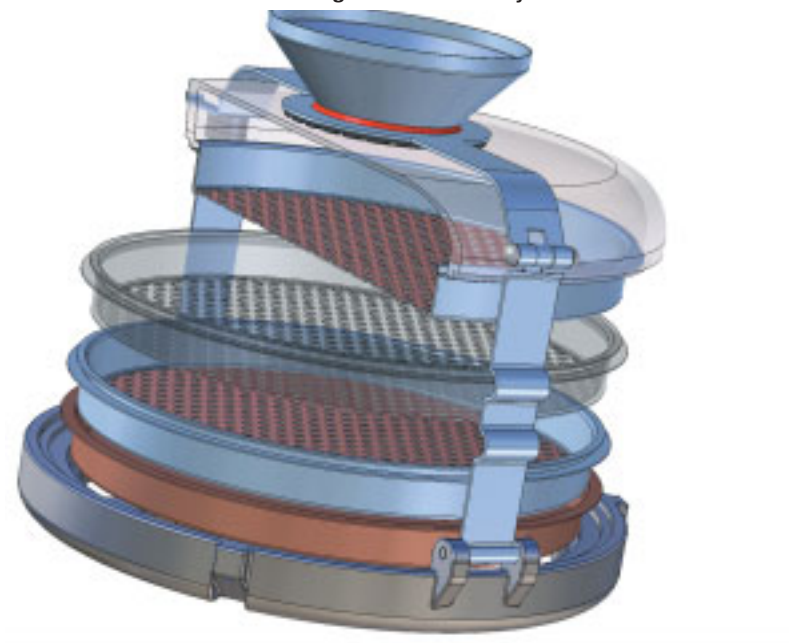
Rys. 7. Wybrane połączenia spawane zamodelowane w module Solid Edge V14: Weldment. (obok i powyżej)



Rys. 6. Etapy tworzenia i wykorzystania biblioteki systemowej:
a) definiowanie elementów,
b) wizualizacja asocjatywnej operacji bryłowej,
c) tworzenie plików,
d) osadzanie w złozeniu elementów biblioteki, tj. części i operacji bryłowych



Rys. 8. Silnik elektryczny napędzający stos sit przesiewacza z kompletnym okablowaniem skrzynki wykonanym dzięki zestawowi narzędzi XpresRoute, obecnemu w module Solid Edge V14: Assembly.



Rys. 9. Stos sit w widoku częściowym i całkowitym.
(obok i powyżej)

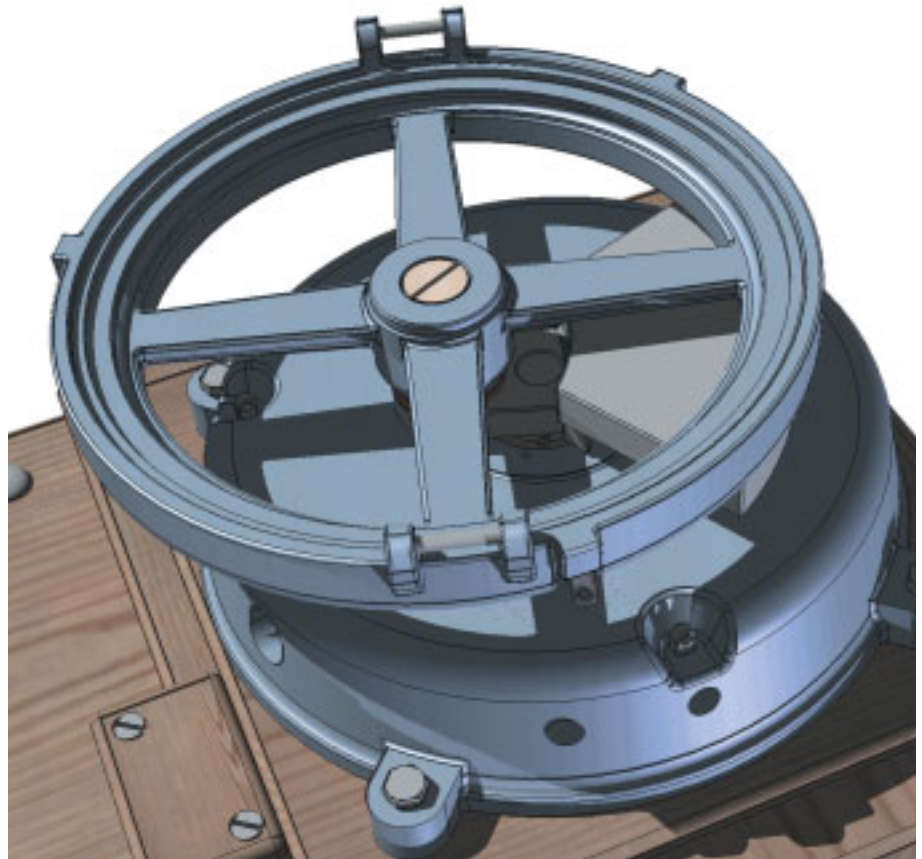
wykonania asocjatywnego pogłębienia (rys. 6b). Zdefiniowano lokalizację elementów biblioteki systemowej w przestrzeni systemowej (rys. 6c). Wykorzystując już zdefiniowane składniki biblioteki, dodano następnie wszystkie kolejne niezbędne śruby i wkręty danych typoszeregów. Oczywiście asocjatywne otwory pogłębiające pod łączy łączników gwintowych zostały wówczas wykonane automatycznie (rys. 6d). Wielu użytkowników wskazuje na ogromne korzyści wynikające z używania modułu Solid Edge V14: *Weldment*, służącego do modelowania połączeń spawanych. Pracę z modułem *Weldment* można podzielić na cztery etapy – pierwszy (*Weldment Components*) polega na asocjatywnym zaimportowaniu z modułu Solid Edge V14: *Assembly* pliku złożenia części przeznaczonych do zespawania. Istnieje tu możliwość wskazania elementów, które pomimo swej obecności w złożeniu nie zostaną ze sobą spójone. Podczas kolejnego etapu (*Surface Preparation*) wykonuje się operacje bryłowe odpowiadające zabiegom technologicznym przygotowywania powierzchni i krawędzi części do późniejszego położenia na nich ściegów spawalniczych. Trzeci etap (*Weld Beads*) polega na wygenerowaniu śladów spoin i stworzeniu modeli spoiwa. Większość spoin (np. pachwinowe, czołowe i grzbietowe) może zostać zamodelowana przez system automatycznie (narzędzie *Fillet Weld*) po wskazaniu lic łączonych elementów oraz podaniu wartości parametrów spawalniczych i oznaczeń technologicznych, niezbędnych w dokumentacji wykonawczej. Jeżeli użytkownik chce wstawić spoinę specjalną lub uwzględnić przetop, może zamodelować połączenie manualnie, korzystając z funkcji modelowania bryłowego i narzędzia do nadawania oznaczeń spawalniczych (*Label Weld*). Korzystając z polecenia *Stitch Weld*, można modelować spoiny przerywane. Podczas pracy na czwartym (opcjonalnym) etapie *Machining*, istnieje możliwość wykonania operacji technologicznych dostępnych dopiero po trwałym spoinieniu części. Mogą to być zabiegi obróbki wykańczającej spoiny lub operacje wykonania otworów przechodzących przez kilka lub wszystkie połączone elementy, a także przez ścieg spawalniczy. Dodać należy, że w module *Weldment* użytkownik na każdym z czterech etapów ma możliwość poznania najważniejszych wartości parametrów fizycznych połączenia, a także stworzenia i wyeksportowania raportu, podać jednak należy wartość gęstości spoiwa. Plik połączenia spawanego (.pww) traktowany jest w złożeniach jak plik pojedynczej

części (.par), co jest zresztą zgodne z logiką trwałego łączenia elementów.

Na rys. 7 przedstawiono wybrane połączenia spawane wykorzystane do zamodelowania przesiewacza oraz okno dialogowe narzędzia *Fillet Weld*, gdzie wprowadza się wartości parametrów spawalniczych oraz oznaczenia technologiczne niezbędne w dokumentacji wykonawczej.

W celu stworzenia całkowicie kompletnego modelu przesiewacza, poza zespołem sit oraz przekładnią napędową zamodelowano również silnik elektryczny (rys. 8), będący źródłem momentu obrotowego dla elementów roboczych przesiewacza. Na uwagę zasługuje okablowanie skrzynki silnika wykonane w module Solid Edge V14: Assembly dzięki zestawowi narzędzi *XpresRoute*. Do 11. wersji Solid Edge narzędzia te kojarzyły się wyłącznie z projektowaniem układów rurowych, w tej chwili możliwe jest dzięki nim również projektowanie złożonych instalacji elektrycznych.

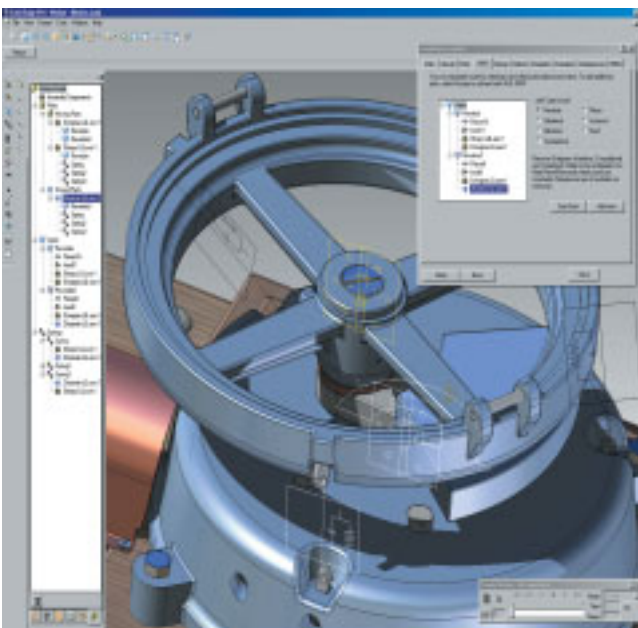
Częściowy i całkowity widok złożenia kompletnego stosu sit przedstawiono na rys. 9, natomiast na rys. 10 zilustrowano widok obejmujący napędową przytwierdzoną do korpusu przesiewacza. Na obu tych rysunkach widać efekt renderingu wykonanego w module Solid Edge V14: Assembly dzięki narzędziom *Virtual Studio*. W łatwy i efektywny sposób można zdefiniować jasność i kolory źródeł światła, określić stopień przezroczystości wybranych elementów, odbić metalicznych, cieni, a także nałożyć tekstury imitujące powierzchnię wybranych materiałów. Poza tym użytkownik może



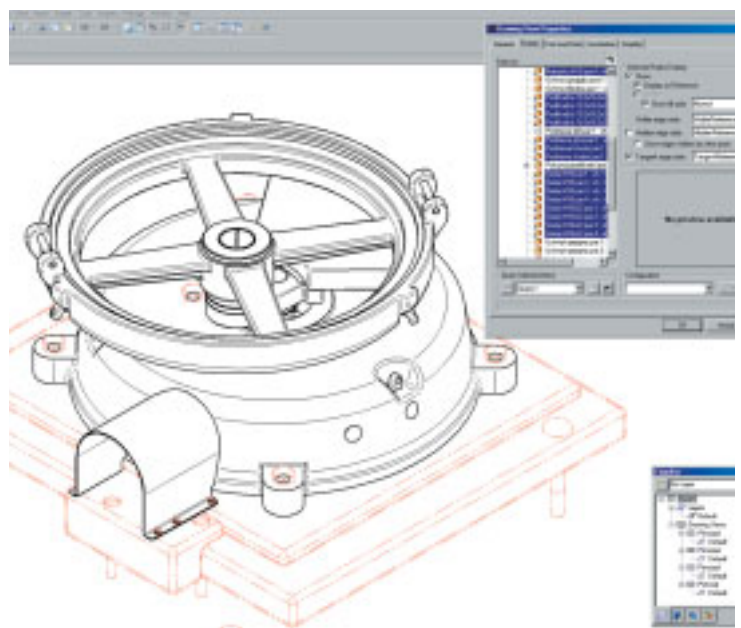
Rys. 10. Dzięki narzędziom służącym do renderingu, osiągalnym w Solid Edge V14, widok złożenia części nabiera realizmu.

wyeksportować plik .avi, w którym może się znajdować odpowiednio skompresowany zapis obrazu, jaki zarejestrowała kamera statyczna (złożenie części może obracać się dookoła wybranej osi) lub kamera poruszająca się po ściśle zdefiniowanej ścieżce. Najistotniejszym etapem prac w Solid Edge V14, ze względu na cel eksperymen-

tu, była numeryczna symulacja pracy roboczych mechanizmów przesiewacza. W tym celu wykorzystano specjalistyczne środowisko Motion obecne w module Solid Edge V14: Assembly. Dzięki bogatej palecie narzędzi programu Solid Edge możliwe jest zasymulowanie pracy dowolnie złożonych mechanizmów.



Rys. 11. Dzięki modułowi Motion możliwe jest zasymulowanie pracy dowolnie złożonego układu kinematycznego.



Rys. 12. Stosowanie zapytań umożliwia odnalezienie na rysunkach wszystkich części spełniających kryteria użytkownika.

Program Solid Edge samoczynnie wykrywa części ruchome podczas symulacji oraz części utwierdzone (elementy odniesienia). Informacjami, z których korzysta wówczas Solid Edge, są odpowiednie relacje nadane pojedynczym częściom i złożeniom podczas ich osadzania w pliku .asm. Jeżeli zamierzenia projektanta odbiegają od sugestii programu, proces doboru elementów ruchomych może być przeprowadzony manualnie. Ogromnym ułatwieniem pracy użytkownika w module *Motion* jest również samoczynne wykrywanie przez program założonych więzów kinematycznych. Jeżeli użytkownik chce dodatkowo dokonać skomplikowania ruchu mechanizmu, może on wyeliminować zasugerowane przez program więzy, edytować je lub stworzyć nowe. Do dyspozycji jest cała gama więzów znanych z teorii mechanizmów, np. więzy płaskie, sferyczne, uniwersalne itd. Poza tym, chcąc przeprowadzić symulację złożoną, pomiędzy odpowiednimi elementami można narzucić połączenia sprężyste, tłumiące lub ich kombinację. Do samodzielnego narzucania warunków symulacji służy narzędzie *IntelliMotion Builder*. Równie łatwe jest definiowanie więzów napędzających model – wybranym więzom swobodnym (*Free Motion Joints*) narzuca się odpowiednie przemieszczenia liniowe, obrotowe lub ich superpozycję. Kwestią oczywistą jest również dowolność edycji wartości i kierunku oddziaływania na pracujące elementy sił grawitacyjnych. Zakończeniem prac w module *Motion* może być wyeksportowanie wyników symulacji numerycznej lub stworzenie pliku .avi, w którym zilustrowane zostaną efekty

wprawienia zamodelowanego urządzenia w ruch o żądanych wartościach parametrów. Proces definiowania odpowiednich więzów kinematycznych modelu przesiewacza przedstawiono na rys. 11.

Proces generowania dokumentacji wykonawczej i złożeniowej

W programie Solid Edge V14 dokumentację wykonawczą, złożeniową oraz inne dokumenty inżynierskie tworzy się w module Solid Edge V14: Draft. Proces wykonywania dowolnych rysunków płaskich obiektów przestrzennych polega przede wszystkim na określeniu dokumentu źródłowego modelu 3D, zdefiniowaniu stopnia widzialności (linie niewidoczne, zasłonięte przez inne części, krawędzie styczne), wybraniu skali oraz odpowiedniego stylu wymiarowania rysunku.

Najważniejszą nowością w 14. wersji modułu Draft jest możliwość tworzenia zapytań (*Queries*) umożliwiających odnalezienie na dowolnym rysunku lub na całej płaszczyźnie dokumentu widoków, przekrojów lub kładów części spełniającego ściśle zdefiniowane kryteria. Tworzenie zapytań, znane doskonale operatorom baz danych, możliwe było w programie Solid Edge do tej pory jedynie w module Assembly. Dzięki stosowaniu zapytań w ciągu kilku sekund na wszystkich widokach i przekrojach naniesionych w dokumentacji złożeniowej przesiewacza odnaleziono łączniki gwintowe oraz elementy podstawy urządzenia. Ponieważ stwierdzono, że widok tych części jest istotny, lecz nie może zaciemniać pozostałych elementów rysunku, przedstawiono je jako tzw. części

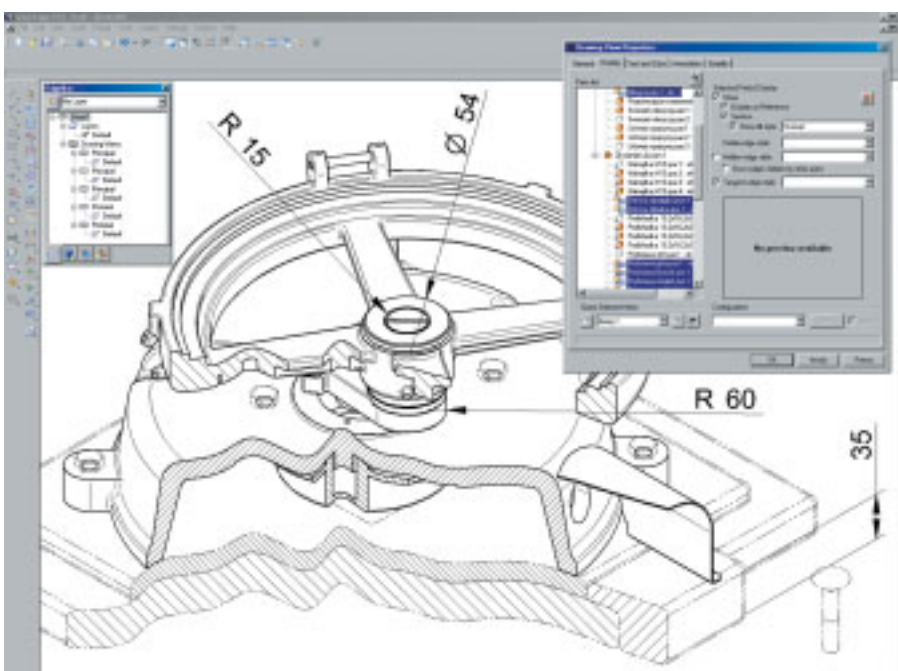
referencyjne – części wizualizowane jako przezroczyste, dodatkowo o uproszczonym stopniu widzialności krawędzi (rys. 12).

Bardzo ważną nowością Solid Edge V14 jest możliwość tworzenia na rysunkach izometrycznych wyrwań (*Broken-Out Section View*) o dowolnej głębokości oraz kształcie, np. edytowanym krzywą *b-spline*. Na jednym rysunku może znaleźć się kilka wyrwań, a użytkownik ma możliwość dodatkowego zdefiniowania, na których częściach wyrwanie nie nastąpi, w celu zwiększenia czytelności dokumentu lub zgodności z zasadami Polskich Norm. Inną nowością zastosowaną w module Draft jest możliwość wymiarowania rysunków izometrycznych narzędziem *SmartDimension*. Widok izometryczny korpusu przesiewacza poddany wyrwaniu, a także z kilkoma naniesionymi wymiarami przedstawiono na rys. 13.

Wnioski

Program Solid Edge V14 jest idealnym narzędziem dla inżyniera projektującego powierzchniowo lub bryłowo części o bardzo złożonych kształtach, łączącego je w funkcjonalne zespoły, a następnie wykonującego profesjonalną dokumentację wykonawczą i złożeniową. Nieocenione są ułatwienia wynikające z pracy w modułach zorientowanych na konkretne procesy technologiczne, np. do modelowania połączeń spawanych oraz modeli części giętych wykrawanych z blachy. W wersji V14 program dorównał aplikacjom z segmentu high-end m.in. pod względem doskonałych i ultranowoczesnych narzędzi służących do modelowania powierzchniowego, natomiast jego cena pozostała na ustalonym poziomie. O doskonałości Solid Edge V14 niech świadczy fakt, że złożony model przesiewacza do materiałów sypekich wykonany metodami modelowania powierzchniowego, a także cyfrowa symulacja jego pracy nie jest dziełem profesjonalistów z branży CAD. Dokonali tego studenci Katedry Eksploatacji Maszyn na Wydziale Mechanicznym ATR w Bydgoszczy zrzeszeni w Kole Naukowym Solid Edge.

Koło Naukowe Solid Edge (KNSE)
opiekun,
mgr inż. Adam Budzyński - asystent
prezes,
Wojciech Bieniaszewski - student
szef PR,
Wojciech Sobkowiak - student



Rys. 13. W module Draft łatwo wymiaruje się rysunki izometryczne, a także umieszcza na nich dowolne wyrwania.

Katedra Eksploatacji Maszyn
Wydział Mechaniczny ATR, Bydgoszcz
budyn@atr.bydgoszcz.pl