

DOSTATNI Ewa, dr inż.

DIAKUN Jacek, mgr inż.,

GRAJEWSKI Damian, mgr inż.

WICHNIAREK Radosław, mgr inż.

KARWASZ Anna, dr inż.

Politechnika Poznańska, Wydział Budowy Maszyn i Zarządzania

Katedra Zarządzania i Inżynierii Produkcji

ewa.dostatni@put.poznan.pl

jacek.diakun@put.poznan.pl

damian.grajewski@put.poznan.pl

radoslaw.wichniarek@put.poznan.pl

anna.karwasz@put.poznan.pl

WIĘZY FUNKCJONALNE ZORIENTOWANE NA REPREZENTACJĘ POŁĄCZEŃ W WYROBIE ORAZ ICH IMPLEMENTACJA W SYSTEMIE CAD 3D

Streszczenie:

W artykule przedstawiono koncepcję opisu połączeń w modelu 3D wyrobu w postaci więzów funkcjonalnych zorientowanych na reprezentację połączeń w wyrobie. Zaprezentowano przesłanki dla celów zawarcia szczegółowych danych o połączeniach w modelach tego rodzaju. Zaproponowano formalny model matematyczny opisu połączeń, jego kodowanie w modelu 3D oraz implementację w systemie modelowania 3D. Przytoczono również przykłady nadawania więzów omawianego rodzaju.

1. Wprowadzenie

Jedną z tendencji w projektowaniu i wytwarzaniu wyrobów jest podejście związane z holistycznym ujęciem wszystkich etapów cyklu życia wyrobu. Szeroko pojęte wymagania środowiskowe stawiane producentom, związane zarówno z wymogami prawnymi, ekonomicznymi oraz wizerunkowymi, wymuszają reorientację procesów biznesowych na kwestie związane z recyklingiem, utylizacją oraz odzyskiem materiałów lub komponentów wyrobów. Podejście takie ma również swój wpływ na systemy informatyczne wykorzystywane przez poszczególnych specjalistów zaangażowanych na różnych etapach cyklu życia wyrobu (projektantów, technologów, managerów produkcji, itp.) w zakresie wspomagania prac przez nich podejmowanych. Następuje przede wszystkim integracja procesów poprzez uwspólnianie danych powstających na różnych etapach cyklu życia wyrobu oraz ich udostępnianie za pomocą interfejsów wbudowanych w poszczególne aplikacje. Tendencja ta określana jest wspólnym terminem PLM (Product Lifecycle Management – Zarządzanie Cyklem Życia Wyrobu) [1].

Jedną z cech charakterystycznych dla współczesnego kształtu rozwiązań PLM jest tendencja do wykorzystania raz utworzonego modelu na różnych etapach życia wyrobu bądź

też tworzenie modeli wywiedzionych (powstających) z już istniejącego modelu, w celu użycia go (po odpowiednich modyfikacjach) na innym etapie cyklu życia wyrobu do innych, niż pierwotny, celów. Typowym przykładem takiej sytuacji jest tworzenie z modelu wyrobu różnego typu list części (materiałowa, produkcyjna, serwisowa) niezbędnych na innych etapach cyklu życia wyrobu. Przykładem najnowszych tendencji w tym zakresie jest m.in. możliwość generowania interaktywnych postaci dokumentacji techniczno-ruchowych produktu bazujących na modelu wyrobu. W takiej sytuacji zamiast dokumentacji papierowej, klientowi przesyłana jest dokumentacja elektroniczna, wizualizująca np. proces serwisowania wyrobu. Wymienione przykłady pozwalają na wysnucie wniosku ogólniejszej natury: na poszczególnych etapach cyklu życia wyrobu niezbędne jest wykorzystanie specyficznych dla danego celu modelu wyrobu, zawierającego dane dla niego charakterystyczne z punktu widzenia działań podejmowanych na danym etapie. Modele te najczęściej powstają z innego, już istniejącego modelu, poprzez przekształcanie istniejących struktur oraz dodawanie pewnych specyficznych danych. W ramach linii produktów PLM, oferowanych przez poszczególnych producentów, dostrzec można istotne dysproporcje w zakresie wspierania poszczególnych etapów cyklu życia wyrobu przez narzędzia informatyczne. Bardzo dobrze wspierana jest faza szeroko pojętego projektowania (konstruowanie geometryczne, symulacje, itp.), faz przygotowania produkcji (systemy PPC kolejnych generacji), istotny postęp dokonuje się w zakresie utrzymywania (ang. *maintenance*) oraz serwisowania wyrobu, stosunkowo najslabiej uwzględniane są natomiast początkowe oraz końcowe etapy cyklu życia wyrobu.

Celem ogólnym, w ramach którego opracowano rozwiązanie opisane w niniejszej pracy, jest opracowanie modelu wyrobu, zawierającego dane charakterystyczne z punktu widzenia recyklingu (uwzględnianego w ostatniej fazie cyklu życia wyrobu), umożliwiającego ocenę recyklingową wyrobu już na etapie jego projektowania (uwzględnianego w pierwszych fazach cyklu życia wyrobu).

2. Ocena wyrobu pod kątem jego własności recyklingowych

Ocena wyrobu pod kątem jego własności recyklingowych uwzględnia najczęściej następujące elementy:

1. materiały użyte w wyrobie,
2. połączenia zastosowane w konstrukcji wyrobu,
3. koszty recyklingu.

Szczególnie niekorzystna sytuacja ma miejsce wówczas, gdy w konstrukcji wyrobu użyto trwale połączonych elementów tzw. materiałów niekompatybilnych, tj. materiałów, które nie mogą być razem poddane procesowi recyklingu.

Drugim elementem wpływającym na własności recyklingowe wyrobu są połączenia w nim zastosowane. Określone rozwiązania techniczne w zakresie połączeń użytych w danej konstrukcji mogą wpływać na ocenę tego rodzaju w sposób korzystny lub niekorzystny. Na

przykład: stosowanie połączeń nierozłącznych utrudnia demontaż (a tym samym recykling) wyrobu – korzystniej byłoby w takim przypadku zastąpić połączenia nierozłączne rozłącznymi. Stosowanie z kolei połączeń rozłącznych różnego rodzaju (np. śrub o różnych wymiarach, wkrętów o różnych nacięciach łba, itp.) również wpływa niekorzystnie na proces demontażu – wymaga bowiem stosowania różnych narzędzi.

W ramach ogólnego problemu podjętego przez autorów założono, iż ocena wyrobu będzie odbywać się na drodze automatycznej, tzn. konstrukcja wyrobu będzie oceniana przez odpowiednie algorytmy w trakcie lub po zakończeniu jego konstruowania w typowym środowisku pracy konstruktora, tj. w środowisku modelowania 3D. Z uwagi na specyfikę przyjętych miar oceny modelu, elementy wymienione wyżej, jako mające wpływ na ocenę wyrobu, stanowią dane wejściowe odpowiednich algorytmów. Pociąga to za sobą konieczność rozwiązania problemu pozyskania danych tego rodzaju z modelu 3D wyrobu.

W niniejszej pracy przedstawiono rozwiązanie szczegółowe dotyczące reprezentacji połączeń zastosowanych w modelu. Rozwiązanie to stanowi rozwinięcie autorskiej koncepcji modelowania połączeń, pierwotnie zaimplementowanej w postaci systemu opartego o relacyjną bazę danych [2], stanowiące jednocześnie kontynuację prac prowadzonych w zakresie szeroko pojętego ekoprojektowania w macierzystej jednostce Współautorów niniejszego artykułu [3, 4].

3. Przesłanki dla reprezentowania połączeń w modelu 3D wyrobu

W ramach problemu określenia połączeń zastosowanych w modelu 3D wyrobu istnieją dwie możliwe ścieżki postępowania.

Pierwsza z nich polegałaby na identyfikacji danego połączenia (pozyskaniu danych o konkretnym połączeniu) jedynie na podstawie informacji dostępnych w typowym modelu 3D wyrobu. Składają się na nie: dane geometryczne, struktura wyrobu oraz typowe (standardowe) atrybuty elementów (części oraz podłoży). Z uwagi na brak w standardowych modelach 3D mechanizmów jednoznacznie określających połączenie, dane tego rodzaju musiałyby być pozyskiwane z modelu 3D wyrobu na drodze algorytmicznej. Jednak algorytmiczna identyfikacja cech konstrukcyjnych tego rodzaju jedynie na podstawie modelu (złożenia) geometrycznego wiązałaby się z szeregiem trudności. Są one związane z problemami, po pierwsze, identyfikacji samego połączenia, po drugie zaś (po jego identyfikacji), z jego klasyfikacją. Algorytm taki musiałby bowiem dawać jednoznaczny (oraz prawidłowy!) wynik, stanowiący odpowiedź na następujące podstawowe pytania:

1. Dla dowolnego połączenia w modelu – jakie elementy (części oraz podłożenia) wchodzi w jego skład?
2. Dla dowolnego elementu modelu – w skład jakiego połączenia wchodzi wybrany element?
3. Czy dwa (lub więcej) elementy modelu są ze sobą połączone?
4. Jakie są atrybuty danego połączenia?

W przypadku identyfikacji połączenia z wykorzystaniem części znormalizowanej, potencjalny problem stanowi przede wszystkim duża liczba kombinacji możliwych do zastosowania przez konstruktora więzów geometrycznych dla celów zamodelowania konkretnego połączenia – pociągałoby to za sobą znaczną komplikację algorytmów służących identyfikacji połączenia. Osobnym problemem związanym z takim podejściem jest również identyfikacja połączenia wykonywanego bez elementu łączącego (np. z wykorzystaniem zatrzasku).

Ze względu na powyższe czynniki zdecydowano o przyjęciu innego podejścia. Polega ono na dodaniu do modelu geometrycznego pewnej porcji danych, jednoznacznie opisujących dane połączenie. Dane te byłyby następnie wykorzystywane przez algorytmy automatycznej oceny wyrobu pod kątem recyklingu.

4. Założenia dla reprezentowania połączeń w modelu 3D wyrobu

Dla celów reprezentowania połączeń w wyrobie, przyjęto cztery podstawowe założenia dotyczących takiej reprezentacji.

Założenie 1. Model powinien uwzględniać reprezentację możliwie jak najszerszej grupy stosowanych w konstrukcjach wyrobów połączeń.

Założenie 2. Elementy wyrobu ulegają podziałowi na 3 grupy: elementy łączące (łączniki), elementy łączone oraz elementy łącząco-łączone.

Założenie 3. Reprezentacja połączeń w modelu 3D będzie odbywać się na drodze innej niż więzy geometryczne.

Założenie 4. Model połączeń będzie kodowany w modelu 3D, wykorzystując wyłącznie typowe mechanizmy systemów modelowania 3D.

Bezpośrednią konsekwencją założenia nr 1 jest możliwość reprezentacji połączeń, które zazwyczaj nie są w jakikolwiek sposób implementowane w typowych modelach 3D (np. połączenia klejowe, spawane, zgrzewane). Zbiór rodzajów połączeń, możliwych do zamodelowania przy pomocy omawianego rozwiązania, oparto o prace [5] oraz [6].

W przypadku założenia nr 2 podział przedstawia się następująco:

1. Do pierwszej z grup należą przede wszystkim części znormalizowane, których podstawowym przeznaczeniem jest łączenie części oraz podzespołów w wyrobie. Do tej grupy należą zatem przede wszystkim śruby, wkręty, nakrętki, nity, itp.
2. Do drugiej z grup należą z kolei te elementy wyrobu, które pełnią inną rolę (funkcję), niż łączenie.
3. Do trzeciej grupy należą te elementy, które łączą (integrują) w sobie rolę elementu łączącego oraz inną, nie związaną z łączeniem, funkcję (np. nagwintowane fragmenty korpusów).

Powyższy podział stanowi zatem podział funkcjonalny – określa bowiem funkcje, jaką pełnią poszczególne elementy modelu z punktu widzenia roli w połączeniach. Z uwagi na tę własność omawianego rozwiązania, model taki można określić jako model funkcjonalny zorientowany na strukturę połączeń w wyrobie (w skrócie: funkcjonalny model połączeń).

W ramach założenia nr 3 zdecydowano, iż reprezentacja ta polega na wiązaniu wybranych elementów modelu w grupy, przy czym pojedyncza grupa odzwierciedla konkretne połączenie, zaś dodatkowe atrybuty jednoznacznie opisują (kategoryzują) dane połączenie. Z tego względu założony sposób definiowania połączeń jako powiązanych logicznie grup elementów można określić (ze względu na analogię do więzów geometrycznych) mianem więzów funkcjonalnych zorientowanych na strukturę połączeń w wyrobie (w skrócie: funkcjonalnymi więzami połączeniowymi).

5. Formalny opis modelu połączeń

Praktyczna implementacja omawianego rozwiązania poprzedzona została opracowaniem modelu formalnego, opisującego połączenia w wyrobie. Model ten oparto o pojęcie hipergrafu ważonego. Hipergraf jest to uogólnienie pojęcia grafu, w którym pojedyncza krawędź (zwana w tym wypadku hiperkrawędzią) może być incydentna do więcej niż dwóch wierzchołków [7]. W przyjętym modelu wierzchołki hipergrafu reprezentują części łączone lub łącząco-łączone, hiperkrawędzie (krawędzie hipergrafu) – połączenia (1 hiperkrawędź = 1 połączenie), atrybuty danego połączenia reprezentowane są z kolei przez wagi hiperkrawędzi. Zastosowanie pojęcia hipergrafu pozwala na proste pod względem formalnym ujęcie sytuacji, w której łączone są więcej niż dwa elementy modelu.

W utworzonym zbiorze części wyrobu P jest sumą zbiorów M , L oraz ML :

$$P = M \cup L \cup ML$$

gdzie:

$M = \{M_1, M_2, M_3, \dots, M_n\}$ – zbiór elementów (części i podzespołów) łączonych,

$L = \{L_1, L_2, L_3, \dots, L_k\}$ – zbiór elementów łączących,

$ML = \{ML_1, ML_2, ML_3, \dots, ML_m\}$ – zbiór elementów łącząco-łączonych.

Struktura więzów funkcjonalnych jest opisana hipergrafem:

$$G = (K, C, w)$$

gdzie:

$K = M \cup ML$,

$C = (C_1, C_2, C_3, \dots, C_i)$ – zbiór hiperkrawędzi reprezentujących połączenia (jedna hiperkrawędź C_j odpowiada jednemu połączeniu; stanowiąc jednocześnie reprezentacją pojedynczego więzu funkcjonalnego),

$w = (w_1, w_2, w_3, \dots, w_i)$ – zbiór wag hiperkrawędzi, reprezentujących szczegółowe atrybuty połączenia.

Waga w_j ($j = 1, \dots, i$) hiperkrawędzi stanowi z kolei trójkę:

$$w_j = (L_j, t, u)$$

gdzie:

$L_j \in L$ – podzbiór L_j zbioru elementów łączących,

t – atrybut określający charakter połączenia ($t \in \{\text{rozłączne, nierozłączne}\}$),
 u – atrybut określający rodzaj połączenia ($u \in \{\text{spawane, lutowane, klejone, nitowane, skurczowe, uzyskane przez obróbkę plastyczną, ustalające, wciskowe, kielichowe, kołnierzowe, klinowe, wpustowe, wielowypustowe, gwintowe, wtlaczane, sworzniowe i kołkowe}\}$)

Dla przykładu przedstawionego na rysunku 1, opis formalny połączeń przedstawia się następująco:

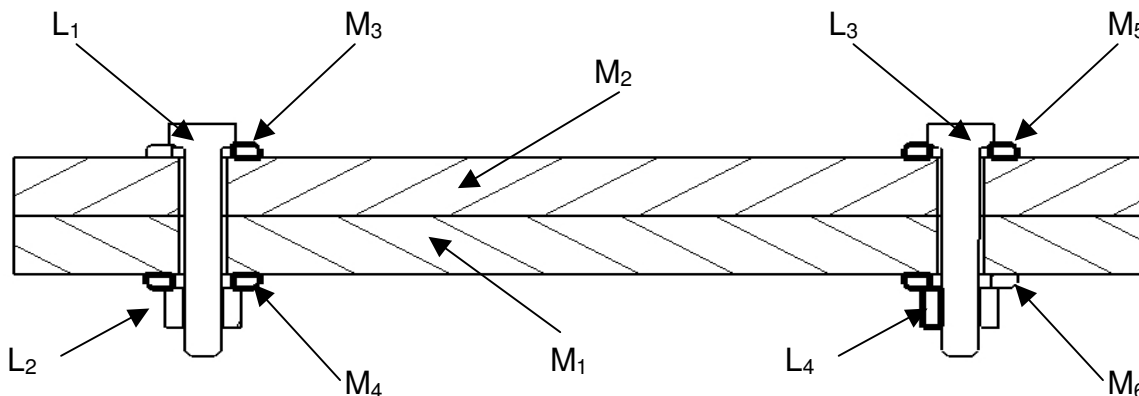
$M = \{M_1, M_2, M_3, M_4, M_5, M_6\}$ – zbiór elementów łączonych (kształtowniki i podkładki),

$L = \{L_1, L_3, L_2, L_4\}$ – zbiór elementów łączących (śruby i nakrętki),

$C = (C_1, C_2)$, $w = (w_1, w_2)$ – zbiór dwóch hiperkrawędzi ważonych (pomiędzy elementami łączonymi występują dwa połączenia),

$C_1 = (M_1, M_2, M_3, M_4)$, $w_1 = (\{L_1, L_2\}, \text{rozłączne, gwintowe})$ – zdefiniowanie rozłącznego połączenia gwintowego pomiędzy płaskownikami M_1 i M_2 oraz podkładkami M_3 i M_4 za pomocą śruby L_1 i nakrętki L_2 ,

$C_2 = (M_1, M_2, M_5, M_6)$, $w_2 = (\{L_3, L_4\}, \text{rozłączne, gwintowe})$ – j.w., dla płaskowników M_1 i M_2 oraz podkładek M_5 i M_6 za pomocą śruby L_3 i nakrętki L_4 .



Rys. 1. Przykład połączenia dwóch kształtowników (M_1 i M_2) przy pomocy dwóch śrub (L_1 i L_3) z nakrętkami (L_2 oraz L_4) oraz czterech podkładek (M_3, M_4, M_5, M_6)

6. Implementacja modelu w środowisku systemu CAD 3D

W celu implementacji ww. modelu formalnego w środowisku systemu CAD 3D konieczne było opracowanie sposobu jego kodowania. Kodowanie to odbywa się za pomocą łańcuchów znaków (ang. *strings*) w sposób następujący (poszczególne składowe łańcuchów separowane są znakiem „;” (średnik)):

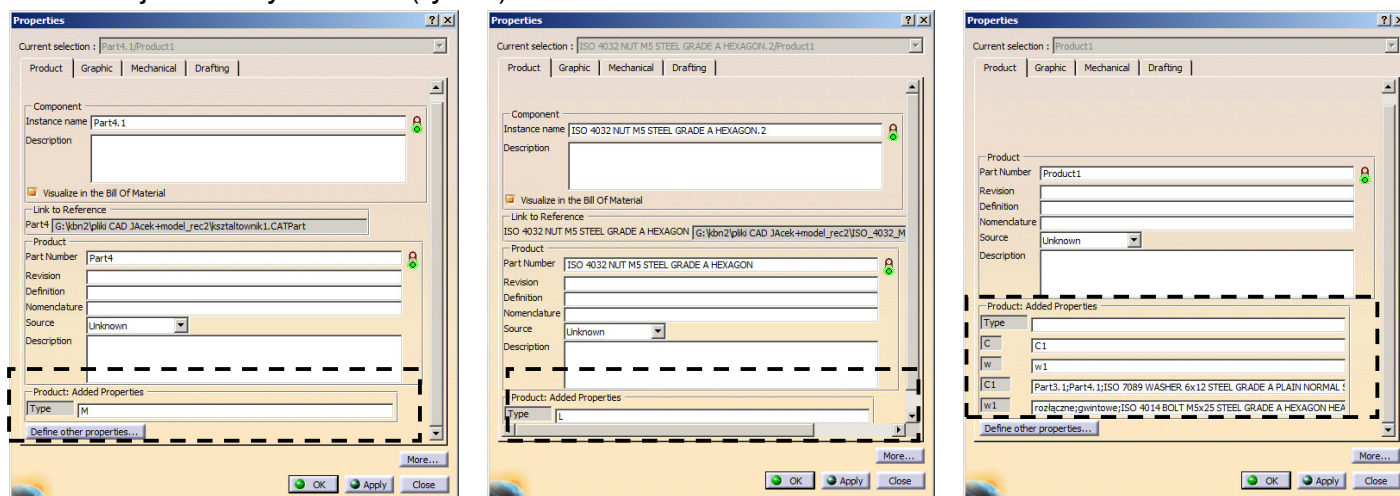
1. typ części (łączące, łączone oraz łącząco-łączone) kodowany jest poprzez wartość łańcucha znaków (odpowiednio „M”, „L”, „M;L”),

2. pojedynczy więz (formalnie multikrawędź C_j) kodowany jest za pomocą dwóch łańcuchów znaków:
 - a. łańcuch, zawierający nazwy części wchodzących w skład połączenia (łączonych lub łącząco-łączonych),
 - b. łańcuch znaków, zawierający: charakter połączenia, rodzaj połączenia, oraz nazwy części łączących.

Kodowanie modelu oparto o dostępną w środowiskach modelowania 3D możliwość definiowania dodatkowych atrybutów (ang. *properties*) części oraz złożeń. W opracowanym sposobie implementacji:

1. typ części implementowany jest poprzez wartość dodatkowo zdefiniowanego atrybutu „Type”,
2. pojedynczy więz (multikrawędź C_j) implementowany jest za pomocą dodatkowo zdefiniowanej pary atrybutów „ C_j - w_j ”.

Z uwagi na możliwość definiowania w większości środowisk CAD 3D dodatkowych atrybutów dla poszczególnych elementów modelu, przyjęty sposób implementacji modelu jest uniwersalny w tym sensie, iż może być zaimplementowany w dużej liczbie systemów różnych producentów (spełnienie założenia nr 4). Dodatkową zaletą tak przyjętego sposobu kodowania jest również zawarcie modelu połączeń w samym modelu 3D, tj. bez zapisu danych w plikach innych niż części i złożenia. Wartościami ww. atrybutów są opisane wcześniej łańcuchy znaków (rys. 2).

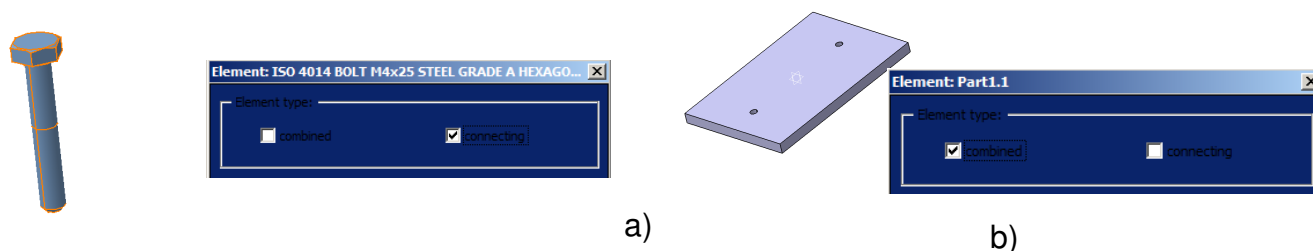


Rys. 2. Przykład kodowania opracowanego mechanizmu więzów funkcjonalnych zorientowanych na połączenia w wyrobie w systemie CAD Catia: a) kodowanie typu części „łączony”, b) kodowanie typu części „łączący”, c) kodowanie pojedynczego połączenia (funkcjonalnego więzu połączeniowego).

7. Tworzenie funkcjonalnych więzów połączeniowych

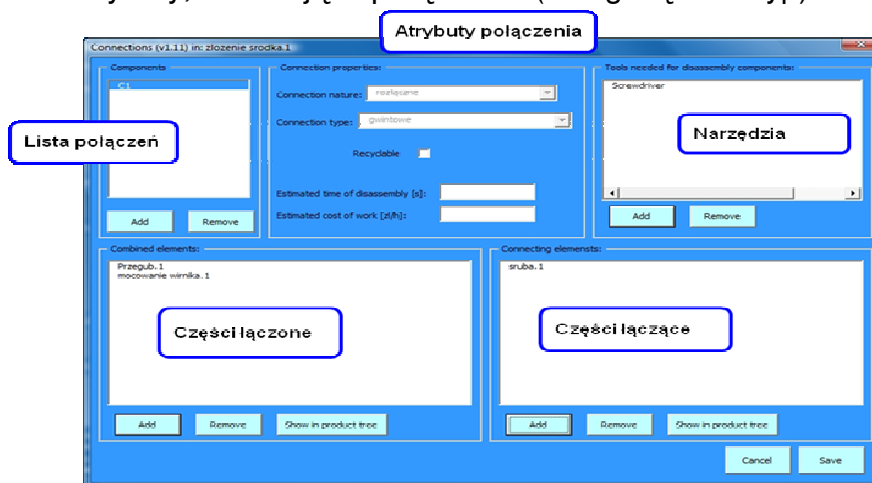
Modelowanie połączeń w wyrobie odbywa się poprzez nadawanie przez konstruktora w trakcie modelowania wyrobu (tworzenia złożenia) więzów omawianego rodzaju. Umożliwiają to dodatkowe funkcje, o które uzupełniono system CAD 3D poprzez oprogramowanie zaproponowanych rozwiązań za pomocą zestawu odpowiednich, działających w jego środowisku, skryptów.

Przed przystąpieniem do właściwego zdefiniowania połączenia, konstruktor (bądź szerzej: operator) musi określić funkcje poszczególnych elementów modelu z punktu widzenia ich roli w połączeniach (łącznie, łączony, łącząco-łączony). Odbywa się to również przy pomocy odpowiedniej opcji utworzonego oprogramowania (rys. 3).

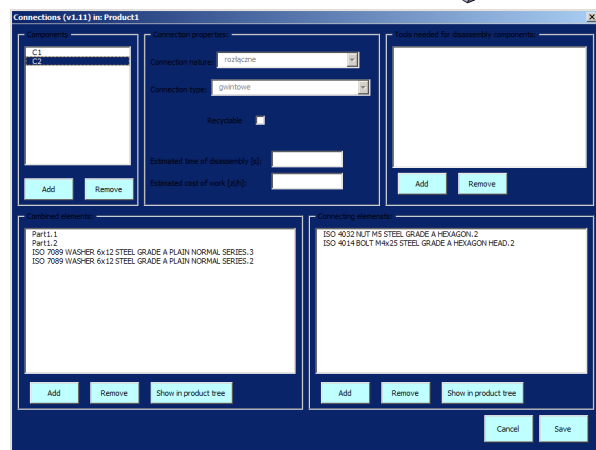
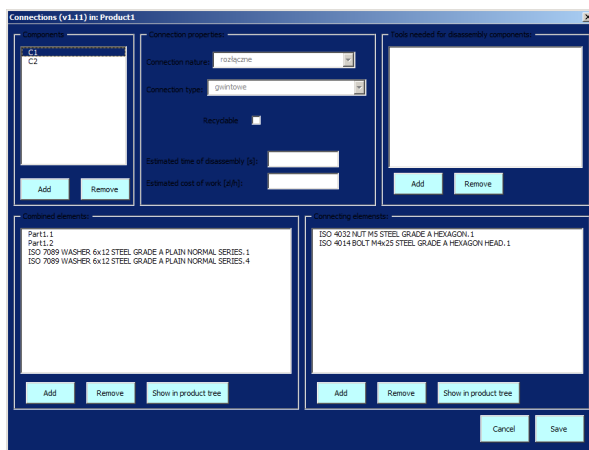
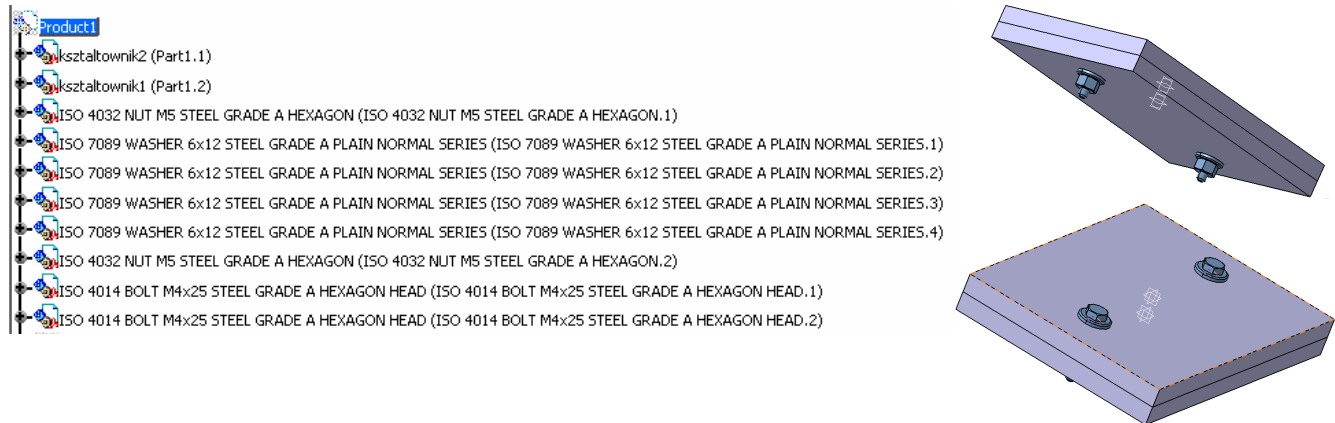


Samo właściwe modelowanie połączenia odbywa się poprzez nałożenie więzu połączeniowego na grupę elementów wchodzących w jego skład. Konstruktor określa w tym wypadku przede wszystkim (rys. 4):

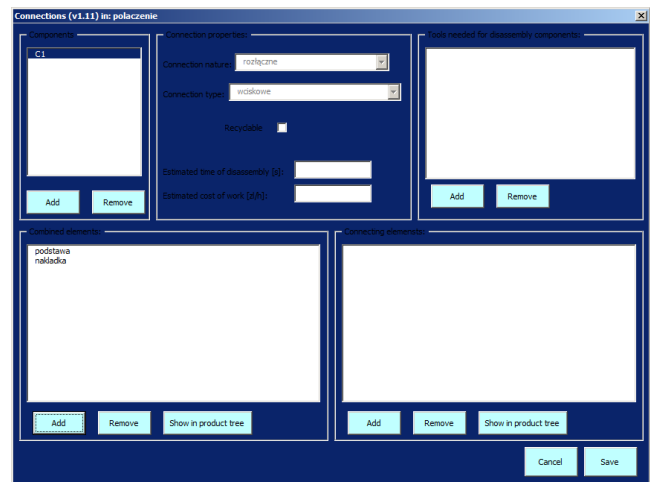
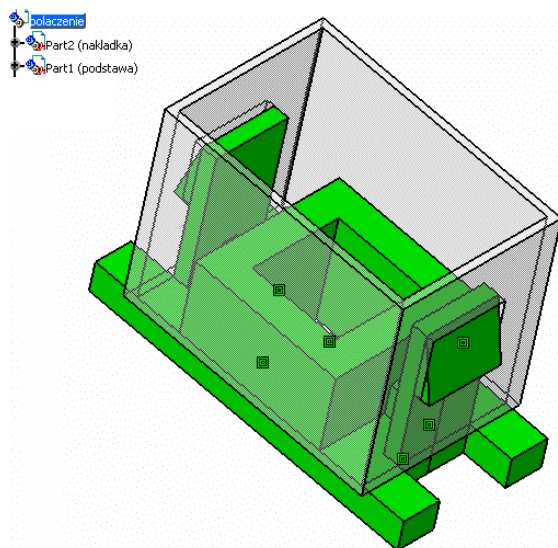
1. elementy (części lub podłożenia) łączone w danym połączeniu,
2. części łączące wykorzystane w danym połączeniu,
3. dodatkowe atrybuty, określające połączenie (kategorię oraz typ).



Na rysunku 5 przedstawiono przykładowe połączenia oraz ich modelowanie przy pomocy nadawania funkcjonalnych więzów połączeniowych.



a)



b)

Rys. 5 Przykłady nadawania funkcjonalnych więzów połączeniowych: a) kształtownik połączony dwoma śrubami oraz nakrętkami (model odpowiadający sytuacji z rysunku 1), b) połączenie bez wykorzystania elementu łączącego.

8. Podsumowanie

Zaproponowane rozwiązanie stanowi oryginalne oraz praktyczne zastosowanie dość abstrakcyjnej formy modelowania, za jaką uchodzi modelowanie funkcjonalne. Rozwiązanie to mogłoby być zaimplementowane jako standardowa funkcjonalność (lub dodatkowy moduł) systemów CAD 3D, dostępnych obecnie na rynku. Pozwala ono również zawrzeć w typowym modelu 3D dane dotyczące wyrobu, których uwzględnienie było dotychczas możliwe przy użyciu specjalistycznych modułów zintegrowanych rozwiązań CAx (np. połączenia spawane), bądź też w ogóle nie były uwzględniane w modelach 3D (np. połączenia klejowe).

Omówione podejście do modelowania wyrobu, tzn. model geometryczny uzupełniony o dane o połączeniach, może zostać stosunkowo łatwo rozszerzony o inne atrybuty, określające np. proces demontażu wyrobu. Daje to potencjalną możliwość rozbudowy funkcjonalności przedstawionego rozwiązania o np. określania potencjalnych ścieżek demontażu oraz analizę ich opłacalności. Działania w tym kierunku będą stanowić dalszy kierunek badań Autorów w ramach problematyki szeroko rozumianego ekoprojektowania.

Literatura

- [1] Niemann J., Tichkiewitch S., Westkamper E., Design of Sustainable Product Life Cycles, Springer-Verlag, Berlin 2009
- [2] Dostatni E., Diakun J., Baza danych wspomagająca proekologiczne projektowanie wyrobów, Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji 4/2010
- [3] Karwasz A., Metoda oceny projektowanych wyrobów uwzględniająca demontaż na potrzeby recyklingu, Rozprawa doktorska, Wydział Budowy Maszyn i Zarządzania, Politechnika Poznańska, Poznań 2008
- [4] Weiss Z., Karwasz A., Computer Aided Recycling Rate Assessment, Academic Journal of Manufacturing Engineering, Vol.6, 3/2008
- [5] Sempruch J., Piątkowski T., Podstawy konstrukcji maszyn z CAD. Połączenia i elementy podatne, Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Pile, Piła 2006
- [6] Żurek J., Duras K., Wizualizacja kolizyjności demontażu wyrobu z zastosowaniem technik komputerowych, Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej Nr 6
- [7] Berge C., Graphs and hypergraphs, North-Holland, 1973