

Anna KARWASZ¹

KOMPUTEROWA SYMULACJA DEMONTAŻU WYROBU

Komercyjne systemy komputerowe typu CAD (ang. *Computer Aided Design*) zawierają moduły wspomagające prace konstruktorów w tworzeniu wirtualnych modeli przestrzennych, symulacji ruchu, wykrywaniu kolizji podczas montażu części, obliczeniach i analizach wytrzymałościowych, dokumentacji konstrukcyjnej. Oprogramowanie może być zastosowane do wirtualnej symulacji demontażu wyrobu celem ukazania kolejnych kroków podziału wyrobu, ścieżek demontażu oraz czasu jego trwania. W artykule opisano możliwość komputerowego symulowania demontażu wyrobu z wykorzystaniem modułów oprogramowania CATIA.

1. WPROWADZENIE

Obecnie coraz częściej podczas projektowania wyrobów zwraca się uwagę na to, co będzie się z nimi działo po zakończeniu etapu użytkowania. Ze względu na ograniczoną powierzchnię wysypisk śmieci, koszty ich utrzymywania, kurczące się zasoby surowców naturalnych, możliwość odzysku i ponownego wykorzystania materiałów takich jak stal, metale kolorowe, szkło, tworzywa sztuczne, powinno się dążyć do takiej konstrukcji wyrobu, by w jak największym stopniu odzyskać materiały, z których został zbudowany. Łatwy i sprawny demontaż gwarantuje wyższy poziom recyklingu i odzysku materiałów. Wysoki odzysk i recykling materiałów wymusiła Unia Europejska, a Polska będąc jej członkiem ma obowiązek spełnić zalecenia i dyrektywy wspólnotowe.

Już na etapie projektowania wyrobów można ocenić w jaki sposób wyrób będzie demontowany, jakie materiały można odzyskać i przetworzyć ponownie, w jaki sposób części będą ze sobą współpracować podczas użytkowania. W tym celu stosuje się systemy komputerowe typu CAD (ang. *Computer Aided Design*) wspomagające prace konstruktorów. Projektant może tworzyć wirtualne modele przestrzenne, symulować ruch współpracujących części, wykrywać kolizję podczas montażu, wykonywać obliczenia i analizy wytrzymałościowe, tworzyć dokumentację konstrukcyjną, symulować obróbkę skrawaniem poszczególnych części zespołu. A to wszystko bez budowania rzeczywistego materialnego wyrobu. Autor zwraca uwagę jakie możliwości posiadają komputerowe systemy wspomagające prace konstruktorów oraz możliwość ich wykorzystania w końcowej fazie cyklu życia jaką jest demontaż i utylizacja wyrobów.

¹ Katedra Zarządzania i Inżynierii Produkcji, Wydział Budowy Maszyn i Zarządzania, Politechnika Poznańska,
E-mail: anna.karwasz@put.poznan.pl

2. DEMONTAŻ WYROBU

Demontaż to usunięcie połączeń między częściami wyrobu, w wyniku którego uzyskuje się odrębne części. W zależności od przeznaczenia lub sposobu wykorzystania uzyskanych części, wyróżniamy demontaż:

- w trakcie montażu – niezalecany,
- w trakcie naprawy i remontów – rozłączenie części przeznaczonych do naprawy, konserwacji lub wymiany niesprawnych na sprawne,
- w trakcie utylizacji – rozłączenie wszystkich części celem wyłonienia grup materiałowych, pogrupowania ze względu na rodzaj materiału i przeznaczenie do odzysku.

Demontaż może być przeprowadzony w sposób nieniszczący, częściowo niszczący lub niszczący i umożliwia [2],[5]:

- separację szkodliwych materiałów i substancji od innych części wyrobu,
- odzysk podzespołów lub części w celu ponownego ich wykorzystania jako części zamiennych,
- rozdzielanie różnych frakcji materiałów w celu przeprowadzenia recyklingu materiałowego (oddzielenie tworzyw sztucznych od metali, papieru, szkła itd.).

Demontaż można również podzielić na: manualny lub mechaniczny.

Manualny demontaż wyrobów jest procesem praco- i czasochłonnym. W zależności od stopnia skomplikowania urządzenia oraz rodzaju użytych w nim materiałów może trwać od kilku (małe urządzenia gospodarstwa domowego, takie jak suszarki do włosów, czajniki elektryczne, wagi) do nawet kilkunastu minut (duże urządzenia AGD, takie jak lodówki, pralki automatyczne, kuchenki). Demontowane podzespoły, zespoły i części segreguje się w celu naprawy bądź w celu wyodrębnienia grup materiałowych. Grupy materiałowe są następnie segregowane i trafiają do różnych pojemników celem ich odzysku i ponownego wykorzystania. Z wyrobów AGD można wyszczególnić następujące grupy materiałowe: metale, metale kolorowe, tworzywa sztuczne, szkło, elementy niebezpieczne, płytki drukowane PCB (ang. *Printed Circuit Board*). Duże elementy tną się na mniejsze części i dostarcza do punktów skupu, na przykład metale kieruje się do punktów skupu złomu, skąd później trafiają do hut [7].

Zaletami demontażu ręcznego są niskie nakłady kapitałowe oraz możliwość stosowania prostych narzędzi (takich jak śrubokręty, młotki, przecinaki), natomiast jego główne wady to czasochłonność oraz ograniczona możliwość swobodnego manipulowania podczas rozbiórki ze względu na wagę niektórych urządzeń.

Oprócz demontażu ręcznego z użyciem prostych narzędzi przeprowadza się również demontaż mechaniczny. Demontaż mechaniczny stosowany jest przez przedsiębiorstwa specjalizujące się w przemysłowym recyklingu urządzeń elektrycznych i elektronicznych.

Demontaż mechaniczny poprzedzony jest demontażem ręcznym. Obsługujący linię demontażu, usuwają z wyrobów baterie, akumulatorki, żarówki, freon. Wyselekcjonowane części umieszczane są w odpowiednio do tego przystosowanych i opisanych pojemnikach. Reszta urządzenia trafia do maszyny mielącej, tak zwanego „szredera”. Stamtąd mniejsze kawałki trafiają do maszyny separującej materiały metalowe, metale kolorowe, tworzywa

sztuczne, szkło, inne. Tak wyselekcjonowane materiały trafiają do zakładów zajmujących się ich dalszą przeróbką.

Właściwe czynności demontażowe polegają na rozkładaniu, tj. na odwrotności składania (montaży) zespołów. W przypadku większych zespołów i całych wyrobów rozkładanie nie zawsze jest odwrotnością montażu [4]. Demontaż niektórych połączeń może być bardzo trudny z uwagi na zużycie wyrobu podczas użytkowania. Urządzenia gospodarstwa domowego używane są przez wiele lat, małe urządzenia AGD średnio od roku do trzech lat, duże urządzenia AGD średnio od pięciu do piętnastu lat. Urządzenia te, w zależności od przeznaczenia, pracują w różnych warunkach, często mają styczność z wilgocią oraz ze środkami chemicznymi (pralki automatyczne, kuchenki gazowe, lodówki, czajniki elektryczne, żelazka). Dlatego czynnikami utrudniającymi demontaż mogą być korozja, zanieczyszczenie, zużycie lub uszkodzenie geometrii podzespołów.

Problemy związane z demontażem wynikają z różnorodności wyrobów w danej grupie przeznaczonej do demontażu, a także z nieuwzględnienia przyszłego demontażu w fazie projektowania. Różnorodność wyrobów sprawia, że ich demontaż nie jest powtarzalny. Wyroby różnych producentów mają różną konstrukcję i różnią się liczbą części, są składane z różnych materiałów i mają nietypowe łączenia. Należy również pamiętać, że nie wszystkie połączenia można rozdzielić, np. połączenia nitowe lub klejone są nierozłączne. Połączenia wtlaczone z dużym wciskiem oraz połączenia skurczowe wymagają zastosowania przy demontażu bardzo dużej siły lub dodatkowych przyrządów, takich jak ściągacze, co wydłuża cały proces [3],[4].

Innym problemem w demontażu wyrobów jest długi czas trwania tego procesu. Często jest to spowodowane zwiększeniem przez producentów liczby typów łączy w celu zapobiegania rozkręcaniu wyrobu przez osoby do tego niepowołane (ochrona utrudniająca dostęp do wnętrza wyrobu). Przykładowo, czajnik bezprzewodowy zmontowany jest za pomocą jedenastu śrub, w tym trzech śrub typu torx, czterech krzyżakowych i czterech płaskich chronionych. Taka różnorodność śrub powoduje konieczność użycia trzech narzędzi, co wydłuża czas rozbiórki. Na czas demontażu wpływa również jego kierunek oraz umiejscowienie elementu łączącego. Przykładowo, umiejscowienie wkrętów lub zaczepów wzdłuż różnych (wszystkich) osi x, y i z wydłuża czas demontażu, ponieważ wyrób musi być wielokrotnie obracany w celu dotarcia do każdej demontowanej części [1].

3. SYMULACJA DEMONTAŻU WYROBU

Moduły CAD pozwalają na generowanie dokumentacji konstrukcyjnej wyrobu, dają możliwość wykrywania kolizji podczas montażu i demontażu podzespołów, pozwalają na symulację ruchu współpracujących części, pozwalają wykonywać obliczenia i analizy wytrzymałościowe. Przykładem takich systemów są CATIA, SolidWorks, Inventor, Pro Engineer i inne. Zaletami systemów 3D są:

- tworzenie fotorealistycznych widoków modeli 3D,
- tworzenie, zarządzanie i analizowanie dokumentacją techniczną, oraz zarządzanie wszelkimi formatami dokumentacji pojawiającymi się w firmie,

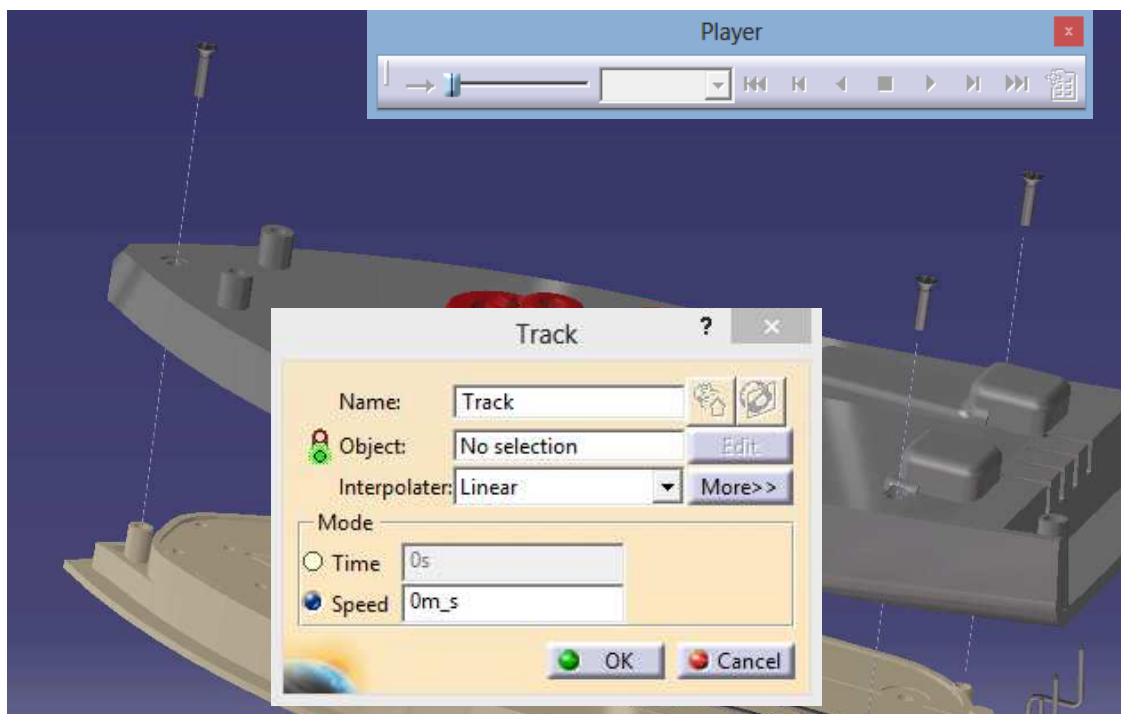
- możliwość szybkiego przeglądania i weryfikacji danych na różnych poziomach dostępu,
- łatwy, uporządkowany dostęp do wszelkich danych,
- możliwość szybkiego przeglądania i weryfikacji danych na różnych poziomach dostępu,
- archiwizację danych.

Wadami systemów 3D są wysokie ceny zakupu i wdrożenia w przedsiębiorstwie, sięgające kilkudziesięciu tysięcy złotych.

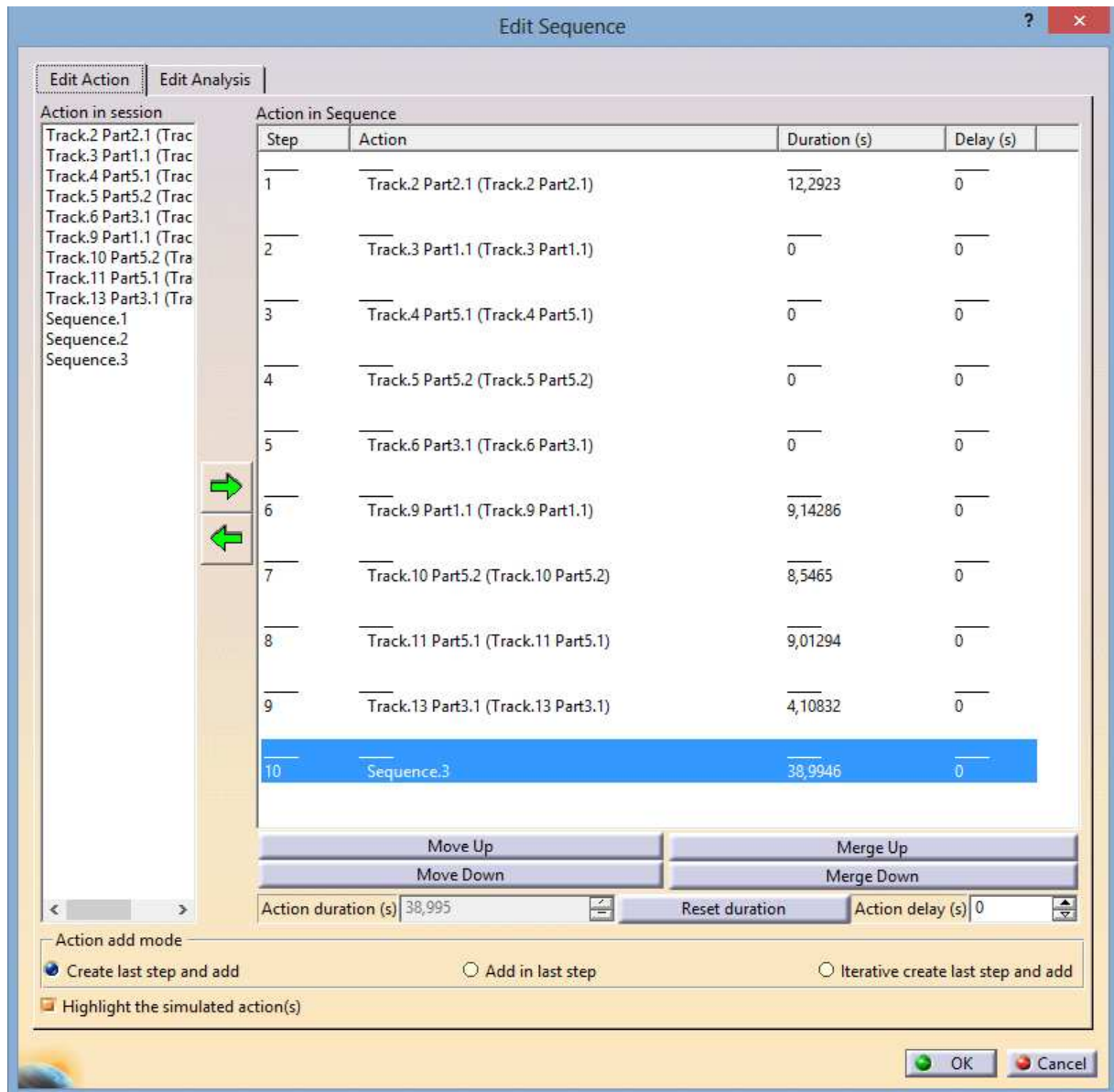
Wspomniany system CATIA posiada moduły wspomagające, między innymi:

- Mechanical Design – Part Desig – do modelowania bryłowego pojedynczej części,
- Generative Shape Design – do modelowania powierzchniowego,
- Mechanical Design – Assembly Design – do tworzenia złożeń, analizowanie złożeń, wykrywanie kolizji, analizowanie więzów geometrycznych, możliwość symulacji ruch pojedynczych części lub zespołu,
- Mechanical Design – Assembly Drafting – do wykonywania rysunków płaskich,
- Digital Mockup – DMU Fitting Simulator – umożliwia ocenę projektu pod kątem łatwości montażu i demontażu. Udostępnia przydatne informacje na temat przestrzeni zarezerwowanej na wypadek konieczności demontażu wyrobu, które należy uwzględnić w przyszłych modyfikacjach projektu. Ułatwia określenie trajektorii ruchu przy demontażu, ma możliwość nagrania symulacji demontażu.

Określenie ścieżki demontażu poszczególnych części wyrobu realizowane jest na podstawie określonych wcześniej trajektorii, co pokazano przerywaną linią na rysunku 1.



Rys. 1. Wyznaczenie trajektorii ruchu, czasu i szybkości demontażu
Fig. 1. Determination track, time and speed of the disassembling



Rys. 2. Wyznaczenie kroków rozłączania części wraz z czasami demontażu
 Fig. 2. Determination sequence of disassembling parts including duration

Na podstawie zadanej drogi, jej długości, wyliczany jest czas demontażu każdej części oraz sumaryczny czas demontowanego wyrobu. Da się to wizualizować ustalając również szybkość liczoną w m/s.

Ustalone trajektorie dla wszystkich demontowanych części, dają możliwość ustalenia kolejności demontażu każdej części. Umożliwia to funkcja "Sequences and Actions", rysunek 2.

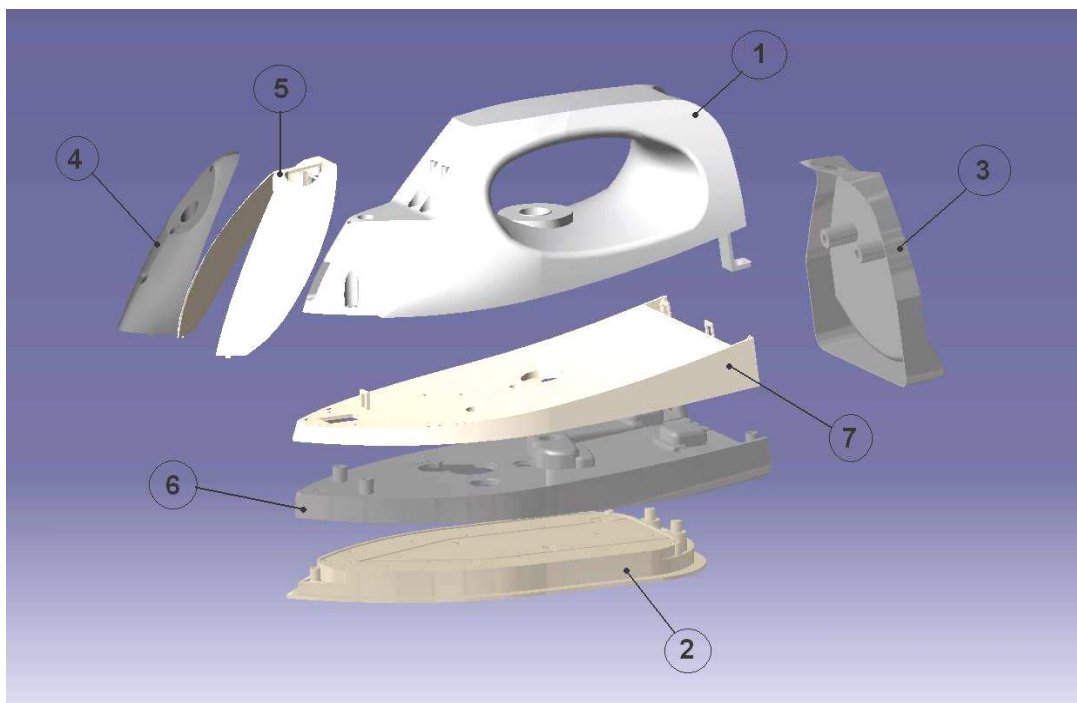
Korzystając z wyżej ukazanej funkcji obliczamy czas demontażu każdego kroku, sumaryczny czas demontażu całego wyrobu, liczbę wszystkich kroków. W tym miejscu można również opóźnić krok demontażu kolejnej części, co ma związek z wymianą narzędzia lub odłożeniem odłączonej części.

Duże znaczenie ma ustalenie właściwej kolejności przebiegu operacji demontażowych. Z matematycznego punktu widzenia zadanie jest skomplikowane ponieważ istnieje bardzo dużo możliwych rozwiązań. Różnorodność pozytywnych rozwiązań może skłaniać do poszukiwania rozwiązania optymalnego, co wymaga sformułowania odpowiednich kryteriów. Przyjęcie odpowiednich kryteriów nabiera istotnego znaczenia w momencie, gdy szukany wariant procesu demontażu ma być najlepszy, najbardziej opłacalny z punktu widzenia rachunku efektywności ekonomicznej.

Symulacja demontażu wyrobu może być dokonywana celem pomiaru czasu demontażu, kolejności usuwania demontowanych części, ścieżek demontażowych, usytuowania substancji niebezpiecznych, usytuowania części wymagających wymiany lub niesprawnych. Jest wykorzystana w serwisie bądź w firmach zajmujących się podziałem wyrobów, celem wyselekcjonowania materiałów do recyklingu.

4. STUDIUM PRZYPADKU

Celem sprawdzenia użyteczności modułu wspomagającego symulację demontażu, przygotowano trójwymiarowy model żelazka wykorzystując oprogramowanie CATIA, rysunek 3. Symulacja demontażu jest poprzedzona utworzeniem komputerowego wirtualnego modelu wyrobu wraz ze wszystkimi częściami oraz wiązaniami pomiędzy nimi.



Rys. 3. Wirtualny model żelazka, 1 - zbiornik na wodę, 2 - stopa żelazka, 3 - obudowa tylna, 4, 5 - przednie części obudowy, 6, 7 - części znajdujące się pomiędzy stopą a zbiornikiem na wodę [6]

Fig. 3. Virtual iron model, 1 - water tank, 2 - foot irons, 3 - housing back, 4, 5 - front part of the casing, 6, 7 - part between foot and water tank [6]

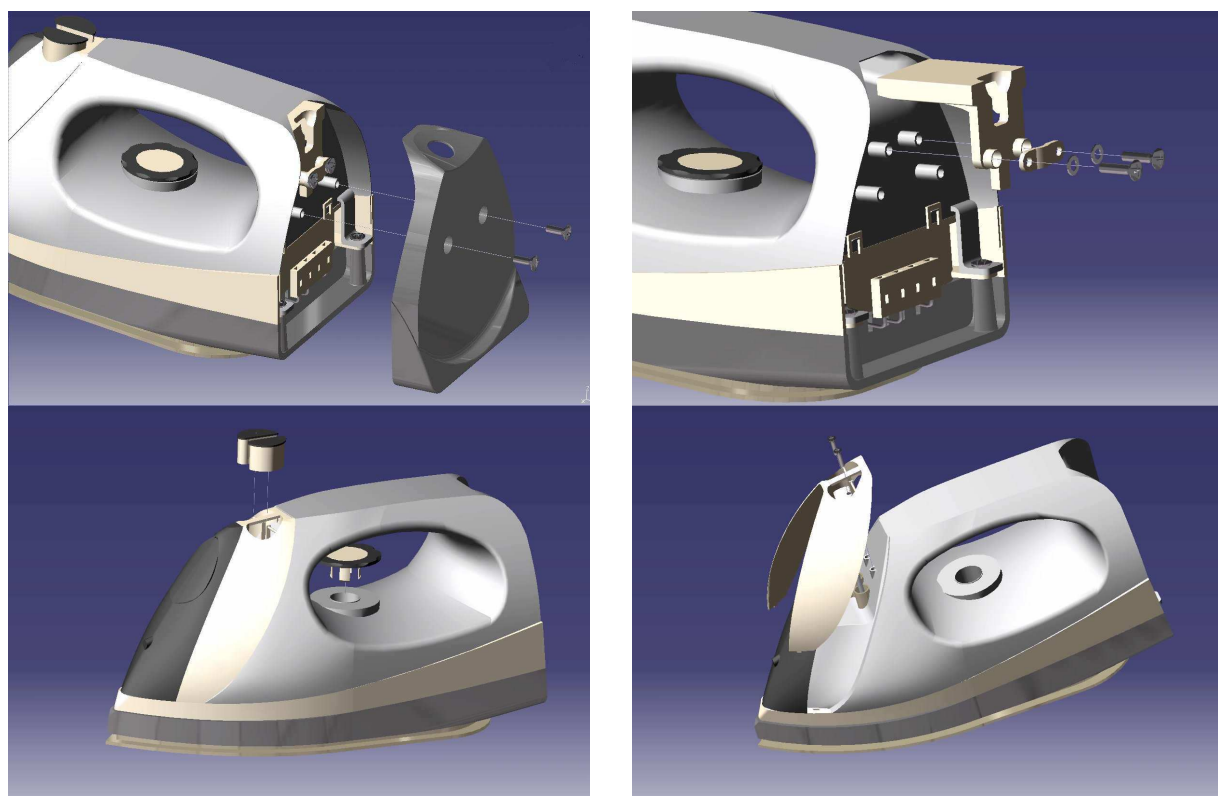
Podczas symulacji rozbiórki określono ścieżki i kierunki demontowanych elementów łącznych (na rysunkach zaznaczone liniami przerywanymi). Wskazano sposób oraz kolejność wyodrębniania części z wyrobu, miejsca łączenia części oraz narzędzia wykorzystane podczas podziału wyrobu.

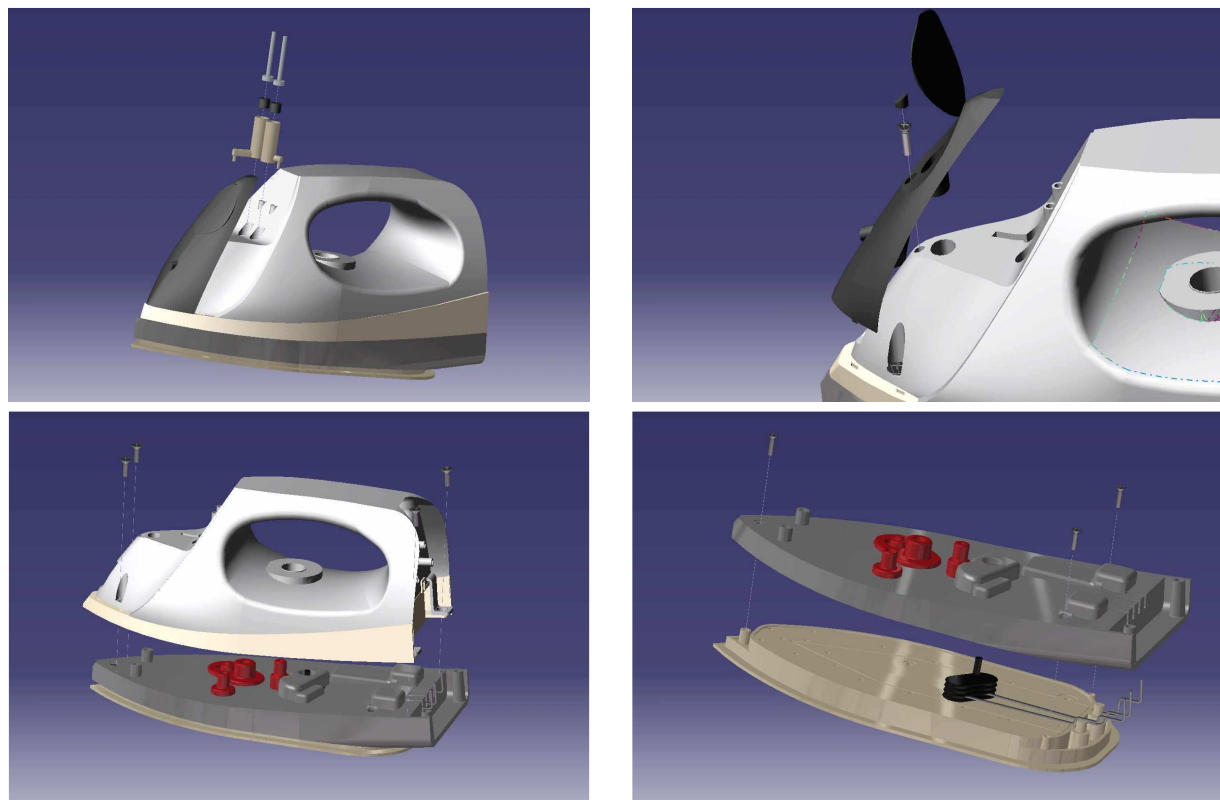
Demontując żelazko wyodrębniono osiem kroków, rysunek 4:

- krok_1_ demontaż obudowy tylnej ze zbiornikiem na wodę,
- krok_2_ demontaż przewodu zasilającego,
- krok_3_ demontaż guzików spryskiwacza,
- krok_4_ demontaż pokrętła ustawiania temperatury,
- krok_5_ demontaż przedniej części obudowy,
- krok_6_ demontaż kolejnej części obudowy,
- krok_7_ demontaż zbiornika na wodę,
- krok_8_ demontaż osłony stopy żelazka.

Z przeprowadzonej symulacji kroków demontażu wyliczony został całkowity czas demontażu żelazka, który wyniósł 13 minut 21 sekund. Do demontażu użyto trzech narzędzi - wkrętaka PH2, wkrętaka płaskiego oraz szczypców.

Na podstawie wygenerowanych ścieżek demontażu, znając liczbę śrub łączących części w wyrobie, ich wielkość, rodzaj i długość, przypisując czasy poszczególnym krokom demontażu można wyliczyć całkowity czas demontażu wyrobu. Można sprawdzić dostępność i widoczność wszystkich połączeń. Znając rodzaj elementów łączących części można ustalić liczbę narzędzi demontażu.





Rys. 4. Symulacja demontażu żelazka [6]
Fig. 4. Simulation disassembling of the iron [6]

Mając tak przygotowany wirtualny model wyrobu można dokonać zmian, udoskonalić, przeprojektować, przeprowadzić kolejne symulacje dla różnych wariantów, jeszcze przed wdrożeniem do produkcji. Może być on wykorzystany w symulacji demontażu, o ile przewidziano demontaż urządzenia. Jeżeli podczas symulacji wyniknie, że demontaż części nie jest możliwy, może to oznaczać nieprawidłowe zaprojektowanie wyrobu.

5. PODSUMOWANIE

Programy komputerowe CAD 3D dają możliwość symulacji montażu i demontażu wyrobów już w fazie ich projektowania. Skracają czas opracowywania koncepcji konstrukcji, śledzą skutki wprowadzania zmian, pozwalają wykonywać eksperymenty na wielu wariantach wirtualnego wyrobu przed podjęciem ostatecznej decyzji wdrożenia przed skierowaniem projektu do produkcji. Zmniejsza to ryzyko popełnienia błędu konstrukcyjnego, który może okazać się bardzo kosztowny.

Komputerowa symulacja demontażu wyrobu może być pomocna w serwisach różnego rodzaju wyrobów codziennego użytku, firmach zajmujących się recyklingiem wyrobów, sprzedają części zamiennych i zmodernizowanych wyrobów używanych. Ponadto, tak

przygotowane modele symulacyjne mogą być dołączane, na przykład do instrukcji obsługi danego wyrobu, celem sprawniejszego demontażu przez firmy zajmujące się utylizacją. Innym sposobem może być zamieszczanie przez firmy produkcyjne instruktażu demontażu swojego wyrobu na stronach internetowych i odpłatnie lub po zalogowaniu udostępnianie symulacji przebiegu demontażu.

LITERATURA

- [1] KARWASZ A., 2010, *Ocena recyklingowa wyrobów*, Innowacje w Zarządzaniu i Inżynierii Produkcji, PTZP.
- [2] STEWART L.H., 2000, *Recyclingpotentiale unverträglicher Werkstoffe – Trennung von Stoffschlußverbindungen*, Diplomarbeit.
- [3] KLETT J., BLESSING L., 2006, *Systematic design of connections*, in: 13 CIRP International Conference on Life Cycle Engineering.
- [4] WROTKOWSKI J., 1971, *Demontaż i montaż maszyn*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne.
- [5] ŻUREK J., DURAS T., 2007, *Wizualizacja kolizyjności demontażu wyrobu z zastosowaniem technik komputerowych*, Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej, 6.
- [6] CHRUSZCZ M., 2010, *Analiza demontażu wybranego wyrobu AGD*, Praca inżynierska, Politechnika Poznańska, Wydział Budowy Maszyn i Zarządzania.
- [7] TYSZKIEWICZ J., 2000, *Recykling złomowanych urządzeń elektronicznych powszechnego użytku*. I Krajowa Konferencja Naukowo-Techniczna, Ekologia w Elektronice.

COMPUTER AIDED SIMULATION OF PRODUCT DISASSEMBLY

Computer systems such as Computer Aided Design consist of modules to support the work of designers in the creation of virtual models of spatial, motion simulation, collision detection during the assembly of parts, calculations and analyzes the strength, design documentation. Software may be used to simulate a virtual device to show, dismantling the steps dividing the product, and dismantling of track duration. The article describes the possibility of a computer simulation of the dismantling of the product using CATIA.