

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

OCENA RECYKLINGOWA WYROBÓW AGD W ŚRODOWISKU CAD 3D Z WYKORZYSTANIEM SYSTEMU AGENTOWEGO

Streszczenie:

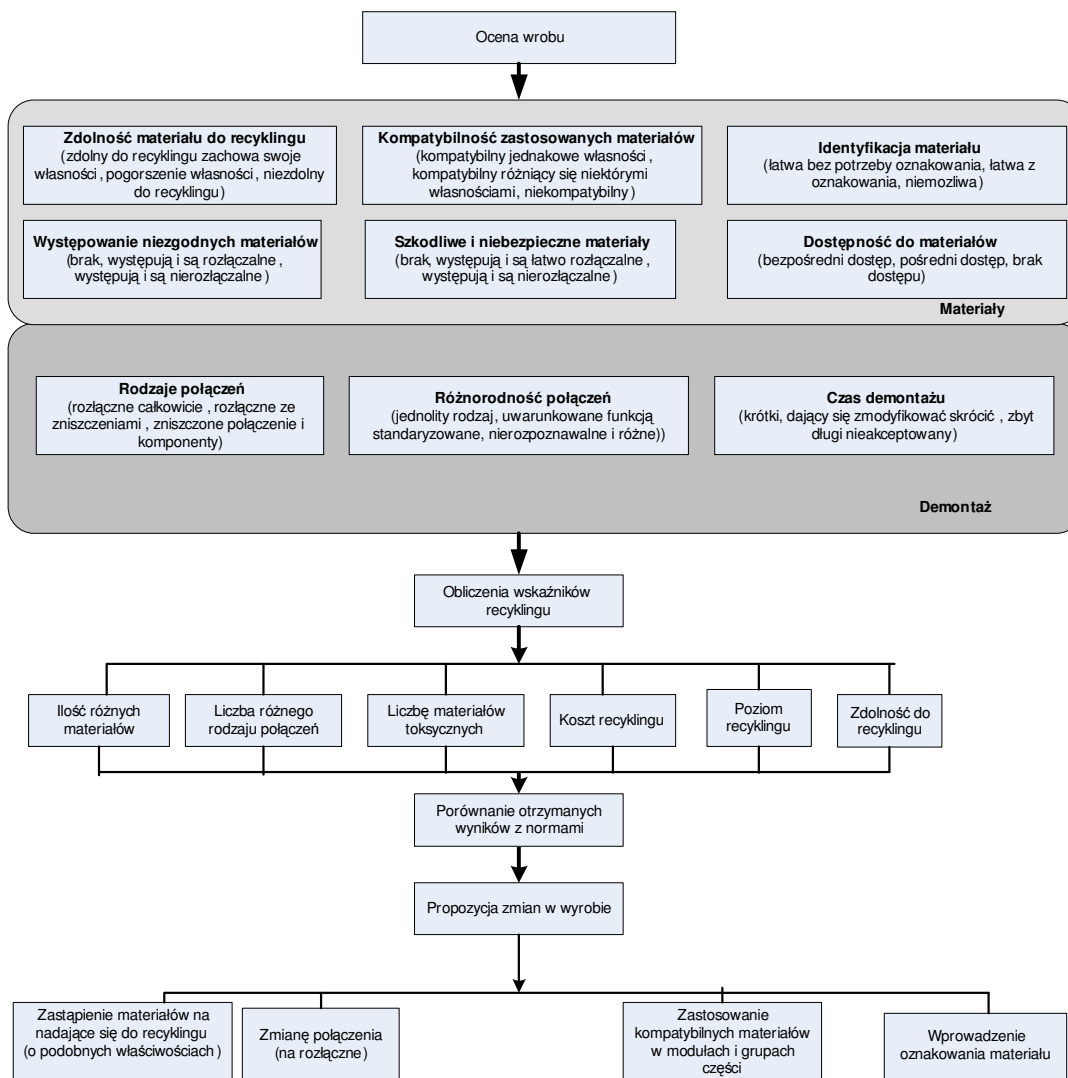
W artykule przedstawiono metodę oceny recyklingowej wyrobów opartą na: modelu formalnym reprezentacji struktury wyrobu uwzględniającym recykling, zaimplementowanym w systemie CAD oraz systemie agentowym. Dokonano ogólnej charakterystyki ekoprojektowania ze szczególnym uwzględnieniem jego recyklingu. Zaprezentowano założenia metody oraz sposób jej implementacji, jak również opisano funkcjonalność systemu agentowego wspomagającego proekologiczne projektowanie.

1. Wprowadzenie do ekoprojektowania

Projektowanie inżynierskie obejmuje wykorzystanie metod naukowych, informacji technicznej i kreatywności projektanta dla zdefiniowania mechanicznej struktury urządzenia lub systemu służących wykonaniu z góry określonych funkcji jak najbardziej ekonomicznie i skutecznie [6]. Proces projektowania jak zauważa Tarnowski [11] jest złożonym kompleksem działań, realizowanym przez system projektujący, wymagającym dużych nakładów finansowych i czasowych, angażującym kosztowny sprzęt i trwającym przez dłuższy czas. Bąbiński natomiast w pracy [1] podaje, że proces projektowania jest przeprowadzany przez system projektujący definiowany jako zespół projektantów wraz z narzędziami przez nich wykorzystywanymi. System projektujący dokonuje przekształcenia wejść (informacje, założenia) na wyjścia (wytwory projektowania). W przypadku projektowania nowych wyrobów informacje wejściowe stanowią wymagania projektowanego wyrobu. Natomiast danymi wyjściowymi jest dokumentacja konstrukcyjna zaprojektowanego wyrobu. Jeżeli natomiast przez system projektujący wykonywane jest zadanie związane z modernizacją konstrukcji, to danymi wejściowymi są informacje dotyczące istniejącego wyrobu (np. dokumentacja konstrukcyjna) oraz wymagania stawiane zmodernizowanej konstrukcji. Informacją wyjściową, tak jak w przypadku nowych konstrukcji jest dokumentacja zaprojektowanego (zmodernizowanego) wyrobu. Powyższe definicje procesu projektowania opisują go jako

złożony proces, zajmujący w cyklu życia wyrobu znaczące miejsce. Nakłady poniesione na przygotowanie wyrobu do produkcji stanowią znaczącą część jego kosztów i decydują w dużym stopniu o kosztach produkcji [5]. Badania dowodzą [13], że najbardziej znaczące efekty wdrażania nowoczesnych technik można uzyskać już we wczesnych fazach rozwoju produktu, tzn. w fazie jego projektowania. W związku z powyższym również wprowadzanie aspektów środowiskowych do wczesnego etapu projektowania odgrywa obecnie bardzo ważną rolę. Takie działanie nazywane jest ekoprojektowaniem.

Ekoprojektowanie stanowi nowe podejście do projektowania wyrobów. Polega ono na identyfikowaniu aspektów środowiskowych związanych z wyrobem i włączaniu ich do procesu projektowania już na pierwszych etapach rozwoju. Określa się je również mianem projektowania dla środowiska czy projektowania zgodnego z zasadami zrównoważonego rozwoju. W literaturze funkcjonują następujące określenia: *ecodesign*, *DfE* (z ang. *Design for Environment*), *environmental design*, *ecological design*, *sustainable product design*, *green design*. Ekoprojektowanie wprowadza dodatkowy wymiar do projektowania tradycyjnego [4]. Projektowanie proekologiczne może odbywać się w dwojakiej formie. Po pierwsze projektowanie polegające na tworzeniu wyrobów ekoinnowacyjnych, czyli takie, którego założeniem jest zaprojektowanie wyrobu spełniającego kryteria ekoinnowacji. W praktyce oznacza to, że zaprojektowany wyrób nie tylko będzie spełniał normy proekologiczne, ale będzie wykonany z materiałów umożliwiających jego całkowity recykling lub biodegradowalnych. Również jego proces produkcyjny będzie spełniał najwyższe normy i założenia produkcji pro-środowiskowej. Drugie podejście do ekoprojektowania zakłada wprowadzenie aspektów ekoprojektowania w obszar tradycyjnego projektowania wyrobów w celu poprawy parametrów środowiskowych, jednakże bez zasadniczej zmiany koncepcji wyrobu [7]. Wyrób zaprojektowany ekologicznie to wyrób, który będzie posiadał mniejszą ilość materiału potrzebną do jego wyprodukowania w porównaniu ze starszym modelem lub innym odpowiednikiem występującym na rynku. Podstawą ekoprojektowania jest również zaprojektowanie takiego wyrobu, który będzie się składał z materiałów podatnych na recykling, materiałów kompatybilnych, materiałów odnawialnych i będzie łatwy w demontażu. Istotnym elementem jest również oznakowanie części wyrobów ułatwiające późniejszy jego recykling. Na rysunku 1 przedstawiono aspekty ekoprojektowania uwzględniające recykling. Idealnym rozwiązaniem byłoby zaprojektowanie wyrobu, który w całości mógłby zostać poddany recyklingowi. Takie rozwiązanie nie jest jednak możliwe, ponieważ musi on spełniać jeszcze inne kryteria m.in. posiadać odpowiednią funkcjonalność oraz posiadać konkurencyjną cenę. Często te wszystkie wymagania są rozbieżne.



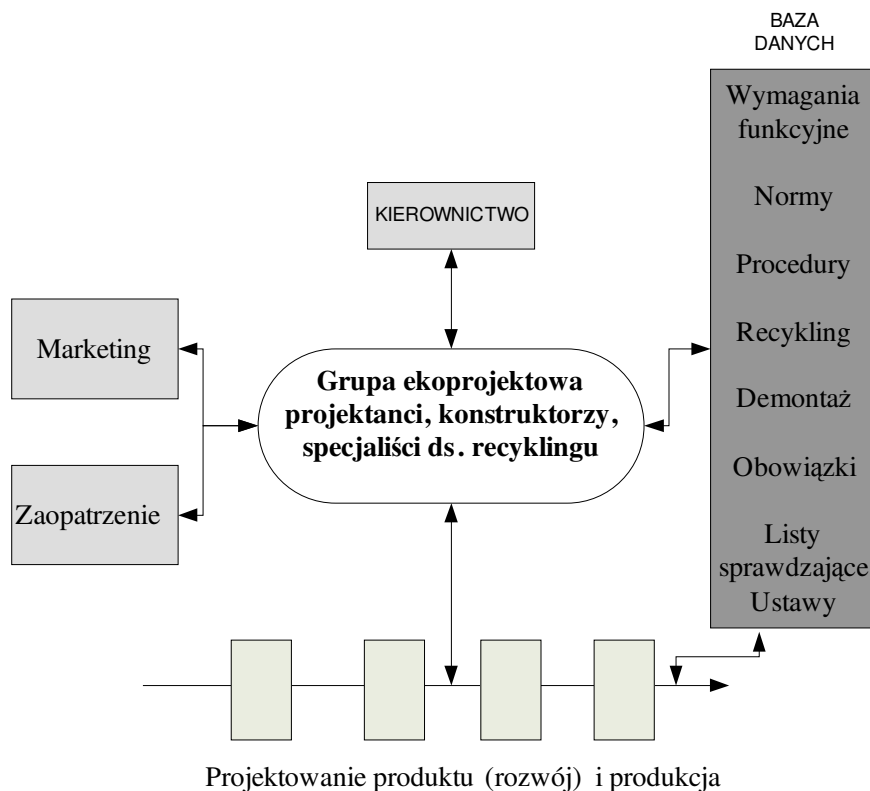
Rys. 1 Aspekty ekoprojektowania uwzględniające recykling [14]

2. Miejsce ekoprojektowania w przedsiębiorstwie

Obecnie w przedsiębiorstwach zajmujących się projektowaniem wyrobów dla których recykling ma szczególnie znaczenie (np. urządzenia AGD) powoływane są specjalne grupy ds. ekoprojektowania. Zadaniem takiej grupy i projektantów-konstruktorów jest znalezienie najbardziej optymalnych rozwiązań uwzględniających wymienione na rysunku 1 wymagania.

Członkowie grupy ds. ekoprojektowania są to najczęściej osoby posiadające wiedzę w zakresie ekologii, prawa i zarządzania jakością. Wspierają oni projektantów, konstruktorów i technologów w projektowaniu wyrobów. Współuczestniczą w tworzeniu planu postępowania oraz sprawdzają zaprojektowany wyrób pod względem zgodności z normami, ustawami itp. [8].

Taka współpraca daje również możliwość szybkiej reakcji przedsiębiorstwa na zmieniające się potrzeby rynku. Na rysunku nr 2 przedstawiono przykładowy skład grupy projektowej w przedsiębiorstwie.

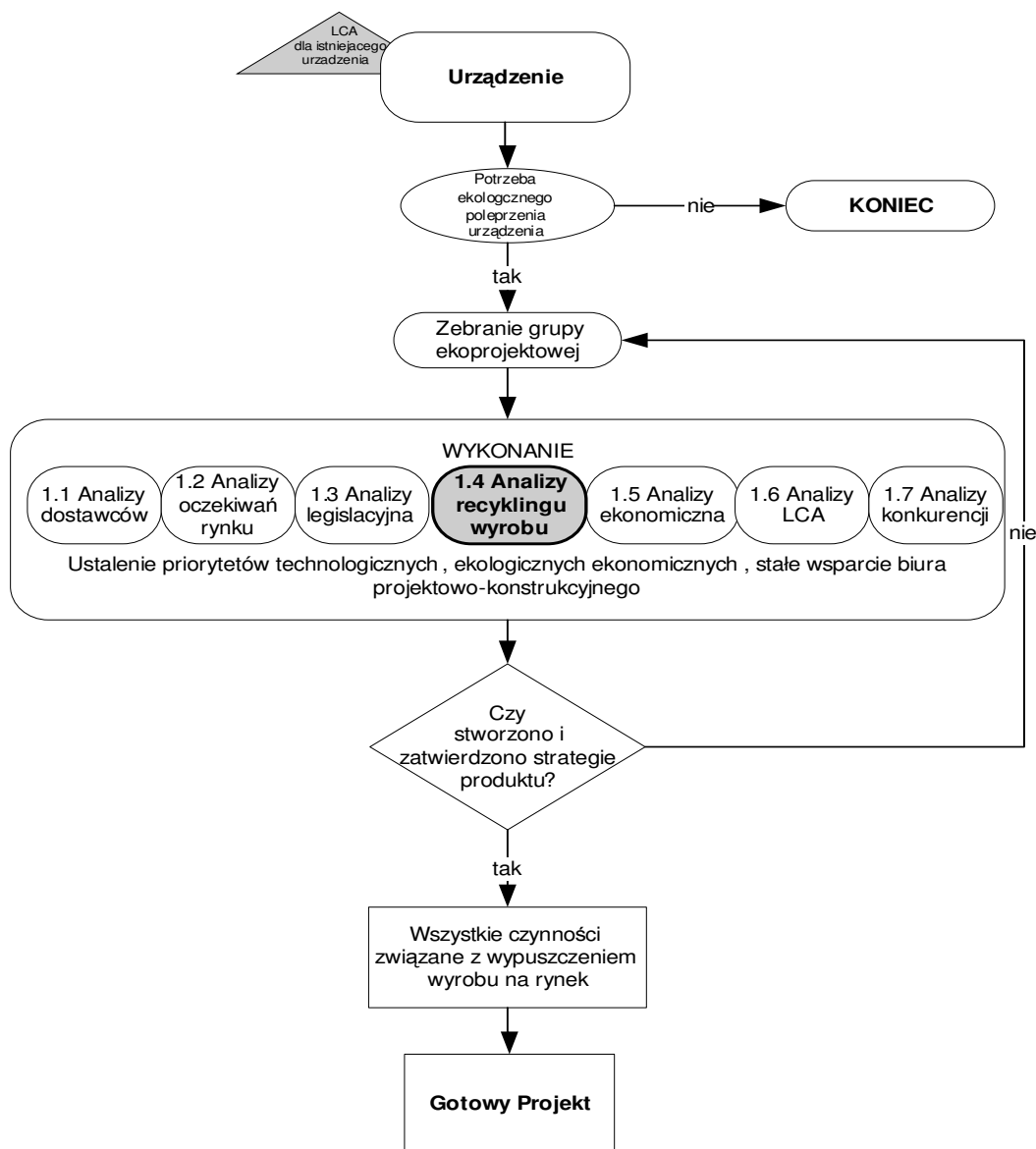


Rys. 2. Ekoprojektowanie w przedsiębiorstwie [3,12]

Obecnie zdarza się, że zadania związane z definiowaniem oraz weryfikacją założeń odnośnie ekoprojektowania przydzielane są pracownikom działu jakości. Jest to związane z tym, że w zakres założeń jakościowych wyrobu zalicza się również jego pozytywne oddziaływanie na środowisko naturalne. Powoływanie w przedsiębiorstwie grup lub działów odpowiedzialnych za ekoprojektowanie powoduje że projektowane wyroby nie tylko spełniają podstawowe wymagania klienta, ale spełniają dodatkowe wymagania istotne dla środowiska naturalnego. Na rysunku 3 przedstawiono schemat proekologicznego projektowania.

Ekoprojektowanie jest czynnością złożoną. Rozwój informatyzacji i technologii wspomaga procesy projektowe na każdym etapie. Przez ostatnich kilka lat powstały programy wspierające decyzje ekoprojektantów w dziedzinie wyboru materiałów i stosowanych połączeń. Do narzędzi wspomagających projektanta w obszarze ekoprojektowania można zaliczyć prezentowane w ramach niniejszego artykułu oprogramowanie.

Jak już wspomniano powyżej bardzo ważne jest, żeby wymagania wyrobu dotyczące np. jego recyklingu zostały uwzględnione już we wczesnych etapach projektowania. W związku z tym również narzędzia wspomagające ekoprojektowanie powinny być zintegrowane z innymi narzędziami komputerowymi wspomagającymi pracę projektanta. Prezentowane rozwiązanie składa się z nakładki dla systemu CAD-owskiego oraz oprogramowania współpracującego z systemem CAD opartego na technologii agentowej.



Rys. 3 Ogólny schemat ekoprojektowania [3]

3. Miary oceny recyklingowej

W celu opracowania narzędzia, opartego na technologii agentowej, zintegrowanego z systemem CAD umożliwiającym ocenę recyklingową wyrobu opracowano miary oceny recyklingowej umożliwiające określenie podatności na recykling wyrobów AGD. Miary zbudowano w oparciu o współczynniki. Zostały one opracowane zgodnie z dyrektywami i ustawami. Do oceny wyrobu pod kątem recyklingu służą wymienione poniżej współczynniki recyklingu:

- współczynnik wagowy różnorodności zastosowanych materiałów **WM**,
- współczynnik wagowy różnorodności rodzaju połączeń **WP**,
- współczynnik wagowy poziomu recyklingu **WPR**,

- liczba materiałów toksycznych występujących w **WT**
- wskaźnik recyklingu – **WR**.

Zgodnie z wymogami norm i dyrektyw uwzględniono przy ocenie recyklingowej oszacowanie kosztów recyklingu i związanymi z nim koszty demontażu [14].

Wyżej wymienione wskaźniki i współczynniki recyklingu zostały zaimplementowane w systemie wspomagającym proekologiczne projektowanie wyrobów ukierunkowane na recykling i stanowią miary według których można dokonać oceny wyrobu pod kątem jego podatności na recykling. Opracowany wskaźnik i współczynniki umożliwiają projektantowi sprawdzenie w jakim zakresie projektowany wyrób spełnia wymagania zawarte w dyrektywach, ustawach i normach dotyczących ekoprojektowania.

Do obliczenia zaimplementowanych w systemie agentowym współczynników niezbędne jest pozyskanie danych z sytemu CAD. W tym celu opracowano model formalny reprezentacji struktury wyrobu pod kątem recyklingu.

4. Założenia modelu recyklingowego wyrobu

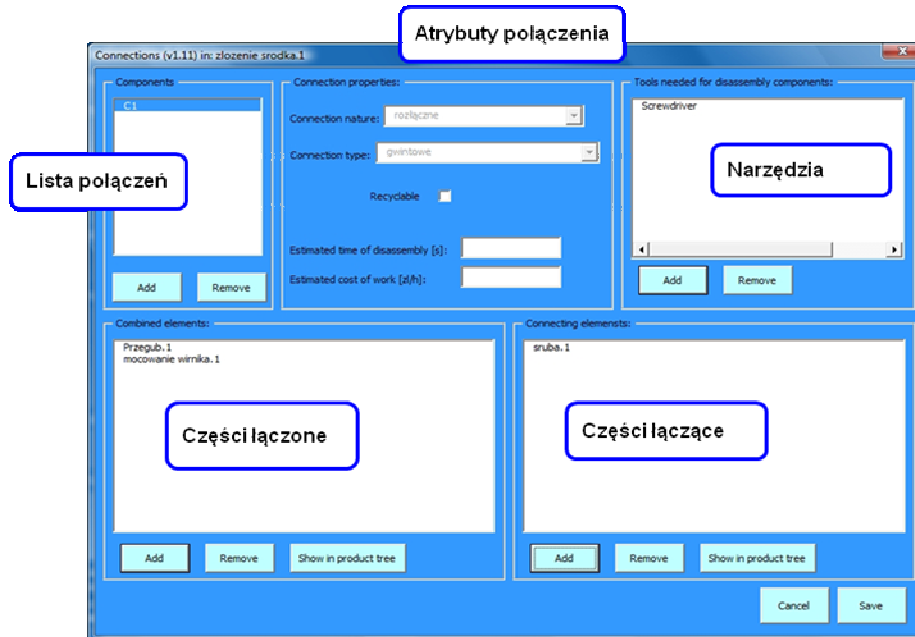
W celu automatycznego obliczenia wartości zaproponowanych miar oceny wyrobu pod kątem jego własności recyklingowych, konieczne było uzupełnienie modelu 3D o dodatkowe dane. Dane te, wraz ze standardowym modelem geometrycznym 3D określono mianem recyklingowego modelu wyrobu (RmW). Na model taki składają się zatem następujące elementy:

- struktura wyrobu,
- szczegółowe dane o połączeniach,
- rozszerzone atrybuty materiałowe,
- dane o procesie demontażu,
- dane o kosztach recyklingu.

Struktura wyrobu w RmW wynika ze standardowej struktury wyrobu, tworzonej przez konstruktora w trakcie tworzenia złożenia.

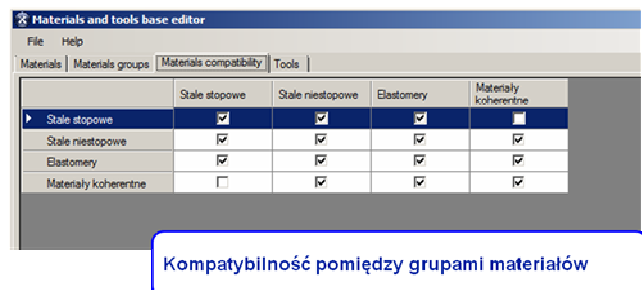
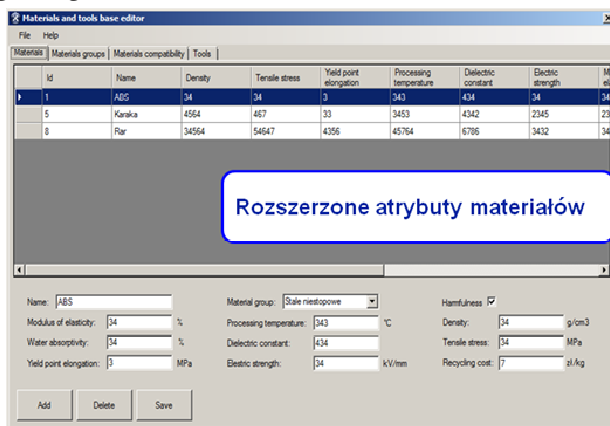
Z uwagi na duży wpływ stosowanych w wyrobie połączeń na jego własności recyklingowe oraz brak jednoznacznej reprezentacji tej cechy konstrukcyjnej w standardowym modelu 3D, zaimplementowano w nim dodatkowe dane, jednoznacznie i szczegółowo opisujące połączenia stosowane w wyrobie. Dane te określają: typ połączenia (rozłączne, nierozłączne), rodzaj połączenia (gwintowe, klejone, spawane, itp.) oraz elementy (części lub podłożenia), wchodzące w skład danego połączenia. W trakcie procesu konstruowania wyrobu (tworzenia złożenia), konstruktor wykonuje zatem pewne działania dodatkowe (oprócz standardowego definiowania więzów geometrycznych), nadając poszczególnym połączeniom odpowiednie atrybuty, adekwatne do charakteru danego połączenia. Dane takie, ze względu na określenie przez nie funkcji, jaką pełnią w wyrobie poszczególne części z punktu widzenia struktury połączeń, stanowią tym samym model funkcjonalny zorientowany na strukturę połączeń w wyrobie (w skrócie: funkcjonalny model połączeń). Sam mechanizm definiowania połączeń w sensie funkcjonalnym (ze względu na analogię do więzów geometrycznych), można określić mianem więzów funkcjonalnych zorientowanych na strukturę połączeń w wyrobie (w skrócie: funkcjonalnymi więzami połączeniowymi). Nadawanie więzów tego rodzaju umożliwiają

dodatkowe funkcje, o które uzupełniono system CAD 3D poprzez oprogramowanie zaproponowanych rozwiązań za pomocą zestawu odpowiednich skryptów (rys. 4).



Rys.4. Modelowanie połączeń za pomocą zaimplementowanego w środowisku CAD 3D mechanizmu więzów funkcjonalnych

Standardowy model geometryczny uzupełniono również o dodatkowe dane, określające materiały stosowane w wyrobie. Dane te obejmują przede wszystkim: określenie szkodliwości danego materiału, grupowanie materiałów w kategorie oraz określenie tzw. kompatybilności pomiędzy kategoriami materiałów. Określenie danych tego rodzaju zaimplementowano w podobny sposób, jak w przypadku funkcjonalnego modelu połączeń (rys. 5). Dane te również określane są przez konstruktora (lub ogólniej: operatora) w trakcie pracy w środowisku CAD 3D.



Rys. 5. Rozbudowa baz danych materiałów o atrybuty istotne z punktu widzenia oceny recyklingowej

Ostatnie dwa elementy, składające się na RmW, umożliwiają ocenę różnych wariantów procesu demontażu wyrobu. Dane o procesie demontażu określają przede wszystkim tzw. głębokość demontażu, definiowaną w wyniku określenia dla poszczególnych połączeń faktu ich rozłączenia w trakcie recyklingu. Pozwala to, uwzględniając czas demontażu, koszt z tym związany oraz kwoty pieniężne wynikające z odsprzedaży pozyskanych materiałów, na zdefiniowanie kosztów recyklingu.

Zdefiniowany RmW, stanowi dane wejściowe dla algorytmów oceny recyklingowej wyrobu. W opisywanym rozwiązaniu obliczenia przeprowadzane są przez system agentowy.

5. Założenia systemu agentowego wspomagającego ocenę recyklingową

Na potrzeby komputerowego wspomaganie oceny recyklingowej wyrobu zaprojektowano system oparty na technologii agentowej. Pojęcie rozproszonej sztucznej inteligencji (Decentralized Artificial Intelligence-DAI) oraz związane z nim określenie agenta zaczęły pojawiać się w literaturze w latach 80-tych, jednak dynamiczny rozwój systemów informatycznych związany z tymi pojęciami nastąpił dopiero w drugiej połowie lat 90-tych [9]. Tendencje do decentralizacji ośrodków decyzyjnych i posługiwania się informacjami o charakterze rozproszonym wymusiły rozwój systemów, które w sposób zadawalający wspomagałyby ten typ działań. Idea tworzenia rozproszonych struktur informacyjno-decyzyjnych znalazła wyraz we wprowadzeniu pojęcia agenta, nazywanego również autonomicznym agentem (Autonomous Agent) lub aktywnym agentem (Active Agent), a w konsekwencji doprowadziły do powstania pojęcia systemu wieloagentowego (w uproszczeniu systemu agentowego). Sposoby interpretacji roli agenta są dość zróżnicowane [2,10], posiadają jednak niewątpliwie pewne cechy wspólne. Poniżej zostały przedstawione najbardziej charakterystyczne cechy agentów:

- obserwacja - przez zdolność obserwacji (receptory) agent postrzega dynamiczne warunki środowiska, działa w celu zmiany tych warunków oraz wyznacza akcje do realizacji własnych zamierzeń,
- autonomia – agenci przebywają w złożonym dynamicznym środowisku, postrzegają go i działają w nim autonomicznie, wypełniając cele lub zadania dla których zostali zaprojektowani; wykonują pewien zbiór operacji w imieniu użytkownika lub innego programu, w pewnym stopniu niezależnie lub autonomicznie, przy czym do tej działalności używają pewnej wiedzy reprezentującej cele lub zamierzenia użytkownika,
- mobilność – zdolność agenta do współpracy z innymi agentami, dynamiczne dostosowanie realizacji własnych zamierzeń do zmiennych warunków środowiska oraz w przypadku niektórych typów agentów zdolność przemieszczania się w sieci,
- komunikacja - agent komunikuje się z użytkownikiem, przejmuje zlecane od niego zadania, informuje o aktualnym statusie wykonywanych zadań oraz o ich zakończeniu. W tym celu agent korzysta ze specjalnych interfejsów lub języków komunikacji,
- inteligencja - agent interpretuje zdarzenia na podstawie, których podejmuje decyzje.

Do dzisiaj brak jest jednoznacznej i ogólnie przyjętej definicji inteligentnego agenta. Związane jest to z interdyscyplinarnym charakterem agentów. W literaturze [2,10] przytaczanych jest kilkanaście różnych definicji agenta. Uwzględniając „inteligencję” agentów oraz ich funkcjonowanie w dynamicznym środowisku można stwierdzić, że inteligentne

agenty są „programowymi bytami”, które wykonują pewien zbiór operacji w imieniu użytkownika lub innego programu, w pewnym stopniu niezależnie lub autonomicznie, przy czym do tej działalności używają pewnej wiedzy reprezentującej cele lub zamierzenia.

Każdy z oprogramowanych agentów, aby móc wykonywać zlecone mu zadanie, musi posiadać pewien stopień inteligencji. Posiadana przez agenta inteligencja umożliwia samodzielne działanie bez interwencji użytkownika w celu wykonania zleconego zadania. Autonomiczna praca jest jedną z podstawowych cech odróżniających inteligentnych agentów od tradycyjnego oprogramowania. Dla osiągnięcia założonych celów agent integruje swoje działania z otaczającym go środowiskiem. Postrzega dynamiczne warunki środowiska, działa w celu ich zmiany, wyznacza akcje prowadzące do realizacji własnych celów. Agent nie może być oderwany w swoim działaniu od środowiska, musi komunikować się i kooperować z innymi obiektami np. innymi agentami. Zdolność komunikowania się jest uznawana za szczególnie ważną cechę agentów, a przez niektórych autorów uważana jest wręcz za wyróżnik tego typu oprogramowania. Ze względu na wymienione powyżej cech agentów technologia agentowa znalazła szerokie zastosowanie w systemach wspomagających prace w różnych obszarach przedsiębiorstwa [5].

W opisywanym systemie agenty zostały wykorzystane do wspomaganie oceny recyklingowej wyrobu na etapie jego projektowania. Agenty „obserwują” pracę projektanta wykonywaną w systemie CAD i w chwili zmiany konstrukcji projektowanego wyrobu dokonują oceny na podstawie danych pobranych z systemu CAD. Przeprowadzając obliczenia udzielają odpowiedzi projektantowi dotyczących możliwości wprowadzenia zmian w wyrobie (np. zastosowanie innego materiału, innego połączenia) polepszających jego podatność na recykling.

Oparcie systemu na technologii agentowej umożliwiło również ocenę recyklingową wyrobów projektowanych w środowisku rozproszonym, gdy nad jednym projektem pracuje kilku projektantów znajdujących się w różnych lokalizacjach.

6. Podsumowanie

Zaprezentowana w artykule metoda oceny recyklingowej wyrobu oparta na modelu formalnym reprezentacji struktury wyrobu pod kątem jego recyklingu zaimplementowanym w systemie CAD i współpracującym z nim systemem agentowym będzie mogła być wykorzystywana w procesie projektowania wyrobów. Umożliwi ona sprawdzenie właściwości recyklingowych wyrobu już we wczesnych fazach jego projektowania bez konieczności ręcznej agregacji parametrów istotnych z punktu widzenia oceny recyklingowej do systemów trzecich.

Obecnie prowadzone są prace nad rozszerzeniem właściwości systemu o możliwość wykorzystania wiedzy z realizacji poprzednich projektów w celu wykorzystania jej jako źródło informacji dla odpowiedzi udzielanych przez system.

Literatura

- [1] Bąbiński C., Elementy nauki o projektowaniu, WNT, Warszawa, 1972
- [2] Brenner W., Zarnekow R., Wittig H., Intelligente Softwareagenten Grundlagen und Anwendungen, Springer – Verlag Berlin Heidelberg, 1998

- [3] Burakowska K., Zarządzanie procesem proekologicznego projektowania wyrobów ukierunkowanych na recykling, praca dyplomowa, Wydział Budowy Maszyn i Zarządzania, Politechnika Poznańska, promotor E. Dostatni, Poznań, 2007
- [4] Dostatni E., Karwasz A., Systemy informatyczne wspomagające proekologiczne projektowanie, Zarządzanie przedsiębiorstwem nr 2, 2009
- [5] Dostatni E., Zarządzanie procesem projektowania z wykorzystaniem metod rozproszonej sztucznej inteligencji, rozprawa doktorska, Wydział Budowy Maszyn i Zarządzania, Politechnika Poznańska, Poznań, 2004
- [6] Fielden G. B. R Engineering Design, The Fielden Report, London 1963
- [7] Górzyński J., Podstawy analizy środowiskowej wyrobów i obiektów, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2007
- [8] Lehmann S., (Hrsg)/ Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (1993): Umweltcontrolling in der Möbelindustrie. Ein Leitfanden, Berlin 1993
- [9] Nawarecki E., Inteligentne systemy agentowe w zarządzaniu i sterowaniu kompleksami produkcyjnymi, Materiały konferencyjne III Szkoła Komputerowego Wspomagania Projektowania, Wytwarzania i Eksploatacji Szczyrk 10-14 maj 1999, Helion, Warszawa, 1999
- [10] Rao A.S., Georgeff M.P., Modelling rational agents within a BDI architecture, In:Proc. Second Int. Conf. on Principles of Knowledge Representation and Reasoning – KR' 91, Cambridge MA, USA, 1991
- [11] Tarnowski W., Podstawy projektowania technicznego, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1997
- [12] Tischner U., Schmincke E., Rubik F., Prösler M. Was ist EcoDesign?, Verlag form GmbH, Frankfurt am Main, 2000
- [13] Weiss Z. i inni, Współbieżne projektowanie konstrukcyjne i technologiczne obrotowych elementów maszyn, Sprawozdanie z projektu KBN nr 7 T07D003 08, Politechnika Poznańska, Instytut Technologii Mechanicznej, Poznań, 1998
- [14] Weiss Z., Dostatni E., Diakun J., Sprawozdanie z projektu badawczego: 4 T07C 025 30, Metoda komputerowego wspomagania proekologicznego projektowania wyrobów ukierunkowana na recykling, Politechnika Poznańska, Wydział Budowy Maszyn i Zarządzania, Instytut Technologii Mechanicznej, Poznań 2009

Prace przedstawione w artykule współfinansowane w ramach projektu przyznanego przez MNiSW nr 2423/B/T02/2010/38.