

Wykorzystanie metod i systemów komputerowego wspomaganie do proekologicznego projektowania rozwoju wyrobu

The use of methods and computer aided systems in the ecological design of product development

MARCIN PAPROCKI*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2018.1.17>

Zaprezentowano dwie koncepcje projektowania procesu technologicznego obróbki i szacowania kosztów wytwarzania wspomaganie systemami CAPP. Przedstawiono metody wspierające proekologiczne projektowanie rozwoju wyrobu, takie jak: DFMA, DFE, DFD, FMEA, QFD i LCA. Omówiono metodę Ekowskażnika 99 stosowaną do oceny wpływu cyklu życia wyrobu na środowisko (LCIA). Zaproponowano, by strategiczne wsparcie przedsięwzięć uzupełnić o składową środowiskową oceny cyklu życia wyrobu (Ecological Backbone).
SŁOWA KLUCZOWE: projektowanie ekologiczne, CAPP, Ekowskażnik 99, LCA, strategiczne wsparcie przedsięwzięć

*Presented are two concepts of the process planning design procedure and the cost estimation aided by CAPP systems. Methods aiding ecological design of the product development, such as DFMA, DFE, FMEA, QFD and LCA, are presented too. The Eco-indicator 99 method which is used in the assessment of product life cycle impact on the environment (LCIA) is discussed. The paper recommends complementing the strategic enterprise backbone with the environmental component of the product life cycle assessment (Ecological Backbone).
KEYWORDS: ecological design, CAPP, Eco-indicator 99, Life Cycle Assessment (LCA), strategic enterprise backbone*

Na całym świecie, także w Polsce, coraz bardziej istotne stają się zagadnienia ochrony środowiska naturalnego. Uregulowania prawne, dyrektywy, programy, polityki, strategię, a także oczekiwania i świadomość konsumentów wpływają na wzrost nacisku na projektowanie ekologicznych wyrobów. Ważnym aspektem staje się promowanie i subsydiowanie ekologicznych wyrobów oraz rozwiązań.

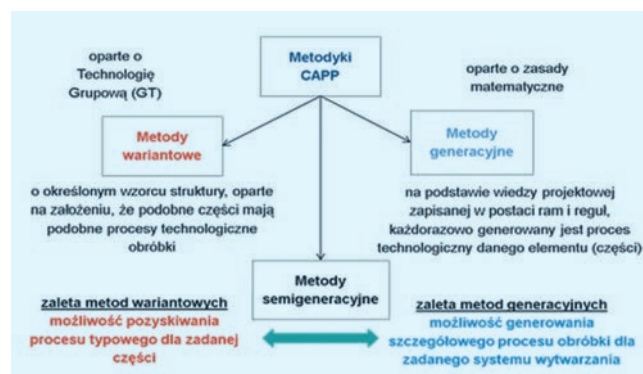
Koncepcje projektowania procesu technologicznego obróbki i szacowania kosztów wytwarzania wspomaganie systemami CAPP

W ramach systemów komputerowego wspomaganie projektowania technologicznego obróbki CAPP (Computer Aided Process Planning), ze względu na wzorzec procesu, można wyróżnić trzy podejścia metodyczne [3]:

- metody wariantowe o zdefiniowanym lub częściowo zdefiniowanym wzorcu struktury procesu,
- metody generacyjne, w których rolę wzorca pełni zbiór zasad i reguł pozwalających na budowę procesu,
- metody semigeneracyjne (hybrydowe) – o ogólnym wzorcu w postaci modelu struktury.

Charakterystykę podejść metodycznych komputerowego wspomaganie projektowania technologicznego obróbki CAPP przedstawiono na rys. 1.

Ważnym zagadnieniem dla przedsiębiorstw jest możliwość projektowania procesu technologicznego obróbki i szacowania kosztów wytwarzania (wyceny zamówienia) na wczesnych etapach przygotowania produkcji, z użyciem systemów CAPP. Z myślą o realizacji tych potrzeb zaproponowano dwie koncepcje procedury projektowania procesu technologicznego obróbki i szacowania kosztów wytwarzania.



Rys. 1. Podejścia metodyczne komputerowego wspomaganie projektowania technologicznego obróbki (CAPP) [7]

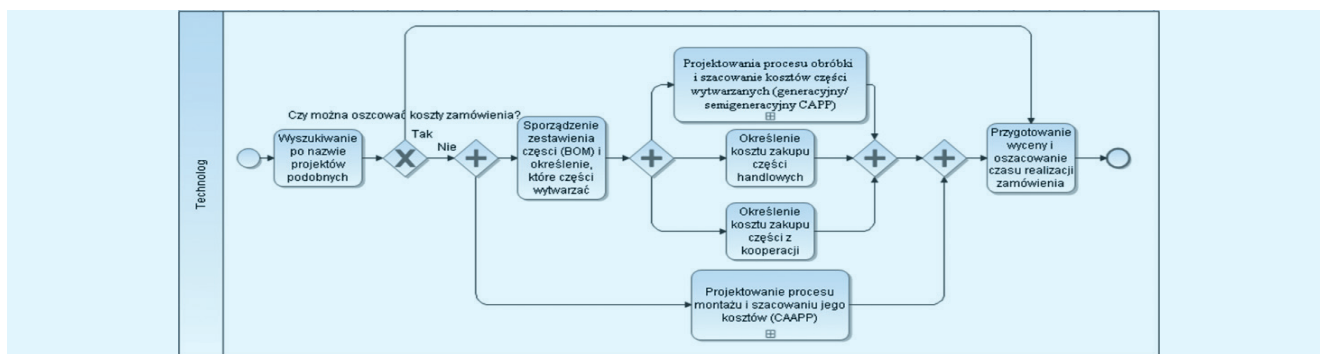
W ramach **pierwszej koncepcji**: ponieważ wyszukiwanie po nazwie projektów podobnych i na tej podstawie przygotowywanie wyceny jest mało efektywne, przewidziano zastosowanie metody generacyjnej lub semigeneracyjnej CAPP do wspomaganie projektowania procesu technologicznego obróbki i szacowania kosztów wytwarzania (rys. 2).

Druga koncepcja zakłada, że projektowanie procesu technologicznego obróbki i szacowanie kosztów wytwarzania jest wspomaganie dwustopniowym systemem CAPP. Wariantową metodę CAPP można zastosować tylko w zakresie od 30 do 90% elementów (części) wyrobu [6]. Dlatego przyjęto, że kolejnym krokiem wspomaganie projektowania procesu technologicznego obróbki oraz szacowania kosztów wytwarzania może być zastosowanie metody generacyjnej lub semigeneracyjnej CAPP (rys. 3).

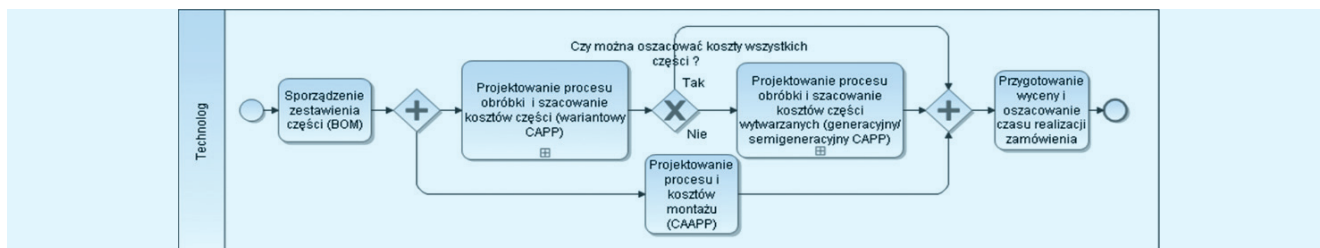
Etapy wspomaganie komputerowo wstępnego projektowania procesu obróbki oraz szacowania kosztów i czasu wytwarzania części z użyciem metody wariantowej i semigeneracyjnej CAPP zaprezentowano w pracy [7].

Zastosowanie systemów CAPP do wspomaganie procesu technologicznego obróbki i szacowania kosztów wytwarzania daje podstawę do dalszych działań realizowanych na kolejnych etapach projektowania rozwoju wyrobu, m.in.: do projektowania ekologicznego, projektowania ze względu na montaż i wytwarzanie oraz realizacji środowiskowej oceny cyklu życia.

* Dr inż. Marcin Paprocki (paprockm@uek.krakow.pl) – Katedra Technologii i Ekologii Wyrobów, Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie



Rys. 2. Projektowanie procesu technologicznego obróbki oraz przygotowanie wyceny wspomagane systemem CAPP, oparte na metodzie generacyjnej lub semigeneracyjnej – I koncepcja



Rys. 3. Projektowanie procesu technologicznego obróbki oraz przygotowanie wyceny wspomagane systemem CAPP, oparte na metodach wariantowej i generacyjnej lub semigeneracyjnej – II koncepcja

Metody komputerowego wspomaganie ekologicznego projektowania rozwoju wyrobu

Projektowanie wyrobów z uwzględnieniem aspektów ekologicznych może być zorientowane na oddziaływanie na środowisko naturalne – DFE (Design for Environment). Składowymi DFE są m.in. metodyki projektowania zorientowanego na: łatwość demontażu – DFD (Design for Disassembly), łatwość recyklingu – DFR (Design for Recycling) oraz regenerację – DFR (Design for Remanufacturing).

Projektowanie DFE uwzględnia wszystkie aspekty środowiskowe występujące na każdym etapie cyklu życia wyrobu. Jego celem jest maksymalne ograniczenie negatywnego wpływu rozwoju wyrobu na środowisko naturalne [5]. Narzędziami, które mogą wspomóc ekologiczny rozwój wyrobu na wczesnych etapach projektowania, są metody QFD i FMEA. QFD (Quality Function Deployment) to metoda rozwijania funkcji jakości wyrobu, która umożliwia zarówno projektowanie jakości nowych wyrobów, jak i poprawę jakości już istniejących, ze szczególnym uwzględnieniem potrzeb i wymagań klientów. Metoda FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) pozwala przewidzieć prawdopodobieństwo wystąpienia błędów, ocenić ich skutki, a następnie określić przyczyny ich powstania. Na tej podstawie można opracować działania zapobiegawcze, niwelujące i korygujące, które wyeliminują błędy lub zminimalizują prawdopodobieństwo ich powstania w trakcie projektowania, produkcji i użytkowania wyrobu.

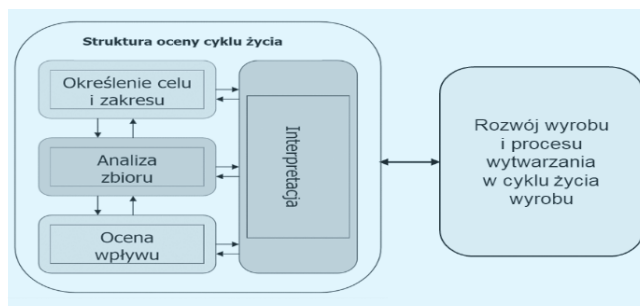
Środowiskowa ocena cyklu życia wyrobu (LCA)

Środowiskowa ocena cyklu życia wyrobu – LCA (Life Cycle Assessment) – określana jest jako zebranie i ocena wejść, wyjść oraz potencjalnych wpływów środowiskowych systemu wyrobu w okresie jego cyklu życia [8]. Oceny ekologiczności cyklu życia wyrobu przeprowadza się w czterech fazach:

- I – określenia celu i zakresu analizy,
- II – analizy zbioru wejść i wyjść LCI (Life Cycle Inventory),

- III – oceny wpływu LCIA (Life Cycle Impact Assessment),
- IV – interpretacji.

LCA jest powiązana z rozwojem wyrobu i procesem wytwarzania (rys. 4). Metoda ta została zaimplementowana w postaci systemów oprogramowania, które wspomagają ekologiczną ocenę rozwoju wyrobu w cyklu życia. Jednym z narzędzi stosowanych do oceny wpływu (LCIA) jest metoda Ekowskaźnika 99.

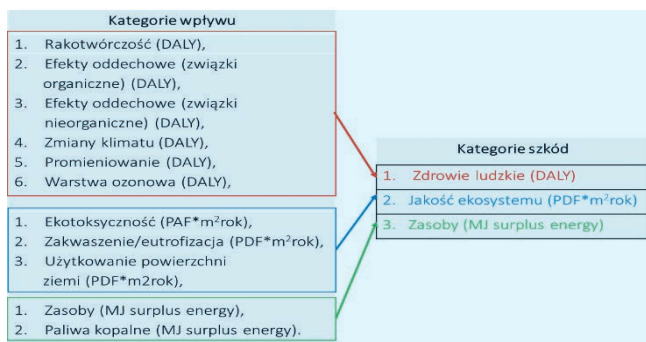


Rys. 4. Powiązanie LCA z rozwojem wyrobu i procesem wytwarzania [1, 8]

W ramach metody Ekowskaźnika 99 można zagregować kategorie wpływu do kategorii szkód (rys. 5). Agregacja do trzech kategorii szkód jest przeprowadzana w zakresie jednostek występujących w kategoriach wpływu, tj. dla:

- DALY (Disability Adjusted Life-Years) – liczby lat życia obciążonych danym schorzeniem,
- PAF (Potentially Affected Fraction) – frakcji gatunków narażonych na dany wpływ środowiskowy w ciągu roku na obszarze 1 m²,
- PDF (Potentially Disappeared Fraction) – frakcji gatunków, które potencjalnie mogą być narażone na dany wpływ środowiskowy w ciągu roku na obszarze 1 m²,
- MJ Surplus Energy w megadżulach – określającej dodatkowy wysiłek związany z nadwyżką energii, jaki będą musiały podjąć przyszłe pokolenia na wydobycie takiej samej ilości zasobu, który obecnie można wydobyć mniejszym kosztem.

W dalszej kolejności, aby otrzymać pojedynczy wynik liczbowy wyrażony w punktach Pts (points), należy normalizować i ważyć kategorie szkód (tabl. I).



Rys. 5. Kategorie wpływu zagregowane do kategorii szkód w celu oceny wpływu (LCIA)

TABLICA I. Normalizowanie i ważenie kategorii szkód (oprac. na podstawie [9])

Kategorie szkód	Normalizowanie	Ważenie
1. Zdrowie ludzkie (DALY)	65,1	400 (Pts)
2. Jakość ekosystemu (PDF*m²rok)	0,000195	200 (Pts)
3. Zasoby (MJ surplus energy)	0,000119	200 (Pts)

Proekologiczne projektowanie wyrobów z wykorzystaniem metody DFMA

W pracy [2] zaprezentowano projekt silnika przed przeprojektowaniem z użyciem metody DFMA i po nim. Po przeprojektowaniu konstrukcja silnika została uproszczona. Jednocześnie zmieniono materiał podstawy i pokrywy oraz technologię wykonania pokrywy. Porównanie parametrów charakteryzujących silnik przed przeprojektowaniem i po nim przedstawiono w tabl. II.

TABLICA II. Porównanie parametrów silnika przed przeprojektowaniem i po nim (oprac. na podstawie [2])

	Przed przeprojektowaniem	Po przeprojektowaniu (DFMA)
Liczba części	19	7
Czas montażu, s	160	46
Koszt montażu, centy	133	38,4
Koszt części, dolary	35,14	21,43
DFA _{index} , %	7,5	26,0

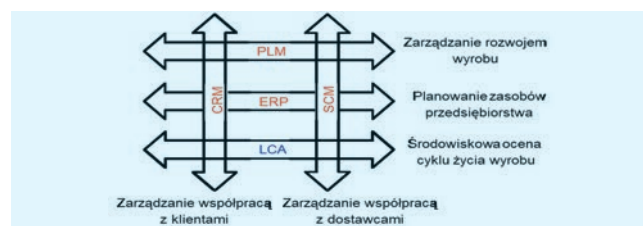
Po przeprojektowaniu silnik stał się bardziej ekologiczny, ponieważ istotnie zmniejszyła się liczba części i materiałów potrzebnych do jego wytworzenia i montażu. Odpowiedź, który wariant projektu silnika jest najbardziej ekologiczny, można uzyskać z użyciem metody LCA. Przykładowo: projektując silnik ze względu na demontaż (DFD) powinno się dążyć, by jego elementy były wytworzone z tego samego materiału. Może być to jednak sprzeczne z założeniem projektowania ze względu na montaż i wytwarzanie (DFMA), gdzie dąży się m.in. do zmiany materiału i technologii wytwarzania projektowanych części, by zredukować koszty wytwarzania.

Strategiczne wsparcie przedsięwzięć uzupełnione o składową oceny ekologiczności cyklu życia wyrobu

Koncepcję „strategicznego wsparcia przedsięwzięć” (*strategic enterprise backbone*) przedstawiono w pracy [4]. Strategiczne wsparcie przedsięwzięć daje podstawę do efektywnego rozwoju wyrobu zgodnie z założeniami projektowania współbieżnego – CE i inżynierii krzyżujących się przedsięwzięć – CEE. W związku ze wzrostem znaczenia proekologicznego rozwoju wyrobów zaproponowano, by strategiczne wsparcie przedsięwzięć uzupełnić o składową środowiskową ocenę (ekologiczności) cyklu życia wyrobu (*Ecological Backbone*) wspomagana

przez LCA. Zatem koncepcję tę można przedstawić jako krzyżowanie się składowych (rys. 6):

- zarządzania rozwojem wyrobu (*Engineering Backbone*) – wspomaganego przez systemy PLM (*Product Lifecycle Management*),
- planowania zasobów przedsiębiorstwa (*Resource Backbone*) – wspomaganego przez system ERP (*Enterprise Resource Planning*),
- zarządzania współpracą z klientami (*Customer Backbone*) – wspomaganego przez system CRM (*Customer Relationship Management*),
- zarządzania współpracą z dostawcami (*Supplier Backbone*) – wspomaganego przez system SCM (*Supply Chain Management*),
- oceny ekologiczności cyklu życia wyrobu (*Ecological Backbone*) – wspomaganą przez LCA.



Rys. 6. Strategiczne wsparcie przedsięwzięć uzupełnione o składową ocenę ekologiczności cyklu życia wyrobu

Podsumowanie

Istotne jest, aby rozwój wyrobu w całym cyklu życia w jak najmniejszym stopniu wpływał na środowisko naturalne. Zastosowanie systemów CAPP do wspomagania procesu technologicznego obróbki i szacowania kosztów wytwarzania daje podstawę do innych działań realizowanych na kolejnych etapach projektowania rozwoju wyrobu, m.in. związanych z ekologicznym projektowaniem.

Ważnym czynnikiem poprawiającym efektywność ekologicznego projektowania rozwoju wyrobów jest zastosowanie metod komputerowego wspomagania. Metodę DFMA można wykorzystać do ekologicznego projektowania rozwoju wyrobu zwłaszcza w sprzężeniu z innymi metodami i narzędziami, takimi jak: DFE (DFD, DFR – Design for Recycling, DFR – Design for Remanufacturing), FMEA, QFD, LCA oraz Ekowskażnik 99.

Zaproponowano, by strategiczne wsparcie przedsięwzięć uzupełnić o składową ocenę ekologiczności cyklu życia wyrobu (*Ecological Backbone*) wspomagana przez LCA.

LITERATURA

- Adamczyk W., „*Ekologia wyrobów: jakość, cykl życia, projektowanie*”. Warszawa: Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, 2004.
- Boothroyd G., „Design for Manufacture and Assembly: The Boothroyd and Dewhurst experience design for x”. Huang G.Q. *Concurrent Engineering imperatives*. London: Chapman & Hall, 1996.
- Duda J., „Wspomagane komputerowo generowanie procesu obróbki w technologii mechanicznej”. *Seria Mechanika. Monografia 286*. Kraków: Politechnika Krakowska, 2003.
- Eigner M., „Product Lifecycle Management – The Backbone for Engineering”. *I Międzynarodowa Konferencja VIDA „Virtual Design and Automation”*. Poznań, 2004.
- Krumenauer F.Z., Matayoshi C.T., da Silva I.B., et al., „Concurrent engineering and DFMA approaches on the development of automotive panels and doors”. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*. 31, 2 (2008): s. 690–698.
- Matuszek J., Plinta D., „System komputerowego wspomagania projektowania procesów wytwarzania «SYSKLASS»”. Bielsko-Biała: Wydaw. Politechniki Łódzkiej Filii w Bielsku-Białej, 2000.
- Paprocki M., „Modelowanie etapów projektowania technologicznego obróbki wspomagane systemami CAPP”. *Mechanik*. 12 (2016): s. 1866–1867.
- PN EN-ISO 1044: 2009: Zarządzanie środowiskowe – Ocena cyklu życia – Wymagania i wytyczne.
- Strykowski W., Lewandowska A., Wawrzyniewicz Z., Noskowiak A., Cichy W., „Środowiskowa ocena cyklu życia (LCA) wyrobów drzewnych”. Wydaw. ITD, 2006.