

## DESIGNING INNOVATIVE PRODUCTS IN TERMS OF LCA

### Abstract

*The present work discusses the problem of creating products innovative in terms of ecology, so that they should have little impact on the environment. The paper presents the concept of eco-design development with the application of the LCA analysis, using a division into stages corresponding to the two parts of the product life cycle. The proposition involves solving the inverse problem of LCA as an element that allows us to perform a certain kind of optimization within the eco-design process.*

**Keywords:** the product life cycle, the eco-design process, the eco-design development, LCA

### 1. Introduction

The idea of reductionism prevailed in the philosophy of science for many years. According to this concept in order to learn the properties of a complex system it is enough to have the knowledge of its constituents [10]. Reductionism as a research conception has been criticised many a time and almost entirely discarded. However, the reductionist position that calls for studying small fractions in order to explain the operation of more complex systems on the basis of the acquired knowledge has been one of the most effective cognitive methods in science. It is assumed though that the results obtained in this way constitute only the basis for examining more complicated systems.

Contrary to the idea of reductionism in science is holism, according to which all the observed phenomena form holistic systems affected by specific regularities, which cannot be determined on the basis of knowledge of constituents properties. This idea introduced in the twenties of the 20<sup>th</sup> century became the basis for a new approach to solving problems known as the systemic approach and related systemic thinking [11].

Systemic thinking, whose origins date back to the fifties of the 20<sup>th</sup> century, contributed to the change

in perceiving human functioning in the natural environment. Thinking based on the idea that the environment is part of the economy was replaced by a reversed conviction that it is the economy which is part of the environment.

Thus, the economy and the associated human activities remain within the system which creates the natural environment called the ecosystem. From a global perspective the economy is the cause of considerable damage, often overshadowed by local success [4]. The devastation is related to ecosystem and can be identified within three areas[1]:

- devastation of non-renewable resources,
- devastation of the ecosystem,
- devastation of human health.

The main problem was to determine the standards and how to measure the indicated damage, which is a factor necessary for analyzing its impact on the entire system. The concept of energy evaluation was proposed in the case of non-renewable resources, i.e. the conversion of loss into energy [4, 6].

A more difficult thing was to find a measure for the two other types of damage. The method of estimating the damage throughout the life cycle of the product, represented by the ISO 14000 standards, has become the solution to this problem [7, 8].

Hence comes the LCA methodology (Life Cycle Assessment) allowing us to assess the overall impact of the product on the environment. It is also an instrument enabling designers to seek solutions diminishing the scale of such threads to the natural environment. This activity is called eco-design, according to which environmental aspects of the product are important indicators of how innovative the product is [3].

## 2. The essence and purpose of LCA

The LCA covers the entire life cycle of the product, taking into account all the factors related to it and affecting the natural environment [5]. In other words, the LCA analysis examines the relationships between the product and the surrounding environment. In the case of material goods these relationships are to indicate the degree of environmental impact within the four areas: materials, manufacture, utilization and disposal.

Environmental impact is due to consuming non-renewable resources, including energy or introducing harmful elements into the environment. The product is considered as part of the eco-system, so the analysis must account for even the most remote system constituents linked to the product (Fig. 1).

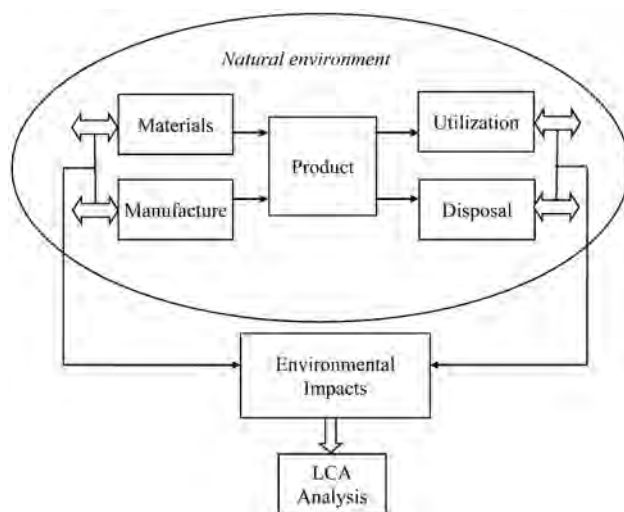


Fig. 1. Relationships: product - environment in the LCA methodology

*Materials* – the impact on the environment throughout the entire production cycle of materials, considering the material resources used and the resulting waste, energy and the hazardous substances introduced into the environment.

*Manufacture* – the impact on the environment taking into account the machines and devices, energy, generated waste, and harmful substances introduced into the environment.

*Utilization* – the impact on the environment taking into consideration the energy consumed, supplies, and harmful substances introduced into the environment.

*Disposal* – the impact on the environment taking into consideration the energy consumed during the disposal process, recovery of materials as a result of recycling, and the introduction of harmful substances into the environment.

Determining the environmental impacts of the product is a very complex task, especially due to the necessity of accounting for a complete product life cycle compatible with the systemic approach. For example, for a product such as an automotive engine crankshaft, which is made of steel, the environmental impacts within the indicated four areas, to put it simply, are the following:

*Materials* – producing steel from the very beginning of the process, i.e. extraction of iron ore, heating it in a blast furnace, plastic processing of steel into a suitable form for use in the manufacture of products. In addition, coke and fluxing agents for the blast furnace engineering, natural gas, oxygen and alloying agents needed in the steelmaking process. Waste in the form of slag and cooling water, as well as dust and volatile matters polluting the environment.

*Manufacture* – production of appliances for forging, machining the shaft and heat treatment of the crankshaft, waste in the form of chips after machining.

*Utilization* – energy for driving the engine (e.g. gasoline), whose element is the crankshaft, oil lubricating the mating surfaces.

*Disposal* – tools and energy consumed during the disassembly of the engine and removal of the shaft, the appliances and energy used while recycling. Steel which can be reused is the output of recycling.

It is an extremely complex issue to estimate the environmental impacts when taking into consideration all the elements indicated. However, this problem has been solved by creating and using specialized computer programs supportive to the LCA analysis.

## 3. LCA in the process of engineering design

The approach to design resulting from reductionism assumed that the engineer's interest in the product ends at the stage of utilization, which in technical terms can be called exploitation. The customer – using the product received the user's manual which contained no information about its future. Likewise, the designer did not wonder about the future of the product after a period of utilization (Fig. 2).

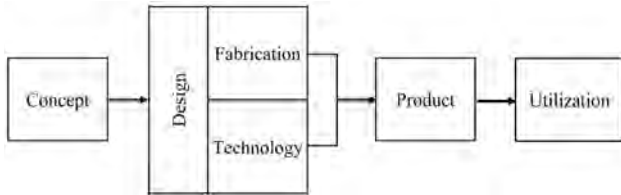


Fig. 2. Traditional design process

The systemic approach forced the designer engineers to anticipate the future of the product after the period of utilization. This matter has become as important as the utilization process.

The fabrication of the product should make its disposal easy and should involve recycling, thanks to which significant part of material could be reused (Fig. 3). Such an approach accounted for the impact of the product on the environment, but only from the perspective of its future after the period of utilization. The anticipated recycling made it possible that only some product components ended up in the landfill thanks to the materials recovered.

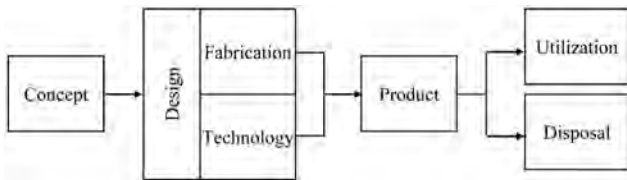


Fig. 3. Systemic approach to design

The ISO 1400 standards forced the designers to make an assessment of the product environmental impacts [2]. Many programs supportive to LCA have been created. However, the outcome of the LCA is only the information about the damage the product brings to the natural environment.

The LCA analysis is conducted "a posteriori", i.e. for the product launched into the market and is mostly of marketing significance. The results of this analysis do not affect the design process. They can only lead to withdrawal of the product from the market or its modification (Fig. 4).

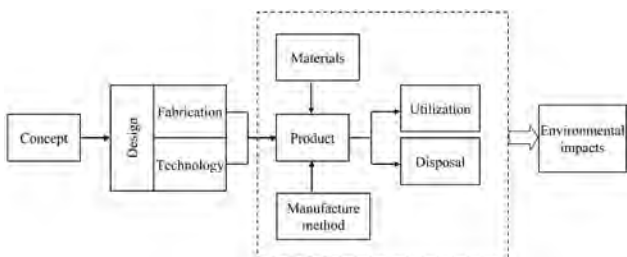


Fig. 4. The LCA product analysis

However, there are no mechanisms which could interfere with the design process, so as to treat the

product as part of the system already at this stage, determine its environmental impacts and undertake remedial actions.

#### 4. Engineering eco-design

A proposal for solving the problem of eco-design is the implementation of the LCA analysis in the design process, as early as possible so that its results could affect systematically the decisions of the designer. According to the proposed concept the LCA analysis should be divided into two parts (Fig. 5) and conducted individually for the two phases. One of them will determine the environmental impacts in the areas related to the production of material and the manufacture process. Whereas the other phase will include the utilization and disposal of the product. The first phase provides information for the designers, as a result of which it is possible to modify the design in order to reduce the environmental impacts.

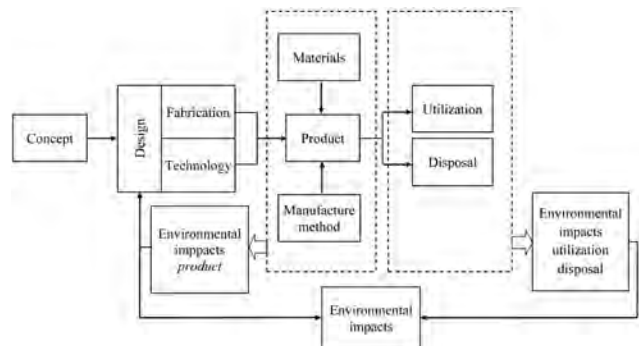


Fig. 5. Division of the LCA analysis into two phases

This simplified analysis concerning only the materials and manufacture methods can be performed with less effort and thus faster. It makes it possible in the consecutive iterations to obtain a product with improved properties as regards the environmental impacts, which indicates eco-innovativeness (Fig. 6).

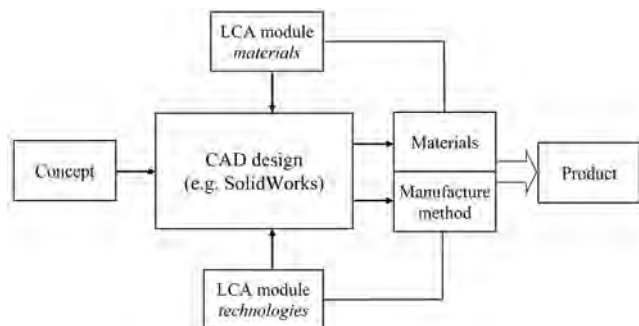


Fig. 6. Supporting the Eco-design process

This approach implements a feedback loop in the process of designing and allows for achieving the desired result in the iterative procedure (Fig.

7). Materials proposed for the product and the manufacture method are determined as a result of the design process as well as technologies associated with this process.

The LCA analysis, which indicates the environmental impacts, is conducted for the data. The data is compared to the assumed acceptable environmental impacts and in the case of too large difference a correction to the design is introduced in the next iterative step.

If as a result of changes in subsequent iterative steps of the design process no satisfactory results are achieved, then the product concept should be modified within the frames of the second feedback loop. The knowledge collected in the subsequent iterations of the design process is applied to changes in the product concept so as to increase the chances for the desired result. This change of concept should also account for another phase of the LCA analysis related to the utilization and disposal of the product.

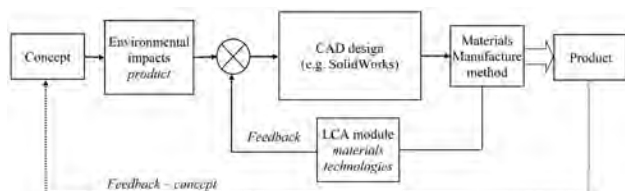


Fig. 7. Feedback in the eco-design

The target solution to the eco-design system, in accordance with the proposed approach, is the use of the module allowing for solving the inverse problem of LCA. The solution of the inverse problem is defined here as indication of the modifications relating to materials and manufacture methods, so the environmental impacts are equal to the expected ones (Fig. 8).

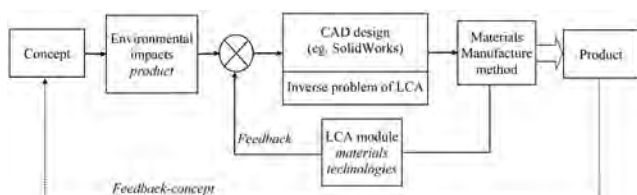


Fig. 8. Optimization using the LCA in eco-design

It is, in a way, a computation task for optimization, whose aim is to minimize the established measure of the difference between the expected and actual environmental impacts.

In this case after creating the first version of the design deviations in the feedback loop are determined. They constitute the input data for the inverse problem. It is a significant help for the designer, who consequently does not have to reach the final solution by method of trials in the subsequent iteration steps.

The activity of solving the inverse problem of LCA requires suitable computational tools. Although there are various computer programs supportive to the LCA analysis none of them indicate any options of solving the inverse problem. It is then a prospective concept, however taking into account the importance of eco-design it can be realized quite soon.

## 5. Development of eco-design tools.

Engineers designers have access to various tools supporting design (CAD). There are also numerous programs helping the performance of the LCA analyses [9]. An example of aided design is the engineer graphics program Solid Works [12] oriented on spatial design 3D.

Apart from the basic task, such as drawing particular elements and making assemblies the program has various ancillary modules (Fig. 9). Among others, there are modules for calculating the volume and mass of materials, for strength analyses, for analyzing and stimulating motion in the designed mechanisms and many others.

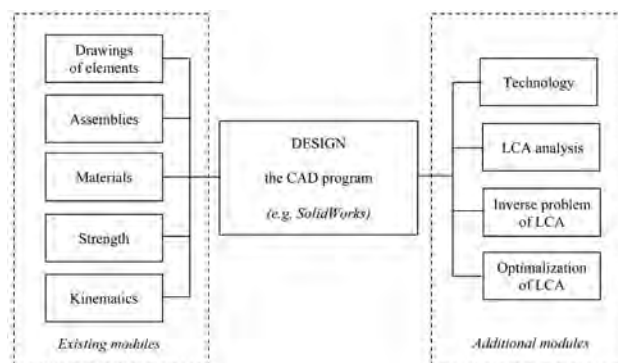


Fig. 9. Eco-design tools

The proposed method of aided design requires creating and providing a program with special additional modules. It is necessary to provide the module which could relate to the manufacture methods and analyze the accessible technologies. Other modules are linked to the LCA analysis: conducting the analysis, solving the inverse problem and performing optimization. The CAD program enriched in this way allows us to perform the eco-design tasks according to the concept presented in this paper.

## 6. Conclusions

It is a great challenge in our times to account for environmental aspects in all types of human activities, which is strongly emphasized in the EU policy. With regard to products of material nature these issues must be discussed as early as the design stage, so that they have innovative features in terms of ecology.



The LCA analysis provides evaluation of the eco-innovation level, in accordance with the ISO 1400 standards. However, in practice, this analysis is performed after the design process has been completed, which makes it necessary to repeat the design process when the evaluation grade is low. The conception presented here incorporates the LCA analysis into the design process, which can greatly assist reaching satisfactory results. The practical application of this kind of eco-design requires expanding the existing tools of the CAD class with modules based on the LCA analysis methodology.

## References

- [1] Adamczyk W., *Ekologia wyrobów. (Ecology of Products)*, PWE, Warszawa 2004.
- [2] Błażejowska-Rybaczevska M., Luściński S., *The Application of Life Cycle Assessment with GSI System Support, Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji*, pod red. R.Knosali, Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole 2014, T. 1, s. 253-262.
- [3] Burchart-Korol D., *Ekoprojektowanie – holistyczne podejście do projektowania (Eco-design-holistic approach to design)*. Problemy Ekologii (Ecological Issues), vol.14 no. 3, maj-czerwiec 2010. [http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.baztech-article-BAR8-0005-0016/c/httpwww\\_bg\\_utp\\_edu\\_plartpe1-32010burchart.pdf](http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.baztech-article-BAR8-0005-0016/c/httpwww_bg_utp_edu_plartpe1-32010burchart.pdf).
- [4] Cempel C., *Teoria i inżynieria systemów. (Theory and Engineering of Systems)*, Wydawnictwo Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacji –PIB, Radom 2008.
- [5] Kowalski Z., Kulczycka J., Góralczyk M., *Ekologiczna ocena cyklu życia procesów wytwórczych (LCA)(Ecological assessment of the life cycle of manufacture processes)*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2007.
- [6] Odum H., *Environmental Accounting, Energy and Decision Making*, John Wiley, New York 1996.
- [7] PN-EN 14040:2009, *Zarządzanie środowiskowe – Ocena cyklu życia – Zasady i struktura, (Polish standard: Environmental management-LCA-Principles and Structure)*.
- [8] PN-EN 14044:2009, *Zarządzanie środowiskowe – Ocena cyklu życia – Wymagania i wytyczne, (Polish standard: LCA-Requirements and Guidelines)*.
- [9] Wach A.K., *Metoda oceny cyklu życia (LCA) jako podstawa komputerowo-wspomaganej oceny wyrobu. (The method of LCA as a basis for computer-aided product evaluation)*, II Krajowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Ekologia w elektronice”, (The 2nd National Conference of Science and Technology: „Ecology in Electronics”) Przemysłowy Instytut Elektroniki, Warszawa 2002. [http://www.pie.edu.pl/eko\\_2002/pdf/C1\\_Referat.pdf](http://www.pie.edu.pl/eko_2002/pdf/C1_Referat.pdf).
- [10] <http://pl.wikipedia.org/wiki/Redukcjonizm>
- [11] <http://pl.wikipedia.org/wiki/Holizm>
- [12] <http://pl.wikipedia.org/wiki/SolidWorks>

Bożena Kaczmarek  
Wacław Gierulski

## Projektowanie innowacyjnych wyrobów w aspekcie LCA

### 1. Wprowadzenie

W filozofii nauki przez wiele lat panował pogląd o nazwie redukcjonizm, zgodnie z którym dla poznania własności układu złożonego wystarczy znajomość własności jego części składowych [10]. Redukcjonizm jako koncepcja badawcza był wielokrotnie krytykowany i niemal w całości odrzucony, jednak stanowisko redukcjonistyczne, które postuluje badanie małych fragmentów, żeby w oparciu o nabytą wiedzę wyjaśnić

zachowanie bardziej złożonych układów było i jest jedną z najbardziej skutecznych metod poznawczych w nauce. Przyjmuje się jednak, że otrzymywane w ten sposób wyniki stanowią jedynie podstawy do badania bardziej złożonych układów. Przeciwnym do redukcjonizmu poglądem w nauce jest holizm, zgodnie z którym wszystkie obserwowane zjawiska tworzą całościowe układy podlegające specyficznym prawidłowościom, których nie można określić na podstawie

znajomości własności części składowych. Pogląd ten wprowadzony w latach 20 XX wieku, stał się podstawą nowego podejścia do rozwiązywania problemów nazywanego podejściem systemowym i związanego z nim myślenia systemowego [11].

Myślenie systemowe, którego początki datuje się na lata 50 XX wieku, przyczyniło się do zmiany poglądu na sposób funkcjonowania człowieka w środowisku naturalnym. Pogląd bazujący na przekonaniu, że środowisko to część gospodarki, został zastąpiony poglądem, że gospodarka to część środowiska. Tak więc gospodarka i związana z nią działalność człowieka jest wewnątrz systemu tworzącego środowisko naturalne nazywanego ekosystemem i jest powodem wielu szkód w ujęciu globalnym, często przysłanianych lokalnymi sukcesami [4]. Szkody te odnoszone są do ekosystemu i mogą być identyfikowane w trzech dziedzinach [1]:

- szkody w zasobach nieodnawialnych,
- szkody pogarszające jakość ekosystemu,
- szkody dotyczące zdrowia ludzkiego.

Zasadniczym problemem było określenie miar i sposobu pomiaru wskazanych szkód, co jest czynnikiem koniecznym dla analizy ich wpływu na cały system. W przypadku zasobów nieodnawialnych proponowana była koncepcja energetycznego wartościowania, czyli przeliczanie strat do postaci energii [4, 6]. Trudniejszą sprawą było znalezienie miary dla dwóch pozostałych rodzajów szkód. Rozwiązaniem tego problemu pomiaru stały się szacunkowe metody określania szkód w całym cyklu życia produktu, przedstawione w międzynarodowych normach ISO serii 14000 [7, 8]. Stąd też wywodzi się metodyka LCA (*Life Cycle Assessment*) pozwalająca na uogólnioną ocenę oddziaływania produktu na środowisko. Jest to także narzędzie dla projektantów pozwalające na poszukiwanie rozwiązań zmniejszających skalę tak rozumianych zagrożeń dla środowiska naturalnego. Działanie takie nazywane jest ekoprojektowniem, zgodnie z którym ważnym wskaźnikiem innowacyjności produktu są jego aspekty środowiskowe [3].

## 2. Istota i cel analizy LCA

Analiza LCA obejmuje pełen cykl życia wyrobu, uwzględniając wszystkie związane z nim czynniki wpływające na środowisko naturalne [5]. Inaczej mówiąc analiza LCA bada relacje pomiędzy wyrobem a otaczającym go środowiskiem naturalnym. W przypadku wyrobów zmaterializowanych relacje te mają wskazać stopień obciążenia środowiska naturalnego w czterech obszarach: materiały, wytwarzanie, użyt-

kowanie oraz likwidacja. Obciążenie środowiska następuje poprzez zużywanie nieodnawialnych zasobów, w tym energii lub wprowadzanie do środowiska czynników szkodliwych. Wyrób traktowany jest jako element ekosystemu, więc analiza musi uwzględniać nawet bardzo odległe związane z wyrobem elementy systemu.

*Materiały* – obciążenie środowiska w całym cyklu produkcji materiałów z uwzględnieniem zużywanych zasobów materialnych i powstających odpadów, energii oraz wprowadzanych do środowiska szkodliwych substancji.

*Wytwarzanie* – obciążenie środowiska z uwzględnieniem wykorzystywanych maszyn i urządzeń, energii, powstających odpadów oraz wprowadzanych do środowiska szkodliwych substancji.

*Eksploatacja* – obciążenie środowiska z uwzględnieniem pobieranej energii, materiałów eksploatacyjnych oraz wprowadzanych do środowiska szkodliwych substancji.

*Likwidacja* – obciążenie środowiska z uwzględnieniem energii pobieranej w procesie likwidacji, odzysku materiałów w wyniku recyklingu oraz wprowadzanych do środowiska szkodliwych substancji.

Wyznaczenie w jaki sposób wyrób obciąża środowisko naturalne jest bardzo złożonym zadaniem, szczególnie ze względu na konieczność uwzględnienia zgodnego z podejściem systemowym pełnego cyklu życia wyrobu. Przykładowo dla wyrobu jakim jest wykonany ze stali wał korbowy w silniku samochodowym, obciążenie środowiska naturalnego w czterech wskazanych obszarach w dużym uproszczeniu wygląda następująco:

*Materiały* – wytworzenie stali od początku procesu, czyli wydobywanie rudy żelaza, wytop w wielkim piecu, przeróbka otrzymanej surówki na stal, przeróbka plastyczna stali do postaci odpowiedniej do wykorzystania w produkcji wyrobów. Ponadto koks i topniki do technologii wielkopiecowej, gaz ziemny, tlen i dodatki stopowe potrzebne w procesie stalowniczym. Odpady w postaci żużlu i wody chłodzącej, oraz pyły i substancje lotne zanieczyszczające środowisko.

*Wytwarzanie* – wytworzenie urządzeń do kucia, obróbki skrawaniem wału i obróbki cieplnej wału. Energia zużyta w procesie wytwarzania do nagrzewania oraz napędu maszyn, woda do chłodzenia w procesie hartowania, odpady w postaci wiórów po obróbce skrawaniem.

*Eksploatacja* – energia do napędu silnika (np. benzyna), którego elementem jest wał korbowy, olej smarujący współpracujące powierzchnie.

*Likwidacja* – narzędzia i energia wydatkowana podczas demontażu silnika i wyjęcia wału, urządzenia i energia w procesie recyklingu. Efektem recyklingu jest stal nadająca się do ponownego wykorzystania.

Szacowanie obciążenia środowiska naturalnego z uwzględnieniem wskazanych elementów jest niezwykle złożonym zagadnieniem. Problem ten został jednak rozwiązany przez utworzenie i stosowanie specjalistycznych programów komputerowych wspomagających przeprowadzenie analizy LCA.

### 3. LCA w procesie projektowania inżynierskiego

Wynikające z redukcjonizmu podejście do projektowania zakładało, że zainteresowanie inżyniera projektanta wyrobem kończy się na etapie użytkowania, co w języku technicznym nazywane jest eksploatacją. Klient będący użytkownikiem wyrobu otrzymywał instrukcję obsługi, w której nie było informacji o jego dalszych losach. Tak samo projektant nie zastanawiał się nad losami wyrobu po okresie użytkowania.

Podejście systemowe wymusiło na inżynierach projektantach przewidywanie losu wyrobu po okresie eksploatacji. Sprawa ta stała się tak samo ważna, jak sam proces użytkowania. Konstrukcja wyrobu powinna umożliwiać jego łatwą likwidację połączoną z recyklingiem, dzięki czemu znaczna część materiałów może być powtórnie wykorzystywana. Takie podejście uwzględnia wpływ wyrobu na środowisko, ale jedynie z punktu widzenia jego losów po okresie użytkowania. Przewidywany recykling sprawia, że dzięki odzyskiwanym materiałom tylko wybrane elementy wyrobu lokowana jest na wysypisku śmieci.

Wprowadzone normy ISO serii 14000 wymusiły na projektantach ocenę wpływu wyrobu na środowisko [2]. Powstało wiele programów wspomagających analizę LCA, jednak jej wynikiem jest tylko informacja o tym, jakie wyrób powoduje szkody w środowisku naturalnym. Analiza LCA przeprowadzana jest w trybie „as posteriori”, czyli dla wyrobu wprowadzonego na rynek i ma głównie znaczenie marketingowe. Wyniki tej analizy nie wpływają na proces projektowania, mogą jedynie spowodować wycofanie produktu z rynku lub jego modyfikację.

Brak natomiast mechanizmów ingerujących w proces projektowania, tak aby już na tym etapie traktować wyrób jako część systemu, określać powodowane przez niego obciążenie środowiska naturalnego i podejmować działania żeby je zmniejszyć.

### 4. Ekoprojektowanie inżynierskie

Pewną propozycją rozwiązania przedstawionego problemu ekoprojektowania jest włączenie analizy LCA

w proces projektowania na możliwie wczesnym etapie, tak żeby jej wyniki na bieżąco wpływały na decyzje projektanta. Według proponowanej koncepcji analizę LCA należy podzielić na dwie części i wykonywać oddzielnie dla dwóch faz. Jedną z nich obejmie określenie obciążenia środowiska w obszarach związanych z wyprodukowaniem wyrobu, czyli materiału i proces wytwarzania. Natomiast druga faza analizy obejmuje użytkowanie i likwidację. Faza pierwsza analizy daje informację dla projektantów, w wyniku której może być dokonywana modyfikacja projektu zapewniająca mniejsze obciążenie środowiska naturalnego.

Ta uproszczona analiza dotycząca tylko materiałów i procesu wytwarzania może być wykonywana mniejszym nakładem pracy, a więc szybciej. Pozwala to w kolejnych iteracjach uzyskiwać wyrób o lepszych właściwościach dotyczących obciążenia środowiska naturalnego, co jest wyznacznikiem ekoinnowacyjności.

Taki sposób działania wprowadza w proces projektowania pętlę sprzężenia zwrotnego i umożliwia dochodzenie do pożądanego wyniku w procedurze iteracyjnej. W wyniku procesu projektowania określone są materiały zaplanowane do wykonania wyrobu oraz sposób wytwarzania i związane z nim technologie. Dla tych danych wykonywana jest analiza LCA wskazując obciążenie środowiska naturalnego. Dane te porównywane są z przyjętym, jako dopuszczalne, obciążenie środowiska i w przypadku zbyt dużej różnicy następuje korekta projektu w kolejnym kroku iteracyjnym. Jeżeli w wyniku zmian wprowadzanych w kolejnych krokach iteracyjnych procesu projektowania nie zostaną osiągnięte zadowalające wyniki powinna nastąpić modyfikacja koncepcji wyrobu w ramach drugiej pętli sprzężenia zwrotnego. Przy zmianie koncepcji wyrobu wykorzystywana jest wiedza uzyskana w kolejnych iteracjach procesu projektowania, tak aby zwiększyć szanse uzyskania pożądanego wyniku. Zmiana koncepcji powinna uwzględniać także drugą fazę analizy LCA dotyczącą użytkowania i likwidacji wyrobu.

Docelowym rozwiązaniem w systemie ekoprojektowania zgodnie z proponowaną koncepcją jest zastosowanie modułu umożliwiającego rozwiązanie zadania odwrotnego LCA. Rozwiązanie zadania odwrotnego rozumiane jest tutaj, jako wyznaczenie modyfikacji dotyczących materiałów i sposobów wytwarzania, tak aby obciążenie środowiska było równe obciążeniu oczekiwanemu. Jest to pewnego rodzaju obliczeniowe zadanie optymalizacji, w którym celem jest minimalizacja ustalonej miary różnicy pomiędzy oczekiwanym a rzeczywistym obciążeniem środowi-

ska naturalnego. W takim przypadku po wykonaniu pierwszej wersji projektu w pętli sprzężenia zwrotnego wyznaczane są odchyłki stanowiące dane wejściowe dla zadania odwrotnego. Zadanie odwrotne, jako wyniki, przedstawia propozycję zmian, które wprowadzane są w drugiej wersji projektu. Jest to znacząca pomoc dla projektanta, który w takim przypadku nie musi dochodzić do końcowego wyniku metodą prób realizowanych w kolejnych krokach iteracyjnych.

Rozwiązywanie zadania odwrotnego LCA wymaga posiadania odpowiednich narzędzi obliczeniowych. Mimo istnienia wielu programów komputerowych wspomagających analizę LCA w żadnym z nich nie wskazano opcji rozwiązywania zadania odwrotnego. Jest to więc koncepcja przyszłościowa, jednak uwzględniając wagę ekoprojektowania prawdopodobnie dość szybko może być zrealizowana.

### 5. Rozwój narzędzi ekoprojektowania

Inżynierowie projektanci mają wiele narzędzi wspomagających projektowanie (CAD), istnieje także wiele programów wspomagających wykonywanie analiz LCA [9]. Przykładem wspomagania projektowania może być inżynierski program graficzny SolidWorks [12] nastawiony na projektowanie przestrzenne 3D. Program ten oprócz podstawowych zadań jakimi jest wykonywanie rysunków poszczególnych elementów i tworzenie złożeń posiada wiele modułów pomocniczych. Są to między innymi moduły do obliczania objętości i masy materiału, do analiz wytrzymałościowych, do analizy i symulacji ruchu w projektowanych mechanizmach i wiele innych.

Proponowana metoda wspomagania projektowania wymaga utworzenia i dołączenia do programu kilku dodatkowych modułów specjalnych. Konieczny jest moduł dotyczący sposobów wytwarzania, analizujący dostępne technologie. Kolejne moduły związane są z analizą LCA: wykonywanie analizy, rozwiązywanie zadania odwrotnego i przeprowadzania optymalizacji. Tak wzbogacony program CAD pozwoli realizować zadania ekoprojektowania według przedstawionej koncepcji.

### 6. Podsumowanie

Uwzględnianie aspektów środowiskowych we wszelkiej działalności człowieka jest wielkim wyzwaniem naszych czasów, co jest bardzo mocno akcentowane w polityce Unii Europejskiej. W odniesieniu do wyrobów mających postać materialną zagadnienia te muszą być rozpatrywane już na etapie projektowania, tak aby miały one innowacyjne cechy z punktu widzenia ekologii. Ocenę poziomu ekoinnowacyjności, zgodnie z przedstawionymi w normach serii ISO 14000 standardami, daje analiza LCA. Jednak w praktyce analiza ta jest wykonywana po zakończeniu procesu projektowania, co powoduje, że przy niskiej ocenie należy powtarzać proces projektowania. Przedstawiona koncepcja włącza analizę LCA w proces projektowania, co może znacznie wspomagać dochodzenie do zadowalających wyników. Praktyczne stosowanie tego rodzaju ekoprojektowania wymaga rozbudowy istniejących narzędzi klasy CAD o moduły oparte na metodyce analizy LCA.