

Krystyna Czaplicka-Kolarz¹

Główny Instytut Górnictwa, pl. Gwarków 1, 40-166 Katowice

Izabella Hyla²

Politechnika Śląska, Katedra Stopów Metali i Kompozytów, ul. Krasińskiego 8, 40-017 Katowice

FUNKCJA CELU W PROCESIE EKOPROJEKTOWANIA KOMPOZYTU WIELOWARSTWOWEGO

Proces projektowania kompozytów prowadzony jest przede wszystkim pod kątem możliwości uzyskiwania przez materiał określonych właściwości fizycznych i mechanicznych. Obecnie dąży się do tego, aby proces projektowania uwzględniał również takie czynniki, jak: oddziaływanie materiału lub wpływu wyrobu na środowisko (przy uwzględnieniu całego jego cyklu życia - metoda LCA) oraz koszty jego produkcji i eksploatacji. W analizie końcowej procesu projektowania zachodzi zatem potrzeba zastosowania optymalizacji wieloczynnikowej. W prezentowanej pracy przedstawiono schemat postępowania w tym zakresie, pomocny przy formułowaniu funkcji celu. Badaniom poddano trzy rodzaje taśm najczęściej stosowanych w górnictwie, tzn. taśmy gumowe, trudnopalne, składające się z rdzenia 2-, 3- lub 4-przekładkowego na bazie tkaniny poliamidowej, gumowej warstwy międzyprzekładkowej oraz okładek i obrzeży gumowych. W rozważaniach teoretycznych taśmy traktowano jako kompozyt wielowarstwowy. Poszczególne warstwy kompozytowe posiadały zbrojenie włókniste w formie tkaniny oraz osnowę polimerową z dodatkami zapewniającymi trudnopalność i antystatyczność. Do scharakteryzowania użyteczności taśmy przenośnikowej przyjęto trzy rodzaje kryteriów: kryteria dotyczące właściwości mechanicznych, kryteria ekologiczne, kryteria ekonomiczne. Kryteria ekologiczne ustalono w oparciu o metodykę LCA (Life Cycle Assessment) - ekowskaźnik w przeliczeniu na jednostkę powierzchni taśmy. Stosując odpowiednią funkcję celu przeprowadzono optymalizację wielokryterialną. Przedstawiony sposób obliczeń można wykorzystać do wyznaczania optymalnej konstrukcji taśmy przenośnikowej (materiału przekładek i okładek, liczby przekładek), jak również do wyboru taśmy dla konkretnego zadania transportowego. Zaprezentowany sposób określania funkcji celu w procesie ekoprojektowania stwarza możliwości właściwej oceny wpływu poszczególnych czynników na jakość wyrobu i tym samym daje szansę dokonania właściwego wyboru.

Słowa kluczowe: kompozyty, ekoprojektowanie, funkcja celu, cykl życia wyrobu-LCA

OBJECTIVE FUNCTION IN MULTILAYER COMPOSITE ECODESIGN PROCESS

The process of designing of composites is usually conducted with the view of the possibilities to obtain the defined physical and mechanical properties by the material. The present trend is that the design process should include also such actions as impact of the material or product on the environment (including its whole life cycle-LCA method), and the costs of its manufacture and utilisation. Therefore, it is necessary to apply the multi-factor optimisation in the final analysis of the design process. The study presents a certain scheme of proceeding in this area, being helpful in formation of the objective function. Subject to testing were three types of conveyor belts most frequently used in the mining industry, that is fire-retardant rubber belts composed of the 2-, 3-, or 4- interlayer core made on the basis of polyamide fabric, rubber ply between interlayers, and rubber covers and borders. In theoretical analyses, the belts were considered to be a multi-ply composite. The individual composite layers were provided with fibrous reinforcement in the form of fabric, and with polymer warp with the additives ensuring the fire-retardant and anti-electrostatic properties. With the aim to characterise the usability of the conveyor belt, three types of criteria were adopted: those relating to mechanical properties, ecological criteria, and economic criteria. The ecological criteria were established on the basis of the LCA (Life Cycle Assessment) - eco-index converted into a unit area of the belt. Using a suitable objective function, the multi-criteria optimisation was carried out. The presented computational method can be applied to determine the optimal structure of the conveyor belt (material for interlayers and covers, number of interlayers), as well as select the belt for given transport tasks. The presented method for determining the objective function in the process of eco-designing gives the possibilities to perform an adequate evaluation of the effect of individual factors on the quality of the product, and thereby gives a chance to make the proper choice.

Key words: composites, ecodesign, objective function, life cycle-LCA method

WPROWADZENIE

Przez szereg lat w procesie projektowania kompozytów skład i strukturę materiału określały przede wszystkim wymagania dotyczące możliwości osiągnięcia w wyrobie finalnym określonego poziomu właściwości mechanicznych lub fizycznych. W ostatnich latach pro-

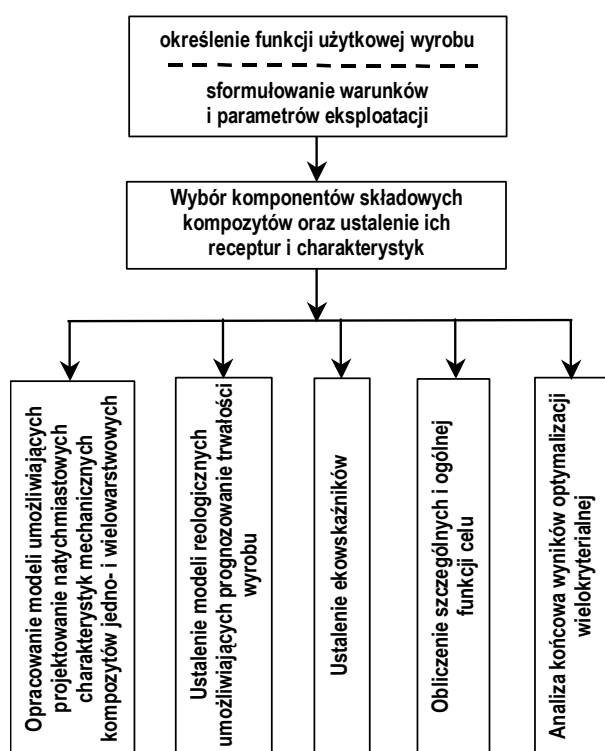
ces projektowania uległ rozszerzeniu. Do czynników

równie ważnych jak poprzednie dołączono czynniki ekologiczne i ekonomiczne. Oznacza to, że optymalny wybór materiału powinien uwzględniać obok elementów funkcjonalności wyrobu również wpływ jego cyklu życia

¹ dr hab. inż., ² prof. zw. dr hab. inż.

na środowisko oraz ponoszone koszty finansowe. To rozszerzone podejście przy formułowaniu funkcji celu w procesie projektowania określane jest często jako ekoprojektowanie. Wnosi ono szersze spojrzenie na funkcje projektowanego wyrobu, co w przypadku kompozytów należy odnieść również do składu jego komponentów oraz struktury kompozytu.

Z uwagi na to, że w odpowiedzialnych konstrukcjach inżynierskich kompozyty występują zwykle jako materiały wielowarstwowe, w prezentowanym opracowaniu do rozważań przyjęto również kompozyt wielowarstwowy, a w szczególności wielowarstwowy w obszarze materiałów polimerowych. Elementy składowe cyklu ekoprojektowania kompozytu wielowarstwowego przedstawiono w formie uproszczonej na rysunku 1.



Rys. 1. Elementy składowe cyklu ekoprojektowania wybranego do badań kompozytu wielowarstwowego

Fig. 1. Elements of multilayer composite eco-designing cycle

Każdy z wymienionych na rysunku 1 elementów składowych ekoprojektowania zawiera w sobie bardzo bogaty zakres badań i obliczeń, a zatem ich bardziej szczegółowa charakterystyka w prezentowanym opracowaniu nie jest możliwa. Zdecydowano się zatem scharakteryzować bliżej jedynie te działania, które wiążą się z określeniem funkcji celu przy uwzględnieniu oddziaływania wyrobu na środowisko. Dla większej jasności prezentowanych zależności przytoczono również niektóre wyniki prowadzonych w tym zakresie w ramach grantu [1], w którym autorki pracy w zespole

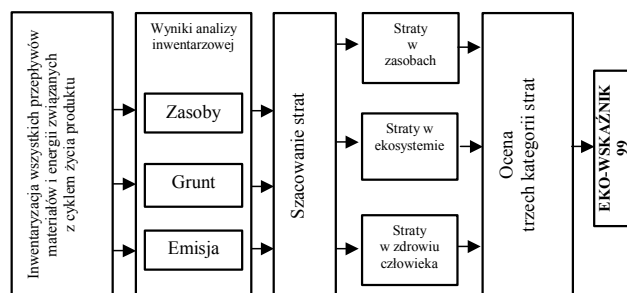
realizującym grant pełniły funkcję odpowiednio: kierownika projektu i głównego wykonawcy.

PROCEDURA OBLICZANIA EKOWSKAŹNIKA

Wytwarzanie nowego materiału lub produktu powinno być poprzedzone analizą wielkości oddziaływań na środowisko, jakie może wywierać cały proces jego produkcji, użytkowania i utylizacji. Narzędziem, które pomaga w przeprowadzeniu takiej analizy jest metoda Analizy Cyklu Życia, zwana metodą LCA (Life Cycle Assessment). Metoda ta analizuje wpływ produktu na środowisko na każdym etapie jego życia, począwszy od wykorzystanych do produkcji energii i surowców przez wpływ wszystkich innych czynników na każdym etapie produkcji, dystrybucji i użytkowania aż do utylizacji odpadów powstałych po okresie użytkowania materiału/produktu.

LCA jest narzędziem pozwalającym zidentyfikować i określić ilościowo bezpośredni i pośredni wpływ na środowisko [2-4] czynników związanych z produktem, procesem i serwisem. Opiera się na inwentaryzacji wszystkich procesów występujących podczas cyklu życia produktu. W wyniku inwentaryzacji powstają tablice oddziaływań, które są często trudne do interpretacji, dlatego opracowano różne metody wyceny oddziaływań na środowisko. Obecnie w Europie najczęściej stosowana jest metoda ekowskaźnika 99 [3]. W metodzie tej oszacowanie wpływów środowiskowych dokonywane jest w trzech podstawowych kategoriach:

- zdrowie ludzkie (HH),
- jakość ekosystemu (EQ),
- surowce (R).



Rys. 2. Procedura obliczania ekowskaźnika 99

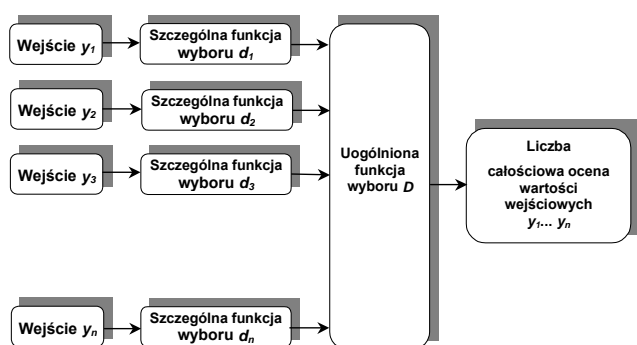
Fig. 2. Procedure for the calculation of eco-indicators

Poszczególne etapy obliczania ekowskaźnika 99 przedstawia rysunek 2.

OKREŚLENIE FUNKCJI CELU

Analizując wpływ wielu czynników na właściwości projektowanego obiektu, napotykamy na trudności przy ich ocenie, ponieważ są to na ogół wielkości między

sobą nieporównywalne i nieprzeliczalne, gdyż wyrażane są w różnych jednostkach miary. W takim przypadku można zastosować metodę tzw. ogólnej funkcji wyboru [5]. Schemat ideowy metody przedstawia rysunek 3.



Rys. 3. Schemat metody ogólnej funkcji wyboru

Fig. 3. Diagram of the general selection function method

Na wstępie zakres wartości poszczególnych parametrów wejściowych y_1, y_2, \dots, y_n należy przekształcić w bezwymiarową skalę wyboru d o wartościach w przedziale $[0, 1]$.

Skala ta wyraża związek między wartościami parametrów wejściowych y_1, y_2, \dots, y_n i odpowiadającym im wartościami d_1, d_2, \dots, d_n . Wartość $d_i = 0$ odpowiada takiej wartości parametru wejściowego y_i , która jest absolutnie nie do przyjęcia. Wartość $d_i = 1$ odpowiada najlepszej wartości parametru wejściowego y_i , przy czym dalsze jej polepszanie jest niemożliwe lub niecelowe. Pośrednie wartości skali wyboru ujmuje tabela 1.

TABELA 1. Przedziały wartości skali wyboru
TABLE 1. Value range of the selection scale

Ocena wartości lub użyteczności wyrobu	Przedział wartości skali wyboru
bardzo dobra	0,80÷1,00
dobra	0,63÷0,80
dostateczna	0,37÷0,63
zła	0,20÷0,37
bardzo zła	0,00÷0,20

W większości praktycznych przypadków optymalizacji mamy do czynienia z jednostronnym ograniczeniem wartości parametrów wejściowych typu $y \leq y_{max}$ lub $y \geq y_{min}$.

W takim przypadku przekształcenia wartości wejściowej y w d dokonuje się według następującej zależności wykładniczej:

$$d_i = \exp[-\exp(-z_i)] \quad (1)$$

gdzie
$$z_i = b_0 + b_1 \cdot y_i \quad (2)$$

Po przekształceniu i dwustronnym zlogarytmowaniu równania (1) otrzymuje się

$$z_i = -\ln(\ln 1/d_i) \quad (3)$$

Współczynniki b_0 i b_1 można wyznaczyć z równań:

$$z_{i1} = b_0 + b_1 \cdot y_{i1} \quad (4)$$

$$z_{i2} = b_0 + b_1 \cdot y_{i2} \quad (5)$$

które określa się dla dwóch różnych wartości wejściowych parametru y_i przy zadanych dla nich odpowiednich wartościach wyboru d_i .

Rozwiązując podany układ równań (4) i (5), uzyskuje się:

$$b_0 = \frac{z_{i1} \cdot y_{i2} - z_{i2} \cdot y_{i1}}{y_{i2} - y_{i1}} \quad (6)$$

$$b_1 = \frac{z_{i2} - z_{i1}}{y_{i2} - y_{i1}} \quad (7)$$

W opisany sposób dokonuje się przekształcenia wartości każdego parametru wejściowego y_i na bezwymiarową skalę d_i .

Mając określone wartości wyboru d_i dla wszystkich parametrów wejściowych, oblicza się ogólną funkcję wyboru D jako średnią geometryczną szczególnych funkcji wyboru

$$D = \sqrt[n]{d_1 \cdot d_2 \cdot \dots \cdot d_n} \quad (8)$$

Wartości funkcji D należą do przedziału $[0, 1]$.

Sposób określania szczególnych funkcji wyboru przy badaniu określonego obiektu rzeczywistego zilustrowany zostanie na przykładzie taśmy przenośnikowej wykorzystywanej do transportu urobku w górnictwie.

BADANE MATERIAŁY

Badaniom poddano trzy rodzaje taśm najczęściej stosowanych w górnictwie, tzn. taśmy gumowe, trudnopalne, składające się z rdzenia 2-, 3- lub 4-przekładkowego na bazie tkaniny poliamidowej, gumowej warstwy międzyprzekładkowej oraz okładek i obrzeży gumowych w klasie 2 (PN-74/C-94143) o właściwościach antystatycznych, odpowiadających normie PN-C05011-10:1994.

Do badań wykorzystano wyroby wykonane w typowym procesie produkcyjnym, uzyskane od jednego z producentów taśm przenośnikowych.

Wytrzymałości nominalne badanych taśm na rozciąganie wzdłuż osnowy wynosiły odpowiednio:

- taśma z rdzeniem 2-przekładkowym - 1000 kN/m
- taśma z rdzeniem 3-przekładkowym - 1250 kN/m
- taśma z rdzeniem 4-przekładkowym - 1600 kN/m

Do wytworzenia tych taśm użyto przekładek o następujących wytrzymałościach przy rozciąganiu wzdłuż osnowy:

- 550 kN/m - taśma z rdzeniem 2-przekładkowym
- 450 kN/m - taśma z rdzeniem 3-przekładkowym i 4-przekładkowym

Parametry gumy stosowanej na okładki taśm:

- wytrzymałość na rozciąganie - min. 15 MPa
- wydłużenie w chwili zerwania - min. 350%
- twardość - 65°Sh

W rozważaniach teoretycznych taśmy traktowano jako kompozyt wielowarstwowy. Poszczególne warstwy kompozytowe posiadały zbrojenie włókniste w formie tkaniny oraz osnowę polimerową z dodatkami zapewniającymi trudnopalność i antystatyczność.

WYNIKI BADAŃ I OBLICZEŃ

Do scharakteryzowania użyteczności taśmy przenośnikowej przyjęto trzy rodzaje kryteriów:

- kryteria dotyczące właściwości mechanicznych,
- kryteria ekologiczne,
- kryteria ekonomiczne.

Do elementów składowych przyjętych kryteriów zaliczono:

- wytrzymałość w kierunku wzdłużnym (wzdłuż osnowy),
- wytrzymałość w kierunku poprzecznym (wzdłuż wątku),
- wydłużenie względne przy obciążeniu równym 10% wytrzymałości nominalnej,
- moduł sprężystości,
- wydłużenie względne po 12 miesiącach eksploatacji przy obciążeniu równym 10% wytrzymałości nominalnej,
- ekowskaźnik w przeliczeniu na jednostkę powierzchni taśmy,
- cenę w przeliczeniu na jednostkę powierzchni taśmy.

Dla każdego z tych elementów określono szczególną funkcję wyboru. Przykładowo, dla wytrzymałości podłużnej taśmy (wzdłuż osnowy) szczególną funkcję wyboru określono, przyjmując następujące założenia:

- wytrzymałość taśmy równą wytrzymałości nominalnej oceniano jako $d = 0,80$ (dolna granica oceny bardzo dobrej, tab. 1),
- wytrzymałość taśmy równa 95% wytrzymałości nominalnej oceniano jako $d = 0,10$ (ocena bardzo zła, tab. 1).

Zgodnie z przyjętymi założeniami, dla taśmy o zakładanej wytrzymałości nominalnej 1000 kN/m uzyskuje się:

$$y_1 = 1000 \quad i \quad d_1 = 0,80$$

$$y_2 = 950 \quad i \quad d_2 = 0,10$$

Podstawiając wartości d_1 i d_2 do równania (3), otrzymuje się:

$$z_1 = 1,500$$

$$z_2 = -0,8340$$

a następnie po wykorzystaniu równań (4) i (5) otrzymuje się wartości współczynników b_0 i b_1 :

$$b_0 = -45,18$$

$$b_1 = 0,04668$$

Tak więc szczególna funkcja wyboru dla taśmy o zakładanej wytrzymałości nominalnej równej 1000 kN/m ma postać

$$d = \exp[-\exp(45,18 - 0,04668 \cdot y)]$$

gdzie y jest rzeczywistą wytrzymałością taśmy wzdłuż osnowy. Postępując analogicznie w odniesieniu do pozostałych taśm i pozostałych składowych kryterialnych, uzyskuje się kolejne szczególne funkcje wyboru.

Sformułowanie szczególnej funkcji wyboru dla ekowskaźnika taśmy zostało poprzedzone analizą cyklu życia poszczególnych taśm. Analizę przeprowadzono dla taśm wykonanych na tkaninie poliamidowej, poliesterowej i tkaninie o składzie 70% poliamidu i 30% poliestru. Analiza obejmowała fazę wytwarzania i zostały w niej uwzględnione tylko materiały składowe taśm. Analiza wykazała, że materiały składowe wykorzystywane do produkcji 1 kg mieszanki na okładki powodują łączne obciążenie środowiska wynoszące 0,27 Ew (punktów ekowskaźnika). Obciążenie w kategorii „zdrowie człowieka” wynosi 0,0913 Ew, w kategorii „jakość systemu” - 0,006 Ew, a w kategorii „zasoby” - 0,173 Ew.

Dla mieszanki rdzeniowej całkowite obciążenie środowiska odpowiadające 1 kg mieszanki wynosi 0,227 Ew, natomiast w kategorii „zdrowie człowieka” - 0,0634 Ew, „ekosystemu” - 0,0045 Ew oraz „zasoby - 0,209 Ew.

TABELA 2. Wielkości oddziaływań w poszczególnych kategoriach wpływów środowiskowych dla taśm wyprodukowanych na tkaninie poliamidowej

TABLE 2. Impact values for the individual environmental loading categories for belts produced on polyamid fabric

Kategoria obciążenia środowiska		Taśma 1000/2	Taśma 1250/3	Taśma 1600/4
Zdrowie człowieka	Rakotwórczość	0,0969	0,1060	0,1200
	Problemy oddechowe - org.	0,0116	0,0128	0,0136
	Problemy oddechowe - nieorg.	1,3400	1,4700	1,6500
	Zmiany klimatyczne	0,2190	0,2390	0,2900
	Radioaktywność	0,0002	0,0002	0,0002
Warstwa ozonowa		0,0005	0,0006	0,0007
Zdrowie człowieka		1,6682	1,8286	2,0745
Jakość ekosystemu	Ekotoksyczność	0,0227	0,0244	0,0257
	Zakwaszenie	0,0687	0,0763	0,0910

	Wykorzystanie gruntu	0,0201	0,0220	0,0230
	Jakość ekosystemu	0,1115	0,1227	0,1397
Zasoby	Minerały	0,0474	0,0475	0,0477
	Paliwa kopalne	4,3300	4,8600	5,7500
	Zasoby	4,3774	4,9075	5,7977
	Razem	6,1571	6,8588	8,0119

Wyniki obliczeń wskaźników określających wielkość oddziaływań w poszczególnych kategoriach wpływów środowiskowych dla taśm wyprodukowanych np. na tkaninie poliamidowej zebrano w tabeli 2.

Analogiczne zestawienia sporządzono dla pozostałych rodzajów zbrojenia.

Na podstawie uzyskanych danych przyjęto założenia dla szczególnej funkcji wyboru oceniającej wartości ekowskaźnika dla trzech typów taśm przenośnikowych (tab. 3).

TABELA 3. Wartości ekowskaźnika dla poszczególnych taśm
TABLE 3. Eco-indicator values for individual belts

Wytrzymałość nominalna taśmy	Ekowskaźnik 1 m ² taśmy odpowiadający wartości $d = 0,20$ (dolna granica oceny złej)	Ekowskaźnik 1 m ² taśmy odpowiadający wartości $d = 0,80$ (dolna granica oceny bardzo dobrej)
1000 kN/m	15	5,0
1250 kN/m	16	5,5
1600 kN/m	20	6,0

Postępując zgodnie ze wskazówkami opisanymi powyżej, określono dla trzech rodzajów taśm szczególne funkcje wyboru dla ekowskaźnika, które ujmuje tabela 4.

TABELA 4. Wyniki obliczeń szczególnych funkcji wyboru dotyczących ekowskaźnika przeliczonego na 1 m² taśmy przenośnikowej

TABLE 4. Calculation results for individual selection functions, regarding eco-indicator per 1 m² of conveyor belts

Wytrzymałość nominalna taśmy, kN/m	Parametr b_0	Parametr b_1	Szczególna funkcja wyboru
1000	2,476	-0,1976	$d = \exp[-\exp(-2,476 + 0,1976 \cdot y)]$
1250	2,535	-0,1882	$d = \exp[-\exp(-2,535 + 0,1882 \cdot y)]$
1600	2,347	-0,1444	$d = \exp[-\exp(-2,347 + 0,1444 \cdot y)]$

Po wykonaniu wszystkich obliczeń szczegółowych, których wyniki przykładowo dla taśmy o wytrzymałości nominalnej 1000 kN/m zebrano w tabeli 5, możliwe było porównanie ze sobą wartości zarówno ogólnej funkcji wyboru D dla poszczególnych badanych taśm, jak również jej składowych d_i , reprezentujących wartości szczególnych funkcji wyboru (tab. 6).

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń uzyskuje się materiał umożliwiający porównawczą ocenę taśm. Można np. stwierdzić, że taśma wykonana z przekładek poliesterowych posiada generalnie najlepsze wartości parametrów użytkowych, jednak koszt takiej taśmy jest stosunkowo wysoki i powoduje, że wartość ogólnej funkcji wyboru jest najmniejsza.

TABELA 5. Parametry taśmy dwuprzekładowej o wytrzymałości nominalnej 1000 kN/m wykonanej z przekładek poliamidowych z okładkami gumowymi

TABLE 5. Parameters of two-ply belt of the nominal strength 1000 kN/m and made of polyamid flittings with rubber covers

Lp.	Parametr charakteryzujący taśmę	Wartość parametru	Wartość szczególnej funkcji wyboru d
1	wytrzymałość w kierunku wzdłużnym (wzdłuż osnowy)	1081	0,99
2	wytrzymałość w kierunku poprzecznym (wzdłuż wątku)	351	0,39
3	wydłużenie względne przy obciążeniu równym 10% wytrzymałości nominalnej	2,80	0,65
4	moduł sprężystości	3570	0,71
5	wydłużenie względne po 12 miesiącach eksploatacji przy obciążeniu równym 10% wytrzymałości nominalnej	6,72	0,65
6	ekowskaźnik w przeliczeniu na jednostkę powierzchni taśmy (na 1 m ²)	6,16	0,76
7	cena w przeliczeniu na jednostkę powierzchni taśmy (na 1 m ²)	261	0,60
Wartość ogólnej funkcji wyboru D			0,66

TABELA 6. Zestawienie wyników obliczeń ogólnej funkcji wyboru dla taśm przenośnikowych o wytrzymałości nominalnej 1000 kN/m

TABLE 6. Calculation results of the general selection function for conveyor belts of the nominal strength 1000 kN/m

Rodzaj taśmy	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	d_6	d_7	D
poliamidowa	0,99	0,39	0,65	0,71	0,65	0,76	0,60	0,66
poliamidowo-poliesterowa	1,00	0,18	0,88	1,00	0,81	0,79	0,42	0,64
poliesterowa	1,00	0,22	0,91	1,00	0,84	0,84	0,15	0,58

UWAGI KOŃCOWE

Przedstawiony sposób obliczeń można wykorzystać do wyznaczania optymalnej konstrukcji taśmy przenośnikowej (materiału przekładek i okładek, liczby przekładek), jak również do wyboru taśmy dla konkretnego zadania transportowego. Dysponując danymi technicz-

nymi i cenowymi oferowanych taśm (np. w formie przetargu), można obiektywnie wybrać najkorzystniejszy wariant zakupu.

Zastosowana analiza cyklu życia z wykorzystaniem tzw. ekowskaźnika 99 pozwala ocenić wpływ analizowanych materiałów kompozytowych na trzy podstawowe problemy środowiskowe: zdrowie człowieka, jakość ekosystemu i zasoby surowców. Potwierdzają to prze-

prowadzone obliczenia, na podstawie których można było ocenić, że taśmy przenośnikowe na tkaninie poliamidowej wykazują znacznie większe obciążenie środowiska niż taśmy wykonane z użyciem tkaniny poliestrowej oraz że największe obciążenie środowiska, związane z materiałami wchodzącymi w skład analizowanych taśm przenośnikowych, występuje w kategorii „zasoby”.

Przedstawiony sposób określania funkcji celu w procesie ekoprojektowania, jak widać, stwarza możliwość właściwej oceny wpływu poszczególnych czyn-

ników na jakość wyrobu i tym samym daje szansę dokonania właściwego wyboru.

LITERATURA

- [1] Hyla I., Ekoprojektowanie kompozytów polimerowych w aspekcie ich prognozowanej trwałości projekt badawczy (praca niepublikowana), 2003.
- [2] PN-EN ISO 14040 Zarządzanie środowiskowe. Ocena cyklu życia. Zasady i struktura.
- [3] PN-EN ISO 14041 Zarządzanie środowiskowe. Ocena cyklu życia. Określenie celu i zakresu oraz analiza zbioru.
- [4] PN-EN ISO 14042 Zarządzanie środowiskowe. Ocena cyklu życia. Interpretacja cyklu życia.
- [5] Achnazarowa S.T., Kafarow W.W., Optymalizacja eksperymentu w chemii i technologii chemicznej, WNT, Warszawa 1982.

Recenzent
Zbigniew Roslaniec