

Aneta GLUSZEK, Janusz MAGIERA, Krzysztof NEUPAUER

e-mail: agluszek@pk.edu.pl

Instytut Inżynierii Chemicznej i Procesowej, Wydział Inżynierii i Technologii Chemicznej, Politechnika Krakowska, Kraków

## Analiza cyklu życia (LCA) cieczonego kolektora słonecznego

### Wstęp

W czasach wielkiego popytu na energię coraz więcej uwagi poświęca się wykorzystywaniu jej alternatywnych źródeł: słońca, wody i wiatru. Odnawialne źródła energii postrzegane są jako czyste źródła, czyli nie emitujące żadnych zanieczyszczeń. Obecnie szczególnie dynamicznie rozwija się konwersja energii promieniowania słonecznego do energii cieplnej. W praktyce, aby wykorzystać ten rodzaj czystej, bezpłatnej energii, potrzebne są odpowiednie urządzenia, przede wszystkim kolektory słoneczne. Chociaż technologia wykorzystująca energię ciepłą Słońca jest ekologiczna, to nie pozostaje ona bez żadnego wpływu na środowisko naturalne. Procesy produkcyjne kolektorów słonecznych i innych koniecznych elementów instalacji solarnych, oraz ich montaż, konserwacja, demontaż, negatywnie wpływają na środowisko, a także powodują zubożenie zasobów naturalnych [1, 2].

### Analiza energetyczno-ekologiczna kolektora słonecznego

Charakterystyka energetyczno-ekologiczną kolektora słonecznego [3] opisuje zbiór wskaźników kategorii oddziaływania na środowisko odniesionych do jednostki funkcjonalnej. Jako jednostkę funkcjonalną wyrobu – FU (*Functional Unit*) przyjęto: jeden płaski, cieczeniowy kolektor słoneczny o wymiarach 2037×1134×80 mm i znamionowej mocy cieplnej 1,74 kW<sub>p</sub>, powierzchni całkowitej 2,32 m<sup>2</sup>, w tym powierzchni absorbera 2,13 m<sup>2</sup>. Przeprowadzona analiza LCA skupia się na procesie produkcji kolektorów słonecznych wraz z wydobyciem surowców mineralnych, tzn. obejmuje granicę systemu „od kołyski do bramy”, gdzie bramę wyjściową stanowi punkt uzyskania gotowego wyrobu handlowego (bez opakowania). W granicach analizowanego systemu uwzględniono obciążenie środowiska związane z transportem.

### Ogólne informacje o wyrobie, cel i zakres analizy

Podstawę analizy LCA cieczeniowego, płaskiego kolektora słonecznego, biorąc pod uwagę fazę wytwarzania i użytkowania wyrobu, stanowią znane charakterystyki energetyczno-ekologiczne materiałów i wyrobów zastosowanych w elementach tego kolektora. Przedmiotowy kolektor jest wyrobem złożonym z półproduktów, które są wykonane z różnych materiałów (Rys. 1).



Rys. 1. Bilans masowy płaskiego, cieczeniowego kolektora słonecznego o mocy cieplnej znamionowej 1,74 kW i wymiarach 2037×1134×80 mm

Końcowym etapem produkcji kolektora słonecznego jest montaż gotowych podzespołów dostarczanych od różnych wytwórców. Trans-

port elementów do zakładu produkcyjnego odbywa się pojazdami drogowymi z silnikiem *Diesla*. Do nielicznych operacji procesu należą proste czynności technologiczne, jak cięcie elementów na odpowiednie wymiary i wiercenie otworów, wymagające zużycia niewielkich ilości energii elektrycznej. Transport wewnętrzny i montaż kolektora słonecznego odbywa się zasadniczo ręcznie, co nie powoduje zwiększenia obciążenia środowiska. Wartości wskaźników kategorii oddziaływania na środowisko stanowiących charakterystykę energetyczno-ekologiczną kolektora słonecznego zostały obliczone na podstawie niepublikowanych bilansów materiałowych udostępnionych przez producenta kolektorów słonecznych. Wskaźniki obciążenia środowiska naturalnego dotyczące wydobycia surowców i wytworzenia półproduktów zostały pobrane z bazy danych CPM LCA [4].

### Założenia do obliczeń

Cykl życia wyrobu analizowano w przedziale od pozyskania surowców mineralnych do opuszczenia zakładu wytwórcy, przy następujących założeniach:

- produkcja kolektorów słonecznych przez wytwórcę: 5 tys. sztuk na rok;
  - energia elektr. zużywana w fazie wytwarzania kolektorów słonecznych jest w całości produkowana w kraju producenta tego wyrobu;
  - absorber i przewody czynnika grzewczego produkowane są z miedzi hutniczej pierwotnej;
  - miedź hutnicza produkowana jest z rud; ubogie siarczki miedziane wzbogacane przez flotację dają tzw. koncentraty, które są poddawane prażeniu i wytopianiu; uzyskany półprodukt kierowany jest do procesów konwertorowych, rafinacji i rafinacji elektrolitycznej; ostatnim etapem produkcji miedzi jest wytopianie, odlewanie i kształtowanie walcówki z katod miedzianych;
  - uszczelnienie obudowy wykonane jest z gumy na bazie kauczuków EPDM;
  - wełna mineralna produkowana jest z surowców pochodzenia mineralnego (bazalt, gabra, dolomit, boksyt) w procesach topienia w piecu szybowym, rozwałkowania i polimeryzacji;
  - obudowa kolektora wykonana jest z aluminium pierwotnego;
  - produkcja aluminium polega na przetwarzaniu boksytu w urządzeniach ekstrakcyjnych i kalcynatorach w tlenek glinu, który kierowany jest do procesu elektrolizy, a następnie do rafinacji celem usunięcia zanieczyszczeń; ostatnim etapem produkcji aluminium jest formowanie materiału do postaci użytkowej;
  - przykrycie kolektora wykonane jest ze szkła płaskiego typu float produkowanego na bazie minerałów: piasek szklarski, soda, dolomit i wapień [5];
  - średnia droga transportu kolejowego miedzi hutniczej i aluminium do zakładu, gdzie odbywa się formowanie elementów kolektora wynosi 300 km; transport kolejowy zużywa ok.  $1,58 \cdot 10^{-3}$  MJ/kg/km energii elektrycznej;
  - gotowe półprodukty przewożone są transportem drogowym do wytwórcy kolektorów z odległości od 30 do 1500 km; zużycie energii w paliwie przez samochód wynosi ok.  $3,14 \cdot 10^{-4}$  MJ/kg/km.
- W obliczeniach obciążenia środowiska nie uwzględniono:
- produkcji gazu solarne;
  - potrzeb ogólnozakładowych, jak: zużycie ciepła do ogrzewania pomieszczeń, zużycie wody, zużycie energii elektrycznej do oświetlenia i wykonywania czynności biurowych;
  - galwanicznego nałożenia warstwy absorpcyjnej;
  - procesów lutowania np. blachy absorpcyjnej z rurkami.

### Energia i inne wejścia

Dla wyprodukowania 1 tony tlenku glinu potrzeba ok. 2 ton boksytu [6]. Z 1 tony tlenku glinu wytwarza się ok. 0,53 tony aluminium. Na tonę wytwarzanego aluminium zużywa się ok. 0,4 do 0,45 tony węgla, w postaci elektrod węglowych. Na zużycie energii przy produkcji tlenku glinu wpływa głównie pochodzenie i skład chemiczny boksytu, typ zastosowanych urządzeń ekstrakcyjnych oraz typ zastosowanych kalcyntatorów. W zakładach europejskich zużywa się ok. 8,0 do 13,5 GJ. Na etapie elektrolizy występuje zużycie energii ok. 53–61 GJ na tonę wytworzonego produktu.

Topienie szkła jest procesem energochłonnym. Zapotrzebowanie energetyczne na topienie przekracza 75% zapotrzebowania dla całego procesu produkcyjnego. Zużycie energii dla produkcji szkła płaskiego wynosi ok. 5,5–8,0 GJ na tonę topionego szkła [7]. W warunkach polskich podstawowym paliwem przy produkcji szkła jest gaz ziemny. Do utrzymania odpowiedniej temperatury pieca szklarskiego stosuje się dogrzewanie elektryczne.

Przy produkcji miedzi sumaryczne zapotrzebowanie na energię wynosi ok. 14–20 GJ na tonę miedzi elektrolitycznej wytworzonej w postaci katod miedzianych o zawartości 99,99 % Cu. Najbardziej istotne jest zużycie energii na etapie rafinacji elektrolitycznej [6].

Do obliczeń współczynników obciążenia środowiska naturalnego związanych z wytworzeniem 1 TJ energii elektrycznej w warunkach polskich wykorzystano wskaźniki z bazy danych GEMIS 4.5 [5], które obejmują wersję rozszerzoną oddziaływania na środowisko, tj. z wydobyciem surowców i transportem.

### Charakterystyka energetyczno-ekologiczna

Ekologiczna ocena wielkości obciążenia środowiska naturalnego w wyniku produkcji kolektora słonecznego została sporządzona w odniesieniu do 7 wpływów środowiskowych liczonych na zdefiniowaną jednostkę funkcjonalną (Tab. 1). Wielkości charakteryzujące zużycie zasobów (paliw, wody) oraz wytworzonych odpadów wynikają bezpośrednio z zestawienia danych inwentaryzacyjnych. W tab. 1 podano również referencyjne wskaźniki normalizacji, które obrazują średnie obciążenie środowiska przypadające na jednego mieszkańca Polski w roku odniesienia 2001 [3].

Tab. 1. Charakterystyka energetyczno-ekologiczna cieczowego kolektora słonecznego

Lp.	Kategoria wpływu	Wskaźniki kategorii wpływu liczone na 1 FU	Obciążenie środowiska na 1 mieszkańca Polski w 2001
1	Zużycie energii pierwotnej, GJ	1,646	78,28
2	Zużycie wody, m <sup>3</sup>	0,789	292,00
3	Ilość odpadów, Mg	0,037	3,22
4	Globalne ocieplenie, eq. Mg CO <sub>2</sub>	0,199	9,80
5	Zakwaszenie, eq. kg SO <sub>2</sub>	1,590	86,00
6	Eutrofizacja, eq. kg PO <sub>4</sub>	0,118	65,62
7	Fotochemiczne utlenienie, eq. kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	0,061	11,60

1 FU = 1 płaski, cieczowy kolektor słoneczny o wymiarach 2037×1134×80 mm i powierzchni absorbera 2,13 m<sup>2</sup>

Na rys. 1 przedstawiono znormalizowane wartości wskaźników kategorii wpływu, tworzących charakterystykę energetyczno-ekologiczną kolektora słonecznego. Proces normalizacji umożliwia łatwe porównanie, gdyż różne oddziaływania środowiskowe sprowadzane są do wspólnej jednostki. Wyniki wskaźników znormalizowanych wyrażone w ogólnej jednostce [osoba · rok / 1 FU], określają wielkość oddziaływania środowiskowego. Im wyższa wartość tego wskaźnika, tym wyższy potencjalny wpływ na środowisko [8].

### Okres zwrotu nakładów energii

Analizowany kolektor słoneczny, ustawiony optymalnie dla najefektywniejszego pozyskiwania energii słonecznej w okresie całorocznym,

pracujący w instalacji solarnej zlokalizowanej w rejonie Polski, w którym roczna suma nasłonecznienia kształtuje się na poziomie ok. 1400 h, pozwoli zaoszczędzić w ciągu roku ok. 4,3 GJ energii cieplnej do podgrzania wody użytkowej [9]. Okres zwrotu energii [1, 2] definiowany jako czas potrzebny do odzyskania nakładów energetycznych poniesionych na wyprodukowanie kolektora słonecznego obliczony z zależności (1) wynosi ok. 5 miesięcy.

$$E_{PT} = \frac{LCA_{energy}}{E_{useful}}, \quad (1)$$

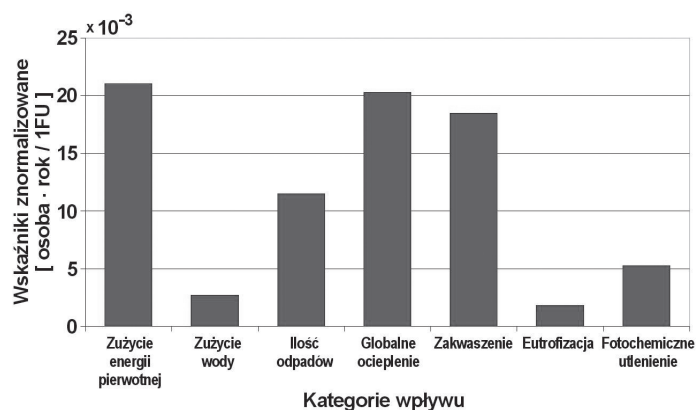
gdzie:

$E_{PT}$  – okres zwrotu nakładów energii (*energy payback time*), w latach,

$LCA_{energy}$  – energia zużyta podczas wszystkich faz cyklu życia kolektora słonecznego, w GJ,

$E_{useful}$  – roczna zaoszczędzona energia pierwotna w wyniku pracy instalacji solarnej, w GJ/rok.

Kolektor słoneczny jest jednym z elementów zestawu solarnego, wobec tego zysk energii otrzymany w wyniku zaoszczędzenia różnych nośników energii konwencjonalnej dotyczy całej instalacji solarnej. Okres zwrotu energii wydłuży się jeżeli w obliczeniach zostanie uwzględniona całkowita energia zużyta podczas cyklu życia całej instalacji solarnej.



Rys. 2. Znormalizowane wskaźniki kategorii oddziaływania na środowisko cieczowego kolektora słonecznego

### Wnioski

Przygotowana w taki sposób charakterystyka może być w przyszłości wykorzystana do porównania procesów produkcyjnych różnych typów kolektorów słonecznych. Może być również zastosowana do ustalania charakterystyki energetyczno-ekologicznej pełnego cyklu istnienia całej instalacji solarnej, w której zastosowano płaski cieczowy kolektor słoneczny. W chwili obecnej dla wyrobów krajowych nie są znane charakterystyki energetyczno-ekologiczne.

### LITERATURA

- [1] F. Ardente, G. Beccali, M. Cellura, V. Lo Brano: Renewable Energy, **30**, 2, 109 (2005).
- [2] F. Ardente, G. Beccali, M. Cellura, V. Lo Brano: Renewable Energy, **30**, 7, 1031 (2005).
- [3] J. Górzyński: Podstawy analizy środowiskowej wyrobów i obiektów, WNT, Warszawa 2007.
- [4] Baza danych CPM LCA (04.04.2010): <http://www.cpm.chalmers.se/CPMDatabase/Start.asp>
- [5] Baza danych GEMIS 4.5 (04.04.2010): <http://www.gemis.de/>
- [6] Ministerstwo Środowiska: Najlepsze Dostępne Techniki (BAT) wytyczne dla branży metali nieżelaznych – produkcja z surowców pierwotnych, Warszawa 2005, (24.04.2010): <http://www2.mos.gov.pl>
- [7] Ministerstwo Środowiska: Najlepsze dostępne techniki (BAT) – Wytyczne dla branży szklarskiej, Warszawa 2004.
- [8] J. Magiera, A. Gluszek: Czasopismo Techniczne PK, Z. M-2 (105), 87 (2008).
- [9] E. Hutnik, J. Dąbrowski: (24.04.2010): <http://www.archiwum.ekologia.pl/2008/>