

# PROJEKTOWANIE POD KĄTEM CZYSTSZEJ PRODUKCJI JAKO PODEJŚCIE PROJEKTOWE W GOSPODARCE O OBIEGU ZAMKNIĘTYM - UJĘCIE KONCEPCYJNE ORAZ STUDIUM PRZYPADKU

Jolanta BARAN

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono jedno z podejść w zakresie ekoprojektowania - projektowanie pod kątem czystszej produkcji - w świetle założeń gospodarki o obiegu zamkniętym. W opracowaniu zostały wyodrębnione obszary projektowe w ramach projektowania pod kątem czystszej produkcji w gospodarce o obiegu zamkniętym, następnie sformułowano kierunki i sposoby realizacji rozwiązań projektowych pod kątem czystszej produkcji oraz została dokonana próba przybliżenia wybranych praktycznych aspektów projektowania pod kątem czystszej produkcji poprzez przeprowadzenie studium przypadku.

**Słowa kluczowe:** ekoprojektowanie, czystsza produkcja, gospodarka o obiegu zamkniętym

## 1. Wprowadzenie

Gospodarka o obiegu zamkniętym (GOZ) to koncepcja wprowadzająca modelowe rozwiązania w zakresie postępowania z odpadami, polegające na wykorzystaniu odpadów powstałych w cyklu życia produktów i tym samym na ograniczeniu zużycia surowców, zmniejszeniu ilości składowanych odpadów oraz zwiększeniu strumienia odpadów wykorzystywanych w ramach odzysku i recyklingu [1]. Idea ta jest pochodną teorii, koncepcji i podejść, w których podejmuje się kwestię ograniczoności zasobów, potrzeby wprowadzania zrównoważonych modeli prowadzenia działalności [2-4]. GOZ wyróżnia się przy tym wśród innych koncepcji radykalnym przeformułowaniem założeń funkcjonowania przedsiębiorstw (m.in. poprzez postulat współpracy wzdłuż łańcucha dostaw stymulowanej przez ekoprojektowanie), a także odniesieniem do rozwiązań praktycznych.

Ekoprojektowanie jest jednym z filarów GOZ [1], umożliwia modelowanie całego cyklu życia produktu. Uwzględniając cele organizacji, aspekty ekonomiczne i społeczne oraz rodzaj wyrobu, organizacja może zdecydować o realizacji różnych podejść projektowych w celu spełnienia strategicznych celów środowiskowych [5, 6].

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie jednego z podejść w zakresie ekoprojektowania - projektowania pod kątem czystszej produkcji - w świetle założeń gospodarki o obiegu zamkniętym. Opracowanie powstało w wyniku realizacji następujących zadań badawczych:

- wyodrębnienie obszarów projektowych w ramach projektowania pod kątem czystszej produkcji w gospodarce o obiegu zamkniętym;
- określenie kierunków i sposobów realizacji rozwiązań projektowych pod kątem czystszej produkcji (cele środowiskowe i przykładowe rozwiązania w odniesieniu do wyodrębnionych obszarów projektowych);

- przeprowadzenie studium przypadku - wybrane zagadnienia związane z uwzględnianiem aspektów środowiskowych na etapie projektowania koncepcyjnego oraz szczegółowego.

Jedną z przesłanek podjęcia tego tematu jest to, że nawet w przypadku produktów lub materiałów zaprojektowanych w sposób inteligentny, nieefektywne wykorzystanie zasobów w procesach produkcyjnych może prowadzić do utraty możliwości biznesowych i wytwarzania znacznej ilości odpadów [1, 7]. Jak zostało to przedstawione w niniejszym artykule, dotyczy to zarówno odpadów poprodukcyjnych, ale także o potencjału ponownego użycia, odzysku i recyklingu odpadów poużytkowych.

## **2. Projektowanie pod kątem czystszej produkcji w gospodarce o obiegu zamkniętym - wyodrębnienie obszarów projektowych**

Istotnym obszarem modelu biznesu o obiegu zamkniętym staje się stworzenie przestrzeni ponownego wykorzystania, przetworzenia i recyklingu odpadów [8]. Efektywne projektowanie tej przestrzeni w odniesieniu do etapu wytwarzania wymaga kompleksowego spojrzenia na procesy wzdłuż całego cyklu życia produktu [9]. Holistyczne ujęcie tego problemu wpisuje się w zarządzanie produktem w kontekście integracji polityki środowiskowej w perspektywie horyzontalnej, to znaczy w odniesieniu do zintegrowanej kontroli oddziaływań na środowisko na danym etapie cyklu życia w celu unikania czy ograniczania przemieszczania się zanieczyszczeń pomiędzy poszczególnymi komponentami środowiska [10].

W ramach projektowania pod kątem czystszej produkcji w ogólności można wyodrębnić następujące obszary (rys. 1):

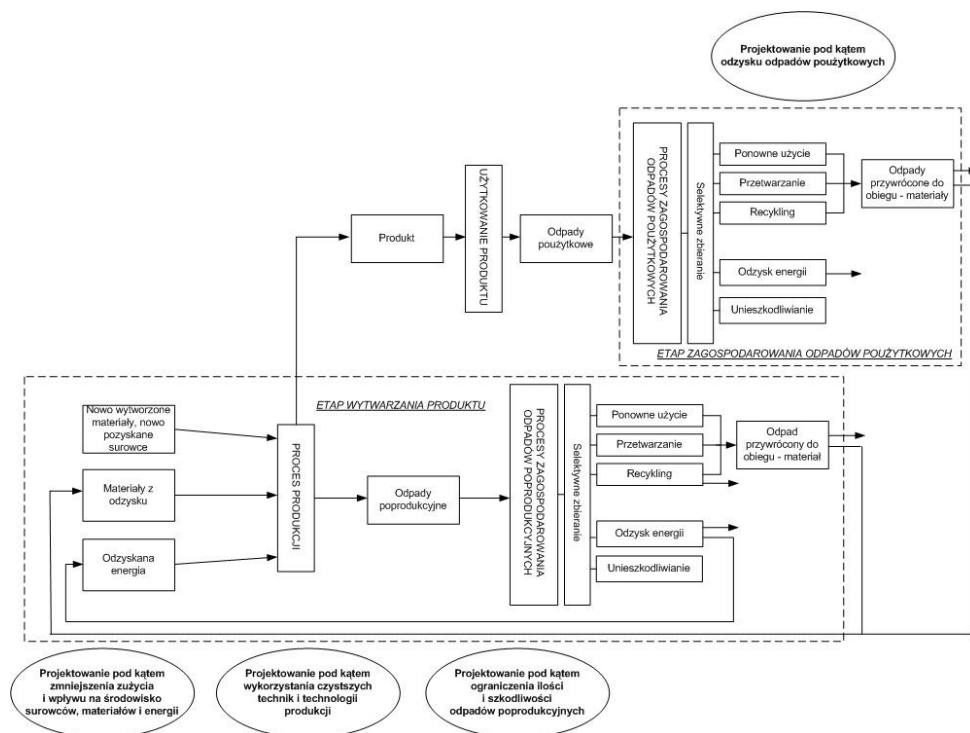
- projektowanie pod kątem zmniejszenia zużycia i wpływu na środowisko surowców, materiałów i energii,
- projektowanie pod kątem wykorzystania czystszych technik i technologii produkcji,
- projektowanie pod kątem ograniczenia ilości i szkodliwości odpadów poprodukcyjnych,
- projektowanie pod kątem odzysku i wykorzystania odpadów poużytkowych.

W ramach wyodrębnionych obszarów istnieje potencjał tworzenia rozwiązań, które wyznaczają kierunki identyfikacji wariantów ekoprojektowych. Wymagają one analizy pod kątem określenia wielkości wpływu na środowisko w celu dokonania porównania i wyboru wariantu najkorzystniejszego. Są to działania, które odróżniają ekoprojektowanie od projektowania w ogólności [11].

## **3. Kierunki i sposoby realizacji rozwiązań projektowych pod kątem czystszej produkcji**

Myślenie w kategoriach cyklu życia na etapie projektowania w gospodarce o obiegu zamkniętym znajduje wyraz w opracowywaniu rozwiązań w zakresie demontażu, efektywności energetycznej, trwałości, możliwości naprawy, możliwości ponownego użycia oraz podatności recyklingowej lub identyfikowalności określonych materiałów lub substancji [1].

Poniżej przedstawione zostały przykłady rozwiązań w ramach projektowania pod kątem czystszej produkcji w odniesieniu do obszarów wyłonionych na rysunku 1.



Rys. 1. Wizualizacja obszarów projektowania pod kątem czystszej produkcji w gospodarce o obiegu zamkniętym.

Źródło: opracowanie własne.

### 3.1. Projektowanie pod kątem zmniejszenia zużycia i wpływu na środowisko surowców, materiałów i energii

Wybór materiałów i surowców stosowanych w procesie wytwarzania wyrobów uwarunkowany jest koniecznością spełnienia kryteriów - technicznych, ekonomicznych, prawnych, związanych z dostępnością na rynku, czasem realizacji zamówienia materiału i innych. Wprowadzenie kryterium środowiskowego związanego ze zużyciem i wpływem na środowisko surowców oraz materiałów pociąga za sobą konieczność rozważenia rozwiązań związanych z doбором materiałów, by zrealizować takie cele środowiskowe, jak:

- redukcja ilości odpadów w procesach obróbczych,
- zwiększenie wykorzystania w procesie produkcyjnym materiałów i komponentów z odzysku, recyklingu lub w ramach ponownego użycia,
- zmniejszenie wpływu na środowisko materiałów, komponentów i części kupowanych oraz wykonywanych w kooperacji,
- ułatwienie ponownego użycia i innych procesów przywracania do obiegu,
- redukcja wpływu na środowisko transportu materiałów, części i komponentów,
- redukcja ilości oraz szkodliwości odpadów opakowaniowych związanych z kupowanymi częściami i komponentami wykonywanymi w kooperacji.

W tabeli 1 zostały przedstawione rozwiązania możliwe do uwzględnienia w ramach opracowywania wariantów ekoprojektowych w odniesieniu do zmniejszenia zużycia i wpływu na środowisko surowców oraz materiałów.

Tab. 1. Przykłady rozwiązań możliwych do uwzględnienia w ramach opracowywania wariantów ekoprojektowych pod kątem zmniejszenia zużycia i wpływu na środowisko surowców oraz materiałów

Cele środowiskowe	Przykłady rozwiązań
Redukcja ilości odpadów w procesach obróbczych związana ze stosowanymi materiałami	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Stosowanie postaci materiałów generujących mniejsze ilości odpadów (np. w odniesieniu do stali - pręt, odlew)</li> <li>- Stosowanie przekrojów materiałów generujących mniejsze ilości odpadów</li> <li>- Stosowanie rodzajów, gatunków materiałów generujących mniejsze ilości odpadów (w tym np. takich, których obróbka wiąże się z mniejszym zużyciem narzędzi)</li> </ul>
Zwiększenie wykorzystania w procesie produkcyjnym materiałów i komponentów z odzysku, recyklingu lub w ramach ponownego użycia	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Stosowanie materiałów pochodzących z odzysku lub recyklingu</li> <li>- Zwiększenie procentowego udziału w wyrobie materiałów z odzysku lub recyklingu</li> <li>- Zastosowanie ponownego użycia materiałów, komponentów oraz innych środków produkcji w procesie produkcyjnym</li> <li>- Zastosowanie metod przygotowania do ponownego użycia o jak najmniejszym wpływie na środowisko</li> <li>- Preferowanie metod pozyskiwania używanych materiałów, części i komponentów generujących mniejszy wpływ na środowisko</li> </ul>
Zmniejszenie wpływu na środowisko materiałów, komponentów i części kupowanych oraz wykonywanych w kooperacji	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zakup materiałów, komponentów i części o jak najmniejszym wpływie na środowisko</li> <li>- Wytwarzanie komponentów i części w kooperacji o jak najmniejszym wpływie na środowisko</li> <li>- Zmniejszenie udziału kupowanych i wykonywanych w kooperacji komponentów i części, które charakteryzują się większym wpływem na środowisko</li> </ul>
Ułatwienie ponownego użycia i innych procesów przywracania do obiegu	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Wykorzystanie w różnych wariantach danego wyrobu jednakowych (powtarzalnych) części - zmniejszenie zróżnicowania produkowanych elementów</li> <li>- Zastosowanie wariantów realizacji procesów montażowych, zaopatrzenia w części zamienne, ponownego wykorzystania części i komponentów itp. o jak najmniejszym wpływie na środowisko z uwzględnieniem ujednoczenia części i komponentów</li> <li>- Zastosowanie materiałów bezpiecznych dla środowiska i zdrowia człowieka</li> <li>- Eliminacja materiałów uznanych za niebezpieczne dla środowiska i zdrowia człowieka, utrudniających lub uniemożliwiających przywrócenie do obiegu</li> <li>- Zastosowanie rozwiązań ułatwiających demontaż produktu po okresie użytkowania</li> </ul>
Redukcja wpływu na środowisko transportu materiałów, części i komponentów	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Preferowanie jak najbliższych źródeł dostaw materiałów, półproduktów i komponentów potrzebnych do produkcji wyrobu</li> <li>- Redukcja potrzeb transportowych w odniesieniu do komponentów oraz części potrzebnych do produkcji</li> </ul>
Redukcja ilości oraz szkodliwości odpadów opakowaniowych związanych z kupowanymi częściami i komponentami wykonywanymi w kooperacji	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zmniejszenie ilości odpadów generowanych w wyniku opakowywania części i komponentów kupowanych lub wykonywanych w kooperacji</li> <li>- Redukcja zawartości substancji niebezpiecznych w opakowaniach kupowanych i wykonywanych w kooperacji części i komponentów</li> <li>- Zastosowanie rozwiązań o mniejszym wpływie na środowisko, np. opakowań zwrotnych</li> </ul>

### 3.2. Projektowanie pod kątem wykorzystania czystszych technik i technologii produkcji

W każdym z podsystemów systemu produkcyjnego występują charakterystyczne wpływy na środowisko, które należy ograniczać. W odniesieniu do podsystemu wytwarzania pożądane jest stosowanie energooszczędnych technik i technologii wytwarzania, generujących jak najmniejszą ilość odpadów. W podsystemie pomocy warsztatowych, a także przepływu strumieni materiałowo-energetycznych (transportu, magazynowania, manipulacji) również można stosować rozwiązania energo- i materiałoozczędne. Zmniejszenie wpływu na środowisko nie jest możliwe bez udziału podsystemu przepływu strumieni informacyjnych (sterowania, kontroli i diagnostyki) [10].

Cele środowiskowe sformułowane pod kątem wykorzystania czystszych technik i technologii produkcji są następujące:

- zmniejszenie zużycia energii na etapie wytwarzania,
- zwiększenie udziału odnawialnych źródeł energii w bilansie energetycznym dla procesu produkcji,
- zwiększenie udziału w procesie produkcji materiałów eksploatacyjnych i pomocniczych wytwarzanych z surowców odnawialnych,
- redukcja ilości stosowanych materiałów eksploatacyjnych i pomocniczych wykorzystywanych w procesie produkcji,
- unikanie stosowania materiałów eksploatacyjnych i pomocniczych stwarzających zagrożenie dla środowiska i zdrowia człowieka,
- zwiększenie żywotności maszyn, urządzeń, pomocy warsztatowych, materiałów eksploatacyjnych - zmniejszenie ilości odpadów,
- redukcja wpływu na środowisko procesów związanych z transportem wewnętrznym oraz magazynowaniem,
- zmniejszenie ilości odpadów i emisji na etapie wytwarzania,
- zmniejszenie wpływu na środowisko oraz zagrożeń w zakresie bezpieczeństwa środowiskowego związanego ze stosowanymi technologiami wytwarzania.

W tabeli 2 zostały przedstawione rozwiązania możliwe do uwzględnienia w ramach opracowywania wariantów ekoprojektowych w odniesieniu do wykorzystania czystszych technik i technologii produkcji.

Tab. 2. Przykłady rozwiązań możliwych do uwzględnienia w ramach opracowywania wariantów ekoprojektowych pod kątem wykorzystania czystszych technik i technologii produkcji.

Cele środowiskowe	Przykłady rozwiązań
Zmniejszenie zużycia energii na etapie wytwarzania	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Redukcja zużycia energii na poszczególnych etapach produkcji wyrobu</li> <li>– Zwiększenie stopnia wykorzystania dostępnych w regionie źródeł energii (zmniejszenie wpływu związane z przesyłem energii)</li> <li>– Zastosowanie wydajniejszych technologii umożliwiających oszczędność energii</li> <li>– Optymalizacja parametrów procesów pod kątem zużycia energii</li> </ul>
Zwiększenie udziału odnawialnych źródeł energii w bilansie energetycznym dla procesu produkcji	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Zastosowanie odnawialnych źródeł energii dostępnych w okolicy w ilości, która zaspokaja jak największą część potrzeb energetycznych ze strony procesu produkcyjnego</li> <li>– Podjęcie działań umożliwiających wykorzystywanie odnawialnych źródeł energii bądź zwiększających stopień ich wykorzystania w procesie produkcyjnym</li> </ul>

Zwiększenie udziału w procesie produkcji materiałów eksploatacyjnych i pomocniczych wytwarzanych z surowców odnawialnych	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zastosowanie w procesie produkcji jak największej ilości materiałów eksploatacyjnych i pomocniczych wytworzonych z surowców odnawialnych</li> <li>- Zastąpienie materiałów eksploatacyjnych i pomocniczych materiałami alternatywnymi wytworzonymi z surowców odnawialnych</li> <li>- Dokonanie modyfikacji procesów w celu umożliwienia skorzystania z alternatywnych materiałów eksploatacyjnych i pomocniczych wytworzonych z surowców odnawialnych</li> </ul>
Redukcja ilości stosowanych materiałów eksploatacyjnych i pomocniczych wykorzystywanych w procesie produkcji	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zmniejszenie ilości materiałów eksploatacyjnych i pomocniczych wykorzystywanych w procesie produkcji</li> </ul>
Unikanie stosowania materiałów eksploatacyjnych i pomocniczych stwarzających zagrożenie dla środowiska i zdrowia człowieka	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Eliminacja materiałów uznawanych za niebezpieczne dla środowiska</li> <li>- Zastosowanie materiałów alternatywnych niestwarzających zagrożenia dla środowiska i zdrowia człowieka</li> </ul>
Zwiększenie żywotności maszyn, urządzeń, pomocy warsztatowych, materiałów eksploatacyjnych - zmniejszenie ilości odpadów	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Wybór maszyn, urządzeń, pomocy warsztatowych, materiałów eksploatacyjnych o dłuższym okresie użytkowania, co skutkuje zmniejszeniem ilości odpadów</li> </ul>
Redukcja wpływu na środowisko procesów związanych z transportem wewnętrznym oraz magazynowaniem	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zastosowanie rozwiązań w obszarze transportu i magazynowania o jak najmniejszym zapotrzebowaniu energetycznym</li> <li>- Zastosowanie odnawialnych źródeł energii do zasilania energetycznego w obszarze transportu i magazynowania</li> <li>- Redukcja potrzeb transportowych oraz magazynowych</li> </ul>
Zmniejszenie ilości odpadów i emisji na etapie wytwarzania	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Efektywne wykorzystanie surowców i materiałów</li> <li>- Dążenie do przestrzegania limitów emisji bez ciągłego oczyszczania odpadów</li> <li>- Wprowadzenie rozwiązań redukujących ilość odpadów</li> <li>- Wprowadzenie rozwiązań mających na celu zapobieganie powstawaniu odpadów i emisji (alternatywne technologie produkcji, zamknięte obiegi materiałów)</li> <li>- Identyfikacja etapów procesu produkcyjnego charakteryzujących się potencjałem zmniejszenia wpływu na środowisko i wdrożenie rozwiązań zmniejszających ten wpływ</li> <li>- Dobór technologii produkcji pod kątem efektywnego wykorzystywania materiałów i minimalizacji emisji</li> </ul>
Zmniejszenie wpływu na środowisko oraz zagrożeń w zakresie bezpieczeństwa środowiskowego związanego ze stosowanymi technologiami wytwarzania	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zastosowanie technologii o mniejszym wpływie na środowisko i mniejszym ryzyku zagrożeń dla środowiska w przypadku wystąpienia awarii lub innych nieprzewidzianych okoliczności</li> </ul>

### 3.3. Projektowanie pod kątem ograniczenia ilości i szkodliwości odpadów poprodukcyjnych

Cele środowiskowe sformułowane pod kątem ograniczenia ilości i szkodliwości odpadów poprodukcyjnych są następujące:

- zmniejszenie ilości generowanych odpadów,
- zmniejszenie wpływu na środowisko procesów unieszkodliwiania odpadów powstających w procesie wytwarzania wyrobu i jego komponentów,
- zwiększenie ilości odpadów sortowanych i rozdzielanych wśród odpadów powstających w procesie wytwarzania wyrobu i jego komponentów,
- zmniejszenie liczby braków w procesie wytwarzania produktu i jego komponentów,

- zwiększenie ilości zużytych materiałów eksploatacyjnych i pomocniczych poddawanych recyklingowi.

W tabeli 3 zostały przedstawione rozwiązania możliwe do uwzględnienia w ramach opracowywania wariantów ekoprojektowych pod kątem ograniczenia ilości i szkodliwości odpadów poprodukcyjnych.

Tab. 3. Przykłady rozwiązań możliwych do uwzględnienia w ramach opracowywania wariantów ekoprojektowych pod kątem ograniczenia ilości i szkodliwości odpadów poprodukcyjnych.

Cele środowiskowe	Przykłady rozwiązań
Zmniejszenie ilości generowanych odpadów	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Zastosowanie rozwiązań umożliwiających lub ułatwiających zamykanie obiegów materiałowych (sortowanie odpadów, stosowanie materiałów alternatywnych)</li> <li>– Ponowne wykorzystanie lub recykling w miejscu powstania odpadów pochodzących z procesu wytwarzania lub zwiększenie ilości odpadów poddanych ponownemu użyciu lub recyklingowi</li> <li>– Ponowne użycie w nowych produktach odpadów materiałowych powstających w procesie wytwarzania wyrobu i jego komponentów</li> </ul>
Zmniejszenie wpływu na środowisko procesów unieszkodliwiania odpadów powstających w procesie wytwarzania wyrobu i jego komponentów	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Redukcja ilości odpadów nieodzyskiwanych (w szczególności niebezpiecznych)</li> <li>– Zastosowanie metod unieszkodliwiania odpadów o jak najmniejszym wpływie na środowisko</li> </ul>
Zwiększenie ilości odpadów sortowanych i rozdzielanych wśród odpadów powstających w procesie wytwarzania wyrobu i jego komponentów	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Wprowadzenie rozwiązań w zakresie zapewnienia wydajnego sortowania i rozdzielania odpadów do jak największej ilości odpadów poprodukcyjnych</li> <li>– Monitorowanie popytu na odpady sortowane i dostosowywanie się do wymagań rynku zbytu tych odpadów</li> </ul>
Zmniejszenie liczby braków w procesie wytwarzania produktu i jego komponentów	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Identyfikacja przyczyn powstawania braków w procesie wytwarzania produktu i jego komponentów</li> <li>– Zastosowanie rozwiązań umożliwiających zmniejszenie liczby braków</li> </ul>
Zwiększenie ilości zużytych materiałów eksploatacyjnych i pomocniczych poddawanych recyklingowi	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Zastosowanie recyklingu do jak największej ilości zużytych materiałów eksploatacyjnych i pomocniczych</li> <li>– Wprowadzenie modyfikacji w procesie produkcyjnym w celu umożliwienia recyklingu zużytych materiałów eksploatacyjnych i pomocniczych</li> </ul>

### 3.4. Projektowanie pod kątem odzysku odpadów poużytkowych

Cele środowiskowe sformułowane pod kątem odzysku odpadów poużytkowych to:

- zmniejszenie ilości generowanych odpadów poużytkowych,
- zmniejszenie wpływu na środowisko procesów zagospodarowania odpadów poużytkowych.

W tabeli 4 zostały przedstawione rozwiązania możliwe do uwzględnienia w ramach opracowywania wariantów ekoprojektowych pod kątem odzysku odpadów poużytkowych.

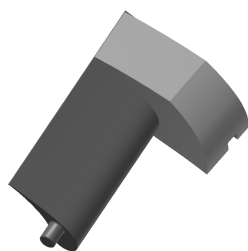
Tab. 4. Przykłady rozwiązań możliwych do uwzględnienia w ramach opracowywania wariantów ekoprojektowych pod kątem odzysku odpadów poużytkowych.

Cele środowiskowe	Przykłady rozwiązań
Zmniejszenie ilości generowanych odpadów poużytkowych	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zastosowanie rozwiązań projektowych w odniesieniu do wyrobu, w wyniku których ilość odpadów poużytkowych jest redukowana</li> <li>- Zmniejszenie ilości oraz wpływu na środowisko opakowań</li> <li>- Zwiększenie trwałości, jakości, okresu użytkowania produktów i ich komponentów</li> <li>- Zapewnienie naprawialności i innych usług wydłużających żywotność produktów</li> </ul>
Zmniejszenie wpływu na środowisko procesów zagospodarowania odpadów poużytkowych	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Projektowanie produktu i jego opakowania pod kątem wykorzystania odpadu poużytkowego (ponowne użycie, odzysk, recykling)</li> <li>- Wprowadzenie rozwiązań umożliwiających i ułatwiających demontaż po okresie użytkowania produktu</li> <li>- Redukcja ilości odpadów poużytkowych nienadających się do odzyskania</li> <li>- Eliminacja substancji niebezpiecznych w wyrobie uniemożliwiających odzyskanie odpadu poużytkowego</li> </ul>

#### 4. Studium przypadku

##### 4.1. Ekoprojektowanie łopatek korpusowych - identyfikacja rozwiązań projektowych na etapie projektowania koncepcyjnego

Łopatki korpusowe (rys. 2) to elementy turbin parowych, których podstawowym zadaniem jest ukierunkowanie pary na łopatki wirnikowe w układzie przepływowym.



Rys. 2. Łopaska korpusowa

Ekoprojektowanie łopatek korpusowych może przynieść korzyści środowiskowe poprzez wdrożenie zasad czystszej produkcji, a także poprzez identyfikację i analizę parametrów środowiskowych na innych etapach cyklu życia. Zastosowanie założeń gospodarki o obiegu zamkniętym może przyczynić się do określenia wariantów projektowych, które pozwolą uzyskać optymalne parametry związane z materiałochłonnością, montażem i demontażem oraz zagospodarowaniem odpadów.

Zidentyfikowano parametry ekoprojektowania w odniesieniu do aspektów GOZ:

- optymalizacja postaci materiałów,
- optymalizacja przekrojów materiałów,
- maksymalna żywotność łopatek,
- jednorodność wykorzystywanych materiałów.

W tabeli 5 zaprezentowano parametry ekoprojektowania i wstępnie określono uwarunkowania osiągnięcia celów środowiskowych.



Tab. 5. Wstępne założenia do opracowania rozwiązań ekoprojektowych dotyczących łopatek korpusowych

Cele środowiskowe	Parametry ekoprojektowania	Analiza wykonalności
Redukcja ilości odpadów w procesach obróbczych związana ze stosowanymi materiałami	Optymalizacja postaci materiałów	Możliwa do uzyskania przy uwzględnieniu odpowiednich parametrów wejściowych związanych z gabarytami materiału.
	Optymalizacja przekrojów materiałów	
Zmniejszenie ilości generowanych odpadów poużytkowych	Żywotność łopatek	Zwiększenie żywotności łopatek zależne jest od indywidualnie rozpatrywanych warunków eksploatacji w turbinie. Możliwe do uzyskania przy uwzględnieniu parametrów wytrzymałościowych.
Ułatwienie ponownego użycia i innych procesów przywracania do obiegu	Jednorodność wykorzystywanych materiałów	Możliwe zastosowanie jednorodnych materiałów w przypadku wariantów polegających na osobnej realizacji łopatki i przekładki.

Redukcja ilości odpadów w procesach obróbczych związana ze stosowanymi materiałami w procesie wytwarzania łopatek korpusowych jest możliwa poprzez optymalizację postaci i przekrojów materiałów. Wynika to z tego, że materiał o gabarytach i kształcie zbliżonym do produktu końcowego w rezultacie pozwala na uzyskanie mniejszej ilości odpadów generowanych w procesie produkcyjnym. Wśród możliwych do zastosowania postaci materiałów można wymienić pręt, odkuwkę, wypałąkę z blachy oraz odlew. Projektant ma również do wyboru różne przekroje materiałów, które można optymalizować pod względem gabarytu detalu.

Maksymalizacja żywotności łopatek wiąże się z zastosowaniem materiału o odpowiedniej wytrzymałości w określonych warunkach eksploatacyjnych. Wybór materiału w przypadku łopatek nie jest szeroki, co jest uwarunkowane czynnikami bezwzględnie, lecz można dążyć do optymalizacji wyboru gatunku materiału w kierunku odpowiedniej wytrzymałości mechanicznej, wytrzymałości na pęczanie oraz odporności na korozję. Podejście to, obok zapewnienia większej efektywności energetycznej, leży również u podstaw maksymalizacji sprawności turbiny. Jest to parametr zależny m.in. od luzów związanych z dokładnością wykonania łopatek oraz od geometrii układu przepływowego. Im później zmieni się geometria układu przepływowego (np. w wyniku erozji) tym dłużej zachowana będzie fabryczna sprawność układu.

Z punktu widzenia recyklera istotnym parametrem GOZ jest poziom złożoności materiałowej łopatek. Im bardziej jednorodny materiałowo zestaw do zamontowania w turbinie, tym łatwiejsze w konsekwencji działania związane z recyklingiem.

W celu dokonania wyboru najlepszego wariantu projektowego należy przeprowadzić odpowiednie działania badawcze i analityczne, takie jak np.:

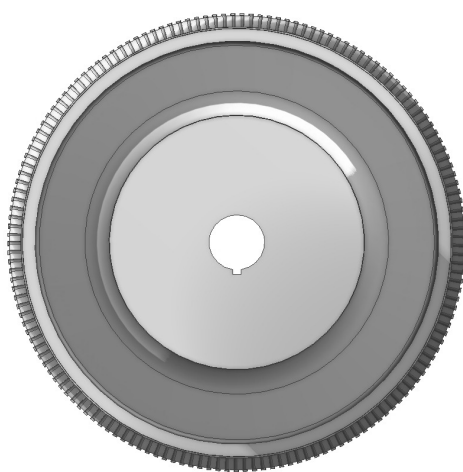
- analiza ilości odpadów powstających na etapie wytwarzania łopatek korpusowych w odniesieniu do różnych postaci i przekrojów materiałów po stronie wytwórcy łopatek,
- LCA poszczególnych materiałów,
- analiza uwarunkowań dotyczących wytrzymałości mechanicznej, wytrzymałości na pęczanie oraz odporności na korozję w odniesieniu do określonych warunków eksploatacyjnych oraz efektów środowiskowych,
- analiza środowiskowa dotycząca różnych wariantów w zakresie zróżnicowania materiałowego,
- analiza uwarunkowań środowiskowych po stronie recyklera.

#### 4.2. Ekoprojektowanie tarcz wirnikowych - analiza wpływu na środowisko na etapie projektowania szczegółowego

Tarcza wirnikowa (rys. 3) to element wirnika turbiny parowej montowany na wał. w zależności od konstrukcji wirnika może składać się z wielu tarcz wirnikowych nasadzanych na wał lub z wirnika z częścią tarcz wykonaną razem z wałem oraz częścią tarcz (zazwyczaj ostatnich stopni), osadzaną na wał.

Rozważamy dwa warianty ekoprojektowe:

- tarcza wirnikowa wykonana z jednolitego materiału wyjściowego,
- tarcza wirnikowa z łopatkami montowanymi.



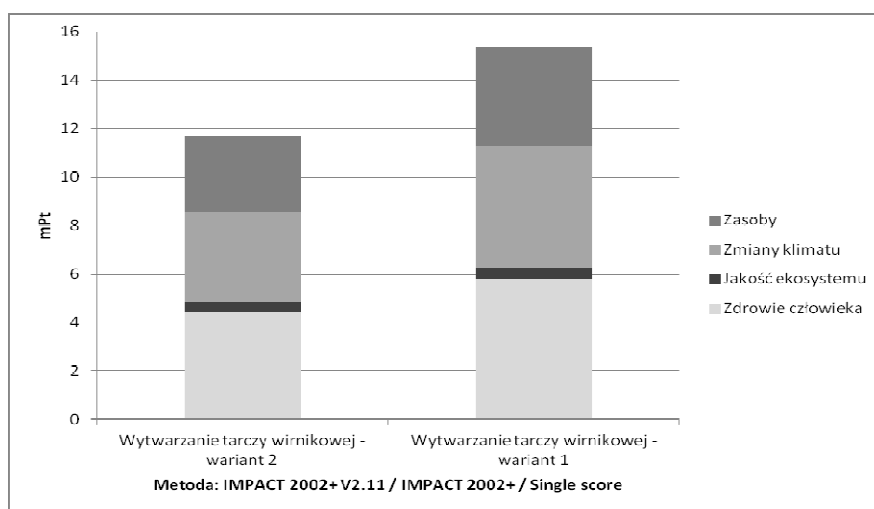
Rys. 3. Tarcza wirnikowa

W tabeli 6 dokonano ogólnego porównawczego opisu analizowanych wariantów.

Tab. 6. Ogólny porównawczy opis analizowanych wariantów projektowych.

L.p.	Porównywane parametry	Tarcza wirnikowa z łopatkami montowanymi - wariant 1	Tarcza wirnikowa jednolita - wariant 2
		<i>rozwiązanie standardowe</i>	<i>rozwiązanie innowacyjne</i>
1	Jednostka funkcjonalna	Elementy składające się na jedną tarczę wirnikową	Element turbiny parowej
2	Materiał	Stal chromowa	
3	Rodzaje operacji technologicznych	Toczenie wstępne, obróbka cieplna, toczenie na gotowo, frezowanie łopatek, polerowanie łopatek, montaż łopatek i przekładek, frezowanie przekładek	Toczenie wstępne, obróbka cieplna, toczenie na gotowo, frezowanie, polerowanie
4	Cechy	Trudniejsze łopatkowanie	Zakłada się, iż jest to konstrukcja pomijająca łopatkowanie
5	Wymagania odnośnie parku maszynowego	Specjalistyczne centrum obróbcze, inne maszyny	Specjalistyczne centrum obróbcze

Przeprowadzenie analizy środowiskowej wyodrębnionych wariantów ekoprojektowych z zastosowaniem LCA (rys. 4) pozwala na porównanie ich wpływu na środowisko. Parametr środowiskowy (wielkość wpływu na środowisko w kategoriach szkody - zdrowie człowieka, jakość ekosystemu, zmiany klimatu, zasoby) staje się tym samym kryterium wyboru wariantu projektowego.



Rys. 4. Porównanie wpływu na środowisko wariantów ekoprojektowych z zastosowaniem LCA (SimaPro)

Legenda: wariant 1 - tarcza wirnikowa z łopatkami montowanymi  
wariant 2 - tarcza wirnikowa jednolita

W wariantcie 1 tarcza wirnikowa jest wykonywana poprzez składanie poszczególnych oddzielnie wykonanych elementów, co wymaga większego nakładu energii oraz zużycia większej ilości materiału. Wariant 2 polega na frezowaniu całej tarczy w taki sposób, że otrzymuje się stabilny, jednolity układ łopatek powstałych z tego samego kawałka materiału. Mniejsze zużycie energii oraz materiału w wariantcie 2 przyczynia się do mniejszego wpływu na środowisko wariantu 2 w porównaniu z wariantem 1. Wybór wariantu 2 wpisuje się w realizację działań projektowych uwzględniających zmniejszenie zużycia materiałów i energii, a także ograniczenie ilości odpadów poprodukcyjnych.

## 5. Podsumowanie

Celem artykułu było przedstawienie jednego z podejść w zakresie ekoprojektowania - projektowania pod kątem czystszej produkcji - w świetle założeń gospodarki o obiegu zamkniętym.

W realizacji tego podejścia projektowego w przedsiębiorstwach istotna jest świadomość możliwości i korzyści, jakie wiążą się z uwzględnieniem szerszej perspektywy cyklu życia wyrobu. W tym kontekście niniejsze opracowanie, zawierające określenie kierunków i sposobów realizacji rozwiązań projektowych pod kątem czystszej produkcji, może stanowić podstawę do dalszych poszukiwań teoretycznych oraz praktycznych w zakresie modelowego ujęcia podejść projektowych w gospodarce o obiegu zamkniętym.

Artykuł powstał w ramach badań statutowych BK-214/ROZ3/2017 (13/030/BK\_17/0027) pt. „Sposoby i środki doskonalenia produktów i usług na wybranych przykładach” realizowanych w Instytucie Inżynierii Produkcji na Wydziale Organizacji i Zarządzania Politechniki Śląskiej.

## Literatura

1. Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów: Zamknięcie obiegu - plan działania UE dotyczący gospodarki o obiegu zamkniętym, COM(2015)614 final, Bruksela, dnia 2.12.2015 r.
2. McDonough, W., Braungart, M.: The next industrial revolution. Sustainable solutions: Developing products and services for the future. Charter, M. and Tischner, U. Sheffield (eds.), Greenleaf Publishing, 2001, England.
3. Ryszko A.: Zdolność absorpcyjna przedsiębiorstwa a funkcjonowanie ekoinnowacyjnego modelu biznesowego - studium przypadku. W: Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji. T. 1. Pod red. Ryszarda Knosali. Opole: Oficyna Wydaw. Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, 2015, s. 188-200.
4. Kaźmierczak J., Bartnicka J., Janik A., Loska A., Pradela A., Wieczorek A., Ziętkiewicz A.: Uwagi na temat wybranych problemów oceny oddziaływań społecznych innowacyjnych produktów i technologii ("Technology Assessment"). Systemy Wspomagania w Inżynierii Produkcji, Inżynieria Systemów Technicznych. Red. Jarosław Brodny, Łukasz Dziemba, z. 2 (11), 2015, s. 110-124.
5. PKN-ISO/TR 14062:2004 Zarządzanie środowiskowe – Włączanie aspektów środowiskowych do projektowania i rozwoju wyrobu. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2004.
6. Szafraniec M.: Problematyka włączania zagadnień środowiskowych do procesów podejmowania decyzji w przedsiębiorstwie. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria: Organizacja i Zarządzanie, z. 79, 2015, s. 309-322.
7. Janik A.: Problematyka identyfikacji i wyceny efektów środowiskowych generowanych w cyklu życia wybranej innowacji. W: Zarządzanie innowacjami w produkcji i usługach. Monografia. Red. Jan Kaźmierczak, Joanna Bartnicka. Opole: Oficyna Wydaw. Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, 2014, s. 213-227.
8. Lewandowski M.: Designing the Business Models for Circular Economy - Towards the Conceptual Framework. Sustainability 2016, 8, 43.
9. Masternak-Janus A., Rybaczewska-Błazejowska M.: Analiza efektywności innowacyjnej przedsiębiorstw przemysłowych w Polsce z wykorzystaniem metody DEA. W: Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji. T. 1. Pod red. Ryszarda Knosali. Opole: Oficyna Wydaw. Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, 2016, s. 493-503.
10. Knosala R. (red.): Inżynieria produkcji. Kompendium wiedzy. PWE, Warszawa 2017.
11. Vallet F., Eynard B., Millet D., Mahut S.G., Tyl B., Bertoluci G.: Using eco-design tools: An overview of experts' practices, Design Studies, 34, 2013, s. 345-377.

Dr inż. Jolanta BARAN  
Instytut Inżynierii Produkcji  
Politechnika Śląska  
41-800, ul. Roosevelta 26-28

tel. (32) 277 74 73  
e-mail: jolanta.baran@polsl.pl