

Metodyka oceny zrównoważonego wykorzystania zasobów w procesach wtórnego wytwarzania — na przykładzie branży samochodowej

The assessment framework for the sustainability in remanufacturing operations — an example of the automotive industry

Polityka zrównoważonego rozwoju coraz częściej pojawia się w strategiach przedsiębiorstw. Na poziomie operacyjnym, szczególnie w przypadku małych i średnich przedsiębiorstw, pojawiają się liczne problemy związane z doбором odpowiednich wskaźników oraz oceną stanu obecnego i identyfikacją obszarów wymagających usprawnień. Celem artykułu jest prezentacja metodyki oceny poziomu zrównoważonego rozwoju w przedsiębiorstwach zajmujących się przetwarzaniem samochodów wycofanych z eksploatacji. Autorka prezentuje główne założenia metodyki oraz przedstawia przykład jej zastosowania.

Słowa kluczowe:

zrównoważony rozwój, ocena wykorzystania zasobów, wtórne wytwarzanie.

Nowadays the sustainability issues are appearing more often in the strategies of the companies. At the operational level, particularly for small and medium-sized enterprises, there are numerous problems associated with the selection of the appropriate indicators and assessment of the current state, in order to and identify areas which needed improvement. The aim of the article is to present the methodology for assessing the level of sustainability in companies involved in the remanufacturing of end-of-life vehicles. The author presents the main objectives of the methodology and presents an example of its application.

Key words:

remanufacturing, sustainability of operations, sustainability assessment.

Wprowadzenie*

Rozwój zrównoważony pozwala zaspokoić potrzeby obecnego pokolenia bez umniejszania szans przyszłych pokoleń na ich zaspokojenie (WCED, 1987). Na poziomie przedsiębiorstw można mówić raczej o zrównoważonym wykorzystaniu zasobów oraz tworzeniu przyjaznego środowiska pracy sprzyjającemu rozwojowi przedsiębiorstwa w dłuższej perspektywie czasowej. Cel ten można przełożyć na następujące cele szczegółowe:

- efektywne ekonomicznie wykorzystanie zasobów,
- wykorzystanie zasobów w sposób przyjazny dla środowiska,
- wykorzystanie zasobów zapewniające bezpieczeństwo pracownikom oraz minimum obciążeń dla otaczającej społeczności.

Wzrost znaczenia polityki zrównoważonego rozwoju stworzył nowe ramy dla budowania przewagi konkurencyjnej przedsiębiorstw. Wdrażanie zrównoważonego wykorzystania zasobów może stać się źródłem in-

nowacyjności i prowadzić do racjonalizacji kosztów funkcjonowania przedsiębiorstwa. W krajach Europy centralnej i wschodniej (m.in. w Polsce) występuje ciągle stosunkowo niewielki poziom świadomości w zakresie zrównoważonego wykorzystania zasobów. Przedsiębiorstwa ukierunkowane są na osiągnięcie zgodności z minimalnymi wymogami jakości (ISO 9001) i zarządzania środowiskiem (ISO 14001) oraz zdrowia i bezpieczeństwa pracy (BS OHSAS 18001), czy też spełnianie wymogów związanych z zarządzaniem energią (ISO 50001). Istnieją już jednak branże, w których dostrzegana jest potrzeba rozwoju poza minimalne wymogi. Branżą taką bez wątpienia jest przemysł samochodowy. Wtórne wytwarzanie (zwane remanufacturingiem lub fabryczną regeneracją) jest coraz popularniejsze wśród dostawców komponentów samochodowych, szczególnie rozruszników, alternatorów, silników czy kompresorów do klimatyzacji.

Większość przedsiębiorstw zajmujących się remanufacturingiem należy do sektora MSP. Zazwyczaj nie dysponują one metodami i narzędziami, które

pozwalają na kompleksowe planowanie procesów i optymalizację wykorzystania zasobów. Brakuje procedur pozwalających na realną ocenę stopnia zużycia zasobów i energii w procesie remanufacturingu. Równocześnie przedsiębiorstwa często stosują przestarzałe technologie i intuicyjne rozwiązania organizacyjne. MSP mają ograniczone *know-how* i infrastrukturę techniczną oraz zasoby ludzkie dla stosowania złożonych modeli teoretycznych. Istnieje zapotrzebowanie na proste procedury, które umożliwią MŚP zidentyfikowanie potencjału optymalizacyjnego w procesach remanufacturingu, a następnie wdrażanie usprawnień sprzyjających realizacji polityki zrównoważonego rozwoju.

Wcześniejsze badania dotyczące procesów wtórnego wytwarzania omawiały wybrane aspekty zrównoważonego wykorzystania zasobów. E. Sundin i H. M. Lee dokonali klasyfikacji badań nad ekologicznymi i ekonomicznymi aspektami remanufacturingu i wskazali, że zastosowane podejścia można pogrupować na:

- oparte na wskaźnikach bezpośrednich, które pozwalają na pomiar wygenerowanych obciążeń dla środowiska naturalnego (tj. poziom emisji CO₂ i gazów cieplarnianych, zużycie energii, zużycie materiałów itp.);
- oparte na wskaźnikach pośrednich, pozwalających na całościową ocenę wpływu na środowisko, tj. wykorzystujących metodę oceny cyklu życia wyrobu LCA (ang. *life cycle analysis*) lub metodę oceny kosztu w cyklu życia LCC (ang. *life cycle costing*; Sundin, Lee, 2011).

Przeważająca część wcześniejszych badań, wykorzystuje metodę LCA (ocena cyklu życia). Autorzy w pracach tych porównują wpływ na środowisko naturalne wyrobów pochodzących z fabrycznej regeneracji w stosunku do nowych produktów lub produktów pochodzących z recyklingu. Na przykład w pracy E.M. Schau, M. Traverso, A. Lehmana i M. Finkbeinera proponowano zakres stosowania LCA dla oceny trzech różnych wariantów projektowych alternatorów (Schau i inni, 2012). Wyniki oceny LCA w wymiarze ekologicznym dla regenerowanych alternatorów dotyczą wszystkich 3 etapów cyklu życia produktu: produkcji, użytkowania i remanufacturingu. W tym artykule naukowcy doszli do wniosku, że poprzez zastosowanie LCA można obliczyć niektóre wskaźniki zrównoważonego rozwoju wyrobów poddawanych remanufacturingowi (przede wszystkim aspekty ekologiczne).

Analiza LCC pozwala z kolei na ocenę ekonomicznych aspektów wtórnego wytwarzania i wybór najkorzystniejszego dla środowiska oraz pod względem kosztowym sposobu zagospodarowania wyrobów wycofanych z eksploatacji. Przykład zastosowania LCC do porównania kosztów cyklu życia nowych części samochodowych i części pochodzących z regeneracji można odnaleźć we wspomnianej już pracy E.M. Schau. W praktyce analizy LCA i LCC wymagają dużego zakresu danych, które zazwyczaj nie są

dostępne dla małych i średnich przedsiębiorstw. Dodatkowo analizy te są czasochłonne i dosyć kosztowne, na przykład wymagają zastosowania specjalistycznego oprogramowania. Z tego względu przy opracowaniu niniejszej metodyki zrezygnowano z zastosowania metody LCA i LCC. Próbę oceny aspektów społecznych można odnaleźć w pracy Y. Fatimah, gdzie dokonano próby parametryzacji aspektów społecznych w remanufacturingu (Fatimah i inni, 2013).

Celem niniejszego artykułu jest omówienie metodyki, która umożliwi kompleksową ocenę poziomu zrównoważonego rozwoju w procesach remanufacturingu. Wcześniejsze badania realizowane były na poziomie wyrobu, koncentrowały się one przede wszystkim na ocenie wykorzystania zasobów dla regeneracji fabrycznej wybranych części samochodowych. Nie odnosiły się do oceny samego procesu remanufacturingu. W przypadku oceny zrównoważonego wykorzystania zasobów w procesie remanufacturingu można mówić o istnieniu istotnej luki badawczej. Prezentowana w tym artykule metodyka została opracowana na podstawie przeglądu literatury i studiów przypadku.

Proces remanufacturingu a polityka zrównoważonego rozwoju

Zagadnienia związane z wtórnym wytwarzaniem, nazywanym również remanufacturingiem lub fabryczną regeneracją, są stosunkowo rzadko omawiane w polskiej literaturze z zakresu logistyki. Znaczenie tej tematyki jednak z każdym rokiem wzrasta ze względu na potencjalne korzyści ekonomiczne i ekologiczne, jakie przynosi tego typu przetwarzanie zużytych wyrobów. Branża remanufacturingu jest często określana mianem „niewidzialnego sektora”, ponieważ mimo faktu, że wtórne wytwarzanie rozwija się od ponad 50 lat, w prasie fachowej, czy literaturze z zakresu logistyki zwrotnej jest bardzo mało informacji na ten temat. Wtórne wytwarzanie polega na takim zagospodarowaniu wycofanych z eksploatacji wyrobów (tzw. rdzeni), które pozwala na pełną odbudowę ich pierwotnej wartości użytkowej (ang. *like a new*), a często również jej podniesienie, poprzez wymianę zużytych elementów na części i podzespoły o podwyższonych parametrach technicznych (Golińska, 2013b). Typowy proces remanufacturingu składa się następujących etapów:

1. demontaż poszczególnych elementów,
2. czyszczenie i weryfikacja stanu technicznego,
3. wtórna obróbka technologiczna,
4. wtórny montaż.

Autorzy podejmujący próbę zdefiniowania remanufacturingu podkreślają kilka istotnych elementów, które odróżniają go od recyklingu:

- rdzeń w wyniku realizacji procesów związanych z demontażem, czyszczeniem, naprawą i przetwarzaniem zostaje doprowadzony do stanu technicz-

nego równoważnego nowemu wyrobowi, tzw. *like a new* (np. Sundin, 2004; Lund, 1996);

- rdzeń poddany procesowi remanufacturingu powinien użytkownikowi zapewnić pełną funkcjonalność przez przynajmniej jeden pełen cykl życia (Bras i Hammond, 1996).

Nie należy mylić wtórnego wytwarzania z pracami remontowymi. Kluczowym wyznacznikiem jest tutaj konieczność odzyskania pełnego zakresu funkcjonalności i sprawności technicznej. O danym komponencie można powiedzieć, że został poddany wtórnemu wytwarzaniu, gdy:

- dana część pochodzi z użytkowanego wyrobu,
- część została rozmontowana w sposób pozwalający na ocenę stanu technicznego jej elementów składowych,
- część została dokładnie oczyszczona i jeżeli to konieczne odrdzewiona,
- wszystkie brakujące, uszkodzone lub zużyte elementy składowe zostały zastąpione sprawnymi elementami,
- wykonano wszystkie niezbędne operacje technologiczne konieczne do przywrócenia pełnej sprawności (np. szlifowanie, pasowanie, lakierowanie),
- ponownie zmontowano kompletny wyrób i skontrolowano jego parametry techniczne, tak by były one równorzędne, jak w przypadku nowej części (Golińska, 2013b).

Branża remanufacturingu ma ogromny potencjał zarówno ekonomiczny, ekologiczny, jak i społeczny. Potencjał ekonomiczny wynika z faktu, iż wtórne wytwarzanie ułatwia wielokrotne korzystanie z wartości dodanej generowanej podczas produkcji pierwotnej. Umożliwia też redukcję kosztów pracy i zużycia energii w stosunku do produkcji pierwotnej. W kontekście ekologicznym prowadzi to do oszczędności w zakresie zużycia surowców oraz redukcji emisji gazów i odpadów. Remanufacturing pozwala zaoszczędzić ok. 50–75% kosztów produkcji w porównaniu z wytworzeniem nowego produktu z surowców naturalnych. Oszczędność wynika z przechwytywania końcowej wartości dodanej w formie materiałów, energii i pracy. Zaznaczyć należy, że większość operacji wykonywana jest ręcznie, co powoduje, że procesy remanufacturingu są bardziej pracochłonne niż w przypadku produkcji pierwotnej. W efekcie rozwój tej branży może się przyczynić do kreowania nowych miejsc pracy.

Branża samochodowa została wybrana ze względu na uwarunkowania prawne. W wyniku przeniesienia na grunt polski Dyrektywy 2000/53/WE (tzw. ELV, ang. *End of Life Vehicles*) z dnia 18 września 2000 r. w sprawie samochodów wycofanych z eksploatacji nastąpiła konieczność odpowiedniego zagospodarowania komponentów samochodowych pochodzących z pojazdów wycofanych z eksploatacji. Na grunt ustawodawstwa polskiego wymogi dyrektywy ELV przeniosła ustawa z dnia 20 stycznia 2005 r. o recyklingu pojazdów wycofanych z eksploatacji (DzU 2005, nr 25, poz. 202

z późn. zm.). Zakres tych regulacji prawnych jest zgodny z założeniami strategii zrównoważonego rozwoju, koncentruje się bowiem na realizacji rozwoju gospodarczego i społecznego przy jednoczesnym unikaniu powstawania zanieczyszczeń i obciążeń dla środowiska naturalnego oraz społeczeństwa. Szczegółowo wymagania związane ze wdrażaniem ustawy opisałam w pracy dotyczącej konfiguracji sieci logistyki zwrotnej na przykładzie pojazdów wycofanych z eksploatacji (Golińska, 2012). Główne cele powstania dyrektywy ELV to:

- poddanie obróbce około 8–9 mln ton odpadów motoryzacyjnych, które powstają rocznie w Europie;
- ujednoczenie systemu zagospodarowania pojazdów wycofanych z eksploatacji we wszystkich krajach członkowskich;
- zminimalizowanie powstawania odpadów w całym cyklu życia pojazdów tak, aby podczas projektowania i produkcji samochodów były brane pod uwagę wymagania dotyczące demontażu, odzysku i powtórnego ich wykorzystania;
- promowanie działań, których celem jest powtórne użycie i powtórne wykorzystanie lub inne formy odzysku wyeksploatowanych pojazdów i ich części;
- zagospodarowanie wyeksploatowanych pojazdów w sposób niestanowiący zagrożenia dla środowiska naturalnego.

Dyrektywa ELV zakłada uzyskanie wysokiego stopnia odzysku części i materiałów z samochodów. Od 1 stycznia 2006 r. ponowne użycie części oraz odzysk powinny wynosić co najmniej 85% średniej masy pojazdu, w tym maksymalnie 5% może mieć postać odzysku energetycznego, a ponowne użycie i recykling muszą osiągać poziom 80%. Natomiast od 1 stycznia 2015 r. ponowne użycie i odzysk powinny znaleźć się na poziomie co najmniej 95% średniej masy pojazdu, w tym maksymalnie 10% może mieć postać odzysku energetycznego, a ponowne użycie i recykling będą musiały osiągać poziom 85%. W perspektywie rozwoju remanufacturingu najważniejszymi elementami dyrektywy ELV oraz ustawy były:

- obowiązek stworzenia przez producentów i profesjonalnych importerów sieci zbierania, przetwarzania i odzysku pojazdów wycofanych z eksploatacji;
- prawo do bezpłatnego przekazania pojazdu wycofanego z eksploatacji przez ostatniego właściciela samochodu (przy zachowaniu kompletności pojazdu);
- uwzględnienie już na etapie tworzenia i produkcji samochodów wymogów związanych z przyszłym demontażem i recyklingiem pojazdów wycofanych z eksploatacji oraz konieczność znakowania komponentów i materiałów dla łatwiejszej identyfikacji w celu ponownego wykorzystania i recyklingu.

Należy przewidywać wzrost zainteresowania problematyką remanufacturingu w związku ze zbliżającą się graniczną datą 1 stycznia 2015 r., kiedy to obowiązkowy wskaźnik ponownego wykorzystania i odzysku istotnie wzrośnie.

Metodyka oceny poziomu zrównoważonego rozwoju

W ramach projektu SIRO (ang. *Sustainability in Remanufacturing Operations*) podjęto próbę stworzenia metodyki oceny poziomu zrównoważonego rozwoju. Rysunek 1 prezentuje kroki metodyki. Postawiono następujące pytania badawcze:

Q1: Jakie warunki organizacyjne występują w małych i średnich przedsiębiorstwach zajmujących się remanufacturingiem części samochodowych?

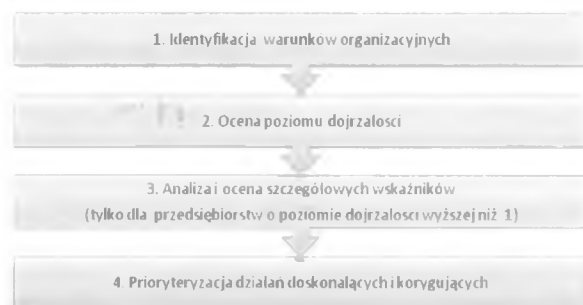
Q2: Jak sparametryzować wymiary zrównoważonego rozwoju (ekonomiczny, ekologiczny i społeczny), aby były adekwatne do warunków organizacyjnych występujących w MSP zajmujących się remanufacturingiem części samochodowych?

Q3: Jakie wskaźniki są adekwatne do pomiaru poziomu zrównoważonego rozwoju w MSP zajmujących się remanufacturingiem?

W artykule przedstawiono dalej szczegółowo kroki metodyki. Na podstawie wybranych studiów przypadku omówiono sposób stosowania opracowanej metodyki.

Rysunek 1

Metodyka oceny poziomu zrównoważonego rozwoju



Źródło: opracowanie własne.

Warunki organizacyjne w przedsiębiorstwach zajmujących się remanufacturingiem

W ramach projektu SIRO1 (ang. *Sustainability in Remanufacturing Operations*) podjęto próbę identyfikacji warunków organizacyjnych występujących w przedsiębiorstwach małej i średniej wielkości (MSP) zajmujących się wtórnym wytwarzaniem części samochodowych.

Podczas analizy warunków organizacyjnych w przedsiębiorstwach wyróżniono podstawowe charakterystyki, które są kluczowe dla dalszego opracowania metodyki oceny poziomu zrównoważonego rozwoju w przedsiębiorstwach.

We wcześniejsze badania (Seitz, 2007; Östlin i inni, 2008) zidentyfikowały następujące typy przedsiębiorstw zajmujących się remanufacturingiem:

- producenci i dostawcy oryginalnych części samochodowych, którzy przetwarzają tylko własne wyroby (tzw. OEM/OES),
- niezależne firmy zajmujące się wtórnym wytwarzaniem (tzw. IR, ang. *Independent Remanufacturers*),
- kontraktowi podwykonawcy (tzw. CR, ang. *Contracted Remanufacturers*), którzy wykonują procesy powtórnego wytwarzania w imieniu OEM.

Wyżej wymienioną klasyfikację rozwinął E. Sundin (2014/12), dodając dodatkowo nową kategorię tzw. dostawców usług remanufacturingowych (tzw. RSP, ang. *remanufacturing service providers*; Sundin i inni, 2012).

W przypadku małych i średnich przedsiębiorstw najczęściej zidentyfikować można podwykonawców, dostawców usług remanufacturingowych oraz w znacznie mniejszym stopniu niezależne firmy zajmujące się wtórnym wytwarzaniem.

We wcześniejszych opracowaniach autorki (Golińska, 2013a) dokonano analizy literaturowej w celu identyfikacji typowych charakterystyk procesu remanufacturingu w branży motoryzacyjnej. Podsumowanie zostało przedstawione w tabeli 1.

W przypadku wtórnego wytwarzania występuje duża polifercja modeli, co znacznie obniża możliwość standaryzacji operacji technologicznych. MSP zajmujące się remanufacturingiem części samochodowych często mają w swojej ofercie do ponad tysiąca tzw. numerów referencyjnych (modeli). Marszruty technologiczne we wtórnym wytwarzaniu są wielowariantowe, co powoduje, że długość cykli wytwarzania może się znacznie różnić dla tej samej generacji produktów w zależności od warunków ich wcześniejszego użytkowania. Niektóre operacje, np. demontaż i czyszczenie, są wspólne dla wszystkich produktów, jednak bardziej specjalistyczne operacje technologiczne mogą być konieczne do wykonania tylko dla pewnej grupy rdzeni (charakter probabilistyczny). Nawet ten sam model wyrobu, o takim samym czasie użytkowania może wymagać innych operacji związanych ze wstępną obróbką (demontaż i wtórne przetwarzanie komponentów) i wtórnym montażem, a wynika to z różnorodnych warunków eksploatacji (Golińska, 2013b). Polifercja modeli produkcyjnych wpływa na trudności w prawidłowym oszacowaniu tzw. poziomu odzysku komponentów i materiałów (tzw. MRR, ang. *material recovery rate*). MRR definiuje prawdopodobieństwo, że komponent wymontowany ze zużytego wyrobu będzie nadawał się do ponownego wykorzystania (Golińska, 2013b). Rzeczywista wartość współczynnik MRR jest znana dopiero w momencie demontażu zużytych wyrobów i ich wstępnej obróbki (czyszczenia, separacji itp.). Trudności te powodują długie czasy przestoju włączonych maszyn oczekujących na obróbkę, a co za tym idzie wysoką energochłonność procesu.

Dodatkowo procesy remanufacturingu charakteryzują się niskim poziomem automatyzacji i wymagają od personelu wysokich kompetencji technicznych. W Polsce występują niekorzystne zjawiska demogra-

Tabela 1

Charakterystyka warunków procesu remanufacturingu w MSP

	Charakterystyka	Remanufacturing
Wejście do procesu	Standaryzacja wyrobów Stabilność zasilen materiałowych (dostępność materiałów) Jakość	Srednia mała Zmienna Zmienna (niepodlegająca rozkładowi stochastycznym)
Przebieg procesu	Typowa wielkość partii Poziom zapasu robót w toku Długotrwałość cykli wtórnego wytwarzania Wskaźnik efektywności procesu Automatyzacja procesu	Średnia mała (do produkcji jednostkowej) <i>high due to the buffering against uncertainty</i> Zmienna (niepodlegająca rozkładowi stochastycznym) MRR (ang. <i>material recovery rate</i>) współczynnik odzysku Niska
Wyjście z procesu	Poziom obsługi klienta Cykl realizacji zamówień klientów Wielkość popytu	Zmienny zależny od jakości rdzeni Zmienny Mniejsza niż potencjał produkcyjny

Źródło: opracowanie własne (na podstawie Golińska, 2013a).

Tabela 2

Ocena warunków organizacyjnych wybranych przedsiębiorstw

	Firma A	Firma B	Firma C
Typ przedsiębiorstwa	CR (RTO — remanufacturing na zamówienie)	IR (RTO na zamówienie i RTS na magazyn)	RSP (RTO usługa na zamówienie)
Standaryzacja wyrobów	Mała (ponad 1000 modeli)	Mała (ponad 500 modeli)	Średnia (ponad 50 modeli)
Stabilność zasilen materiałowych	Stosunkowo stabilna	Zmienna	Zmienna
Jakość materiałów	Zmienna	Zmienna	Zmienna
Typowa wielkość partii	1–20 szt.	1–20 szt.	1–3 szt.
Poziom zapasu robót w toku	Dosyć wysoka	Wysoka	Dosyć wysoka
Długotrwałość cykli wtórnego wytwarzania	Zmienna	Zmienna	Zmienna
Wskaźnik efektywności procesu	Powyżej 85%	80–85%	Powyżej 85%
Automatyzacja procesu	Mała (prace w większości wykonywane ręcznie)	Mała (prace w większości wykonywane ręcznie)	Mała (prace w większości wykonywane ręcznie)
Poziom obsługi klienta	Zmienny zależny od jakości rdzeni	Zmienny zależny od jakości rdzeni	Zmienny zależny od jakości rdzeni
Cykl realizacji zamówień klientów	2–3 tygodnie	2–3 tygodnie dla RTO wg tygodniowych planów produkcji dla RTS	1–2 tygodnie
Wielkość popytu	Mniejsza niż potencjał produkcyjny	Zbliżona do potencjału produkcyjnego	Mniejsza niż potencjał produkcyjny

Źródło: opracowanie własne.

ficzne, które powodują, że niezwykle istotne jest zapewnienie jak najbardziej przyjaznego środowiska pracy dla specjalistów 50+, którzy posiadają wysokie kompetencje techniczne.

W tabeli 2 przedstawiono warunki organizacyjne dla wybranych studiów przypadków w MSP zajmujących się remanufacturingiem części samochodowych. Studia przypadków zostały zrealizowane w ramach projektu SIRO; ze względu na wymóg poufności danych nie podano nazw przedsiębiorstw. Wybrano trzy przedsiębiorstwa różniące się specyfiką prowadzonej działalno-

ści, które dobrze obrazują przekrój warunków organizacyjnych w branży. Przedsiębiorstwo A zajmuje się wtórnym wytwarzaniem na zlecenie innych przedsiębiorstw rozruszników i alternatorów. Firma B jest niezależną firmą remanufacturingową przetwarzającą alternatory, rozruszniki i pompy paliwowe. Firma C świadczy usługi związane z regeneracją silników.

Analizowane przedsiębiorstwa funkcjonują w modelach:

- RTS (ang. *remanufacturing-to-stock*) — wtórne wytwarzanie na magazyn,

- RTO (ang. *remanufacturing-to-order*) — wtórne wytwarzanie na zamówienie.
- Podsumowując, przedsiębiorstwa zajmujące się remanufacturingiem:
- muszą radzić sobie w warunkach wielowariantowej obróbki,
 - być zdolne do operacji demontażu i ponownego montażu na wielu modelach,
 - planować produkcję w warunkach, gdy cykl wtórnego wytwarzania jest bardzo zmienny i nie podlega rozkładowi stochastycznemu.

Ocena poziomu dojrzałości

Opracowana metodyka zakłada kilkustopniową ocenę poziomu zrównoważonego wykorzystania zasobów w przedsiębiorstwie. Po identyfikacji warunków organizacyjnych kolejny krok koncentruje się na ocenie dojrzałości przedsiębiorstwa w poszczególnych wymiarach zrównoważonego rozwoju. Ocena ma charakter jakościowy, przyjęto założenie, że dokonywanie oceny nie powinno nakładać na przedsiębiorstwa konieczności gromadzenia dodatkowych danych ilościowych. Ocena jakościowa wymaga mniejszej ilości danych niż ocena ilościowa i może zostać oparta na wiedzy eksperckiej. Do zdefiniowania poziomów dojrzałości wykorzystano założenia normy ISO/IEC 15504 *Information technology — Process assessment* (Technologia informacyjna — ocena procesów). Dojrzałość procesu remanufacturingu oceniono w skali od 1 (min.) do 4 (maks.). Poziomy dojrzałości zostały zdefiniowane jako:

- Poziom 1 — proces zdefiniowany, ale wskaźniki są nieprzejrzyste i nie są stosowane do zrównoważonego wykorzystania zasobów;
- Poziom 2 — proces zdefiniowany, wskaźniki są zdefiniowane, ale jedynie wrywkowo wykorzystuje się je w realizacji polityki zrównoważonego rozwoju;
- Poziom 3 — proces i wskaźniki są zdefiniowane, wskaźniki są mierzone i wykorzystywane do podejmowania działań w zakresie realizacji polityki zrównoważonego rozwoju;
- Poziom 4 — proces i wskaźniki są zdefiniowane, wskaźniki są regularnie mierzone i systematycznie wykorzystywane w zakresie kompleksowej realizacji polityki zrównoważonego rozwoju podczas codziennej działalności.

Po zdefiniowaniu poziomów badawczych w odpowiedzi na drugie pytanie badawcze przypisano każdemu z wymiarów (ekologicznemu, ekonomicznemu i społecznemu) obszary szczegółowe podlegające ocenie. W tabeli 3 przedstawiono opis obszarów szczegółowych podlegających ocenie dojrzałości. Przy definicji obszarów szczegółowych wykorzystano wnioski opracowane na podstawie analizy literatury oraz specyfikę warunków organizacyjnych przedstawionych wcześniej.

Tabela 3

Wykaz obszarów szczegółowych podlegających ocenie dojrzałości

Wymiar	Nazwa obszaru	Poziom dojrzałości
I. Ekologiczny	Efektywność energetyczna	1-4
	Efektywność materiałowa	1-4
	Gospodarka odpadami	1-4
	Skompresowane powietrze	1-4
	Emisje	1-4
II. Ekonomiczny	Poziom zapasów	1-4
	Poziom odpadów	1-4
	Organizacja produkcji	1-4
	Zakłócenia	1-4
	Zarządzanie jakością	1-4
III. Społeczny	Komfort miejsca pracy	1-4
	Ergonomia i bezpieczeństwo	1-4
	Szkolenia i rozwój pracowników	1-4
	Innowacyjność	1-4
	Image prospołeczny	1-4

Źródło: opracowanie własne.

Opracowany został formularz pozwalający MSP na samoocenę poziomu dojrzałości. W tym celu zostały sformułowane pytania dla każdego z obszarów szczegółowych, odpowiadające poszczególnym poziomom dojrzałości, na które udzielana jest odpowiedź „tak” lub „nie”. Za odpowiedź pozytywną przyznawany jest 1 pkt, udzielenie odpowiedzi negatywnej powoduje otrzymanie 0 pkt. Pytania w kwestionariuszu ułożone są „narastająco”, co oznacza, że udzielenie odpowiedzi negatywnej dla poziomu 2 powoduje automatyczne wprowadzenie oceny 0 dla kolejnych poziomów i przejście do kolejnego obszaru szczegółowego (więc osiągnięcie poziomu dojrzałości 3 nie jest możliwe bez wcześniejszego osiągnięcia poziomu 2). W tabeli 4 przedstawiono przykładowy zakres pytań w kwestionariuszu dla obszaru efektywność energetyczna i emisje.

Na rysunku 2 przedstawiono przykład zastosowania kwestionariusza do oceny poziomu dojrzałości dla wcześniej analizowanych przedsiębiorstw A, B, C.

Ocena poziomu dojrzałości pozwala na szybką weryfikację obszarów w przedsiębiorstwie, które wymagają usprawnień. Szczegółowo zastosowanie analizy poziomu dojrzałości omówiono w pracy P. Golin-skiej i F. Kueblera (2014). Kolejnym krokiem metodyki jest analiza wskaźników szczegółowych. Analiza wskaźników szczegółowych ma zastosowanie tylko wtedy, gdy przedsiębiorstwo osiągnie poziom dojrzałości powyżej 1 dla danego obszaru szczegółowego, co oznacza, że w przedsiębiorstwie istnieje możliwość pomiaru wskaźników szczegółowych.

Tabela 4

Fragmencj kwestionariusza oceny poziomu dojrzałości procesu remanufacturingu

Nazwa obszaru	T/N	Ocena
Efektywność energetyczna		
Pytanie 1: Czy koszty energii stanowią istotną pozycję kosztową?	T	1
Pytanie 2: Czy dostępne są charakterystyki zużycia energii dla posiadanego wyposażenia (maszyny, urządzenia, oświetlenie)?	T	1
Pytanie 3: Czy podejmowane są systematyczne działania mające na celu obniżenie kosztów energii?	N	0
Pytanie 4: Czy jest wdrożony kompleksowy system do zarządzania zużyciem energii (np. ISO 50.001)?	N	0
Poziom dojrzałości		2
Emisje (włączając CO₂, wodę i ścieki)		
Pytanie 1: Czy firma ma możliwość identyfikacji wszystkich rodzajów emisji (w tym substancji toksycznych) powstających w procesie remanufacturingu?	T	1
Pytanie 2: Czy firma monitoruje i dokumentuje miejsca powstawania tych emisji i ich ilości?	T	1
Pytanie 3: Czy są wdrożone procedury pozwalające na redukcję tych emisji?	T	1
Pytanie 4: Czy są podejmowane dodatkowe działania (poza minimalnymi wymogami prawnymi) mające na celu systematyczne zmniejszanie poziomu emisji w procesie remanufacturingu?	N	0
Poziom dojrzałości		3

Źródło: opracowanie własne.

Rysunek 2

Ocena poziomu dojrzałości dla analizowanych przedsiębiorstw



Źródło: opracowanie własne (na podstawie danych zgromadzonych w projekcie SIRO).

Analiza wskaźników szczegółowych i proces klasyfikacji działań usprawniających

Dobór odpowiednich wskaźników jest istotnym wyzwaniem. Właściwie dobrane stanowią istotne wsparcie w procesach decyzyjnych. Zdefiniowano, że wskaźniki w projekcie SIRO powinny spełniać następujące kryteria (Feng, Joung, 2009): być zrozumiałe, istotne, porównywalne, wiarygodne, dostępne, proste w swojej strukturze. Projekt SIRO zakłada, że opracowana metodyka oceny nie powinna powodować konieczności dodatkowego gromadzenia danych dotąd niedostęp-

nych w przedsiębiorstwie. Na rysunku 3 przedstawiono klasyfikację wskaźników w podziale na wymiary zrównoważonego rozwoju (Eko — ekologiczny, Ekon — ekonomiczne oraz Soc — społeczne).

Dobór wskaźników uwzględniał specyficzne warunki organizacyjne występujące w MŚP zajmujących się wtórnym wytwarzaniem części samochodowych. Sposób wyliczania poszczególnych wskaźników został omówiony w pracy P. Golinskiej i F. Kluebera (2014). Wskaźniki mają charakter jakościowy i ilościowy. Dla kryteriów jakościowych opracowano szczegółowe kwestionariusze pozwalające na ich ocenę ekspercką w skali 1–5. Wskaźniki ilościowe zostały wyrażone w ujęciu procentowym, aby ułatwić ich interpretację.

Eko	Ekon	Soc
	OEE	
Poziom zużycia energii	Dostępność materiałów	Poziom zatrudnienia
Poziom generowania odpadów	Dostępność zasobów produkcyjnych	Szkolenia pracowników
MRR	Dostępność procesu planowania	Szkolenia warunków pracy
Poziom generowania emisji	Ciągłość cyklu remanufacturingu	Poziom komfortu na stanowisku pracy
	Poziom obsługi klienta	Innowacyjność

Źródło: opracowanie własne (na podstawie danych zgromadzonych w projekcie SIRO).

Tabela 5

Podział wskaźników

	Minimanta	Maksymanta
Wskaźnik ilościowy (%)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Poziom generowania odpadów ■ Poziom generowanych emisji 	<ul style="list-style-type: none"> ■ OEE (ogólna efektywność wyposażenia) ■ MRR ■ Poziom obsługi klienta ■ Dokładność procesu planowania ■ Poziom zatrudnienia ■ Innowacyjność
Wskaźnik jakościowy (1-5)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Poziom zużycia energii ■ Szkodliwość warunków pracy 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Szkolenia pracowników ■ Ciągłość cyklu remanufacturingu ■ Dostępność materiałów ■ Dostępność zasobów produkcyjnych ■ Komfort na stanowisku pracy

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 5 pokazuje dosyć znaczący udział wskaźników jakościowych. Agregacja wskaźników wymagała zastosowania algorytmu klasyfikacyjnego, pozwalającego w ujęciu skwantyfikowanym uwzględnić ich różnorodność. Zastosowano teorię systemów szarych (ang. *Grey Decision Making*) i w oparciu o zagregowane wyniki dokonano podziału na trzy klasy przedsiębiorstw (Mierzwiak, Werner i Kosacka, 2014):

- Klasa 1 — przedsiębiorstwa o akceptowalnym poziomie zrównoważonego rozwoju, gdzie mogą być tylko podejmowane działania doskonalące;
- Klasa 2 — przedsiębiorstwa o warunkowo akceptowalnym poziomie zrównoważonego rozwoju, gdzie wymagane są działania korygujące tak szybko, jak to jest ekonomicznie i organizacyjnie możliwe;
- Klasa 3 — przedsiębiorstwa o nieakceptowalnym

poziomie zrównoważonego rozwoju, gdzie wymagane są natychmiastowe działania korygujące.

W celu przydzielenia przedsiębiorstw do grup opracowane wskaźniki zostały w wyniku badania eksperckiego poddane kategoryzacji według ich ważności. Szczegółowo proces badania eksperckiego i kategoryzacji wskaźników z wykorzystaniem skali Thurstone'a został opisany w pracy M. Kosackiej i R. Mierzwiaka (2014). Kategoryzacji dokonano zgodnie z założeniami metody Thurstone'a dla grupy co najmniej 10 ekspertów. Otrzymano kompletnie wypełnione tablice preferencji od 14 ekspertów. Podczas procesu nadawania wagi poszczególnym wskaźnikom zastosowano rangowanie ścisłe, tzn. dwa wskaźniki nie mogły uzyskać tej samej oceny. Rangi nadawane zostały wskaźnikom od 1 (najmniej istotny wskaźnik) do 15 (najbardziej istot-

Tabela 6

Przykład oceny wskaźników szczegółowych dla firmy B

Wymiar	Waga	Nazwa wskaźnika	Wartość
Ekonomiczny	0,88	OEE	58,31%
	0,79	Ciągłość cyklu remanufacturingu	3
	0,76	Dokładność procesu planowania	60%
	0,65	Dostępność zasobów produkcyjnych	3
	0,84	Poziom obsługi klienta	90%
	0,61	Dostępność materiałów	4
Ekologiczny	0,80	Poziom zużycia energii	3
	0,75	Poziom generowania odpadów	17%
	1,00	MRR	85%
	0,57	Poziom generowanych emisji	35%
Społeczny	0,40	Poziom zatrudnienia	90%
	0,22	Szkolenia pracowników	30%
	0,65	Szkodliwość warunków pracy	3
	0,36	Komfort na stanowisku pracy	30%
	0,58	Innowacyjność	30%

Źródło: opracowanie własne (na podstawie Kosacka, Mierziak, 2014).

ny wskaźnik). Następnie stworzono tablicę proporcji, dzięki której wskazywane zostały preferencje ekspertów w odniesieniu do znaczenia danych wskaźników. Obliczona została proporcja dominacji danego wskaźnika nad innym, w efekcie czego uzyskano wagi poszczególnych wskaźników (z przedziału wartości od 0 do 1). Uzyskane wagi uwzględniono w tabeli 6.

Tabela 6 prezentuje wartości wskaźnika dla firmy B, która uzyskała w procesie oceny poziomu dojrzałości (2 krok metodyki) oceny powyżej poziomu 1.

W artykule pominięto kwestie związane ze szczegółową prezentacją poszczególnych kroków realizacji algorytmu klasyfikacyjnego z wykorzystaniem teorii systemów szarych. Cała procedura została opisana w pracy P. Golinskiej i F. Kluebera (2014). W wyniku prze-

prowadzenia algorytmu klasyfikacyjnego nastąpiło przydzielenie analizowanej firmy B do klasy 2, co oznacza, że poziom zrównoważonego rozwoju jest warunkowo akceptowalny i powinny być wprowadzone działania korygujące tak szybko, jak to jest ekonomicznie i organizacyjnie uzasadnione. Równocześnie algorytm klasyfikacyjny pozwala zidentyfikować obszary, w których podjęcie działań najszybciej przyczyni się do poprawy ogólnej oceny przedsiębiorstwa z perspektywy zrównoważonego wykorzystania zasobów.

Ostatnim krokiem metodyki jest określenie kolejności wdrażania działań usprawniających, które pozwolą najszybciej poprawić poziom zrównoważonego wykorzystania zasobów w przedsiębiorstwie. Tabela 7 prezentuje nadanie priorytetów działań w przypadku firmy B.

Tabela 7

Priorytety działań korygujących i doskonalących

Klasa	Wskaźnik	Wartość	Priorytet
3	OEE	0,88	P1
3	Dokładność procesu planowania	0,76	P2
3	Dostępność materiałów	0,61	P3
3	Innowacyjność	0,58	P4
3	Komfort na stanowisku pracy	0,36	P5
2	Poziom obsługi klienta	0,84	P6
2	Poziom zużycia energii	0,80	P7
2	Ciągłość cyklu remanufacturingu	0,79	P8
2	Dostępność zasobów produkcyjnych	0,65	P9
2	Szkodliwość warunków pracy	0,65	P10
2	Poziom generowanych emisji	0,57	P11
2	Poziom zatrudnienia	0,40	P12
2	Szkolenie pracowników	0,22	P13
1	MRR	1,00	P14
1	Poziom generowanych odpadów	0,75	P15

Źródło: opracowanie własne (na podstawie Golinska, Klueber, 2014).

Tabela 7 wskazuje, że mimo iż przedsiębiorstwo zostało w ujęciu całościowym zakwalifikowane do klasy drugiej, to jednak pewne obszary szczegółowe mają wartości z klasy gorszej (3). Oznacza to, że w pierwszej kolejności powinny zostać podjęte dla nich działania korygujące według kolejności wynikającej z istotności wag przypisanych danym wskaźnikom. Następnie powinny być wdrażane działania dla obszarów należących do klasy 2. Nie ma konieczności wdrażania działań doskonalących dla wskaźnika należącego do klasy 1 (tj. poziom generowanych odpadów), ponieważ jego wartość jest już lepsza, niż u większości przedsiębiorstw należących do tej samej klasy 2, w zakresie zrównoważonego wykorzystania zasobów.

Podsumowanie

W artykule przedstawiono metodykę oceny poziomu zrównoważonego rozwoju w przedsiębiorstwach

Przypisy

* Artykuł prezentuje cząstkowe wyniki badań sfinansowanych ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w ramach polsko-niemieckiej współpracy na rzecz zrównoważonego rozwoju, projekt pt.: Zrównoważony rozwój w procesie wtórnego wytwarzania (SIRO), grant nr WPN 2/2012.

¹ Badania sfinansowane ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w ramach polsko-niemieckiej współpracy na rzecz zrównoważonego rozwoju, grant nr WPN 2/2012.

Literatura

- Bras, B., Hammond, R. (1996). Towards Design for remanufacturing-metrics for assessing remanufacturability. In Proceedings of the 1st international workshop on reuse. Eindhoven. The Netherlands (pp. 11–13).
- WCED (1987). *Our common future*. World Commission on Environment and Development. Oxford: Oxford University Press.
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2000/53/WE z 18 września 2000 r., art. 7, ust. 2.
- Fatimah, Y. A., Biswas, W., Mazhar, I., Islam, M.N. (2013). Sustainable manufacturing for Indonesian small-and medium-sized enterprises (SMEs): the case of remanufactured alternators. *Journal of Remanufacturing*, 3 (1), 1–11.
- Golińska, P. (2012). Problemy konfiguracji sieci logistyki zwrotnej na przykładzie pojazdów wycofanych z eksploatacji. *Gospodarka Materialowa i Logistyka* (12), 46–49.
- Golińska, P. (2013a). The materials management for remanufacturing shop floor — case study on automotive parts. Proceeding of the 22nd ICPR, Iguassu Falls, Brasil, 1–4.08.2013.
- Golińska, P. (2013b). *Logistyka zwrotna*. Poznań: Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej.
- Golińska, P., Klueber, F. (2014). The method for assessment of the sustainability maturity in manufacturing companies. *Procedia CIRP 00 (2014)*, (w druku).
- Golińska, P., Kosacka, M., Mierzwia, R., Werner-Lewandowska, K. (2014). Grey Decision Making as a tool for the sustainability level classification of companies — example of automotive parts remanufacturing. *Journal of Cleaner Production*, xx (14), (w druku).
- ISO/IEC 15504-1 (2004). Information technology — Process assessment — Part 1: Concepts and vocabulary
- Kosacka, M., Mierzwia, R. (2014). Określenie hierarchii ważności kryteriów oceny zrównoważonego wykorzystania zasobów w przedsiębiorstwach remanufacturingowych, niepublikowany raport wewnętrzny projektu SIRO, Poznań: Politechnika Poznańska
- Kubler, F., Hamacher, M., Steinhilper, R., Golińska P. (2013). Resource Efficiency and Productivity Optimization of Manufacturing Equipment. Proceedings of the 2nd Annual World Conference of the Society for Industrial and Systems Engineering. USA, Las Vegas.
- Lund, R. T. (1996). *The remanufacturing industry: hidden giant*. Boston, Massachusetts: Boston University Press.
- Mierzwia, R., Werner K., Kosacka, M. (2014). Algorytm klasyfikacji przedsiębiorstw wytwarzających części samochodowych w aspekcie wtórnego wytwarzania z użyciem GDM, niepublikowany raport wewnętrzny projektu SIRO. Poznań: Politechnika Poznańska.
- Östlin, J., Sundin, E., Björkman, M. (2008). Importance of closed-loop supply chain relationships for product remanufacturing. *International Journal of Production Economics*, 115 (2), 336–348.
- Östlin, J., Sundin, E., Björkman, M. (2009). Product life-cycle implications for remanufacturing strategies. *Journal of Cleaner Production*, 17 (11), 999–1009.
- Parkinson, H.J., Thompson, G. (2003). Analysis and taxonomy of remanufacturing industry practice. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: *Journal of Process Mechanical Engineering*, 217 (3), 243–256.
- Parkinson, H.J., Thompson, G. (2004). Systematic approach to the planning and execution of product remanufacture. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: *Journal of Process Mechanical Engineering*, 218 (1), 1–13.
- Seitz, M.A. (2007). A critical assessment of motives for product recovery: the case of engine remanufacturing. *Journal of Cleaner Production*, 15 (11), 1147–1157.
- Schau, E.M., Traverso, M., Lehmann, A., Finkbeiner, M. (2011). Life cycle costing in sustainability assessment – a case study of remanufactured alternators. *Sustainability*, 3 (11), 2268–2288.
- Schau, E.M., Traverso, M., Finkbeiner, M. (2012). Life cycle approach to sustainability assessment: a case study of remanufactured alternators. *Journal of Remanufacturing*, 2 (1), 1–14.
- Sundin, E. (2004). Product and Process Design for Successful Remanufacturing, Linköping Studies in Science and Technology Dissertation No. 906, Production Systems, Department of Mechanical Engineering Linköping University, Sweden.
- Sundin, E., Bras, B. (2005). Making functional sales environmentally and economically beneficial through product remanufacturing. *Journal of Cleaner Production*, 13 (9), 913–925.
- Sundin, E., Lee, H.M. (2012). In what way is remanufacturing good for the environment? In Design for Innovative Value Towards a Sustainable Society (pp. 552–557). Springer Netherlands.

zajmujących się remanufacturingiem części samochodowych. Podjęto próbę odpowiedzi na pytania badawcze odnoszące się do:

- Identyfikacji specyficznych warunków organizacyjnych występujących w małych i średnich przedsiębiorstwach zajmujących się wtórnym wytwarzaniem części samochodowych.
- Sparymetryzowania poszczególnych wymiarów realizacji polityki na poziomie MSP zajmujących się remanufacturingiem części samochodowych.
- Opracowania wskaźników szczegółowych pozwalających na ocenę stanu obecnego w zakresie zrównoważonego wykorzystania zasobów oraz nadania priorytetów działań usprawniających (korygujących lub doskonalących).

Dalsze kroki badań będą zakładały aplikację zaproponowanej metodyki w kolejnych przedsiębiorstwach.