

Paulina Golińska<sup>1</sup>  
Politechnika Poznańska

## Zarządzanie przepływem materiałów na potrzeby wtórnego wytwarzania (remanufacturing)

### Wtórne zagospodarowanie materiałów i części

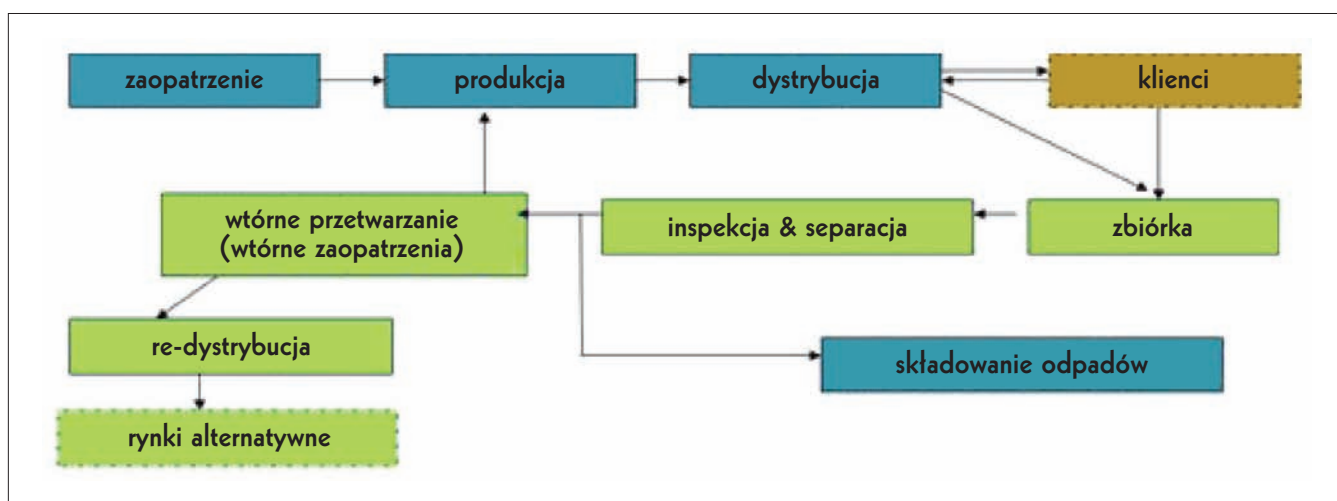
Od ponad dekady zaobserwować można „zielony trend” w produkcji i logistyce. Polityka Unii Europejskiej z zakresie promowania zrównoważonego rozwoju powoduje, że z roku na rok ustawodawstwo z zakresu ochrony środowiska staje się coraz bardziej restrykcyjne. Zjawisko to wymusza na wielu branżach zmianę tradycyjnego podejścia do procesów produkcyjnych na bardziej proekologiczne. Obowiązująca w wybranych branżach państw członkowskich UE tak zwana polityka poszerzonej odpowiedzialności producenta (EPR – *Extended Producer Responsibility*), spowodowała konieczność rekonfiguracji tradycyjnych łańcuchów dostaw. Nastąpiło ich poszerzenie o procesy związane z fazą posprzedażową, w szczególności procesy zagospodarowania zużytych przez klientów produktów (na przykład sprzęt AGD, sprzęt komputerowy, samochody). Na rysunku 1 przedstawiono koncepcję poszerzonego łańcucha dostaw, w którym mamy do czynienia z tak zwaną zamkniętą pętlą przepływów materiałowych.

Na rysunku 1 zaznaczono przepływy materiałowe strzałkami. Przepływ strumienia materiałów od źródeł zaopatrzenia do konsumenta nazywany bywa często przepływem pierwotnym i obejmuje wszelkie czynności związane z zakupem materiałów, ich transportem i składowaniem oraz czynności związane z tworzeniem wartości dodanej w procesie transformacji

surowców/komponentów w wyrób finalny. Ostatnim ogniwem jest szeroko rozumiana dystrybucja, obejmująca wszelkie czynności związane z dostarczeniem produktu do odbiorcy finalnego, w tym transport, przechowywanie, pakowanie i sprzedaż. W przypadku domykania pętli przepływów materiałowych w łańcuchu dostaw dystrybucja może zostać opcjonalnie poszerzona o czynności związane ze zbiorą zużytych przez klientów produktów i materiałów eksploatacyjnych (na przykład tonerów do drukarek).

Procesy wtórne w łańcuchu dostaw wiążą się z realizacją zbiórki zużytych wyrobów i surowców w ramach logistyki zwrotnej oraz ich wtórnym zagospodarowaniem (remanufacturing lub recykling). Procesy te rozpoczynają się wraz z dostarczeniem zużytych produktów i materiałów do miejsca ich dalszego zagospodarowania. Kolejnym niezbędnym etapem jest inspekcja w celu weryfikacji stanu technicznego zgromadzonych produktów. W jej wyniku następuje separacja strumieni materiałów na te, które mogą zostać ponownie zagospodarowane, i te, które powinny zostać składowane na wysypisku<sup>2</sup>.

Wtórne przetwarzanie przyjmuje różne formy, w zależności od specyfiki zużytych produktów i materiałów. W przypadku wyrobów złożonych o dużej wartości rezydualnej zasadne jest ich przetworzenie w procesie remanufacturingu (nazywa-



Rys. 1. Łańcuch dostaw z zamkniętą pętlą przepływów materiałowych.

<sup>1</sup> Dr inż. P. Golińska jest adiunktem w Katedrze Zarządzania Produkcją i Logistyki na Wydziale Inżynierii Zarządzania Politechniki Poznańskiej. Artykuł recenzowany (*przyp. red.*).

<sup>2</sup> Dekker R., Fleischmann M., Inderfurth K., Van Wassenhove L. N. (eds.): *Reverse Logistics: Quantitative Models for Closed-Loop Supply Chains*, Springer Verlag, Berlin (2003)

nego również fabryczną regeneracją), z zachowaniem dotychczasowej podstawowej funkcjonalności. Remanufacturing oznacza takie wtórne zagospodarowanie, które pozwala na pełną odbudowę pierwotnej wartości użytkowej produktu, a często również jej podniesienie (ang. *upgrade*), poprzez wymianę zużytych elementów na części i podzespoły o podwyższonych parametrach technicznych. Typowy proces remanufacturingu składa się następujących etapów:

- demontażu poszczególnych elementów (ang. *dissassembly*)
- kontroli stanu technicznego poszczególnych komponentów
- identyfikacji elementów, które wymagają zastąpienia
- oczyszczenie wszystkich elementów
- uzupełnienie brakujących elementów
- powtórnego montażu
- instalacji oprogramowania (sterowników)/regulację parametrów technicznych
- kontrolę.

Remanufacturing pozwala zaoszczędzić 50% – 75% kosztów produkcji w porównaniu z wytworzeniem nowego produktu z surowców naturalnych. Wynika to z przechwytywania końcowej wartości dodanej w formie materiałów, energii i pracy. Jest bardziej zaawansowaną formą, niż ponowne przetwarzanie, ale jego stosowanie nie zawsze jest opłacalne. Lund<sup>3</sup> określił kryteria zyskowego remanufacturingu, między innymi jako:

- produkt jest dobrem trwałym
- produkt występuje w wielu konfiguracjach, jednak składa się z zestandaryzowanych części
- koszt zbiórki produktu jest niski z porównaniu z jego wartością rezydualną
- technologia jest stabilna
- klienci są informowani o dostępności na rynku produktów powtórnie przetworzonych.

W przypadku, gdy największa wartość rezydualna jest zawarta w podstawowym surowcu, zasadne staje się jego przetworzenie w ramach recyklingu (na przykład wyroby papierowe, aluminium). W przypadku, gdy powtórnie przetworzone części lub surowce zostają włączone do produkcji nowych produktów, mogą się one stać opłacalną alternatywą dla dotychczasowej bazy surowcowej. Stąd coraz częściej w literaturze anglojęzycznej pojawia się określenie „re-supply”, to jest wtórna baza zaopatrzeniowa. Efektywne wtórne przetwarzanie jest możliwe wtedy, gdy już na etapie projektowania produktu uwzględnia się jego późniejsze zagospodarowanie. Najczęściej działania w tym zakresie obejmują:

- stosowanie tylko takich surowców i materiałów, które nadają się do powtórnej obróbki już na poziomie produkcji pierwotnej
- szacowanie możliwości odzysku przy wprowadzaniu nowych produktów na rynek
- stosowanie konstrukcji modułowych łatwych w późniejszym demontażu
- redukcja substancji szkodliwych, na przykład ołowiu, kadmu, sześciostopniowego chromu.

Ostatni z procesów występujących w zarządzaniu wtórnymi przepływami materiałowymi obejmuje redystrybucję. Polega ona na dostarczaniu ciągle sprawnych technicznie, zużytych produktów na inne, mniej wymagające technologicznie rynki (na przykład sprzedaż komputerów o gorszych parametrach technicznych do krajów słabiej rozwiniętych). W ramach tego artykułu pominięto aspekty związane z redystrybucją.

Koncepcja zamkniętego łańcucha dostaw opiera się na założeniu „zero odpadów”. Procesy wtórne powinny być tak zorganizowane, aby w całości zbierać i zagospodarowywać zużyte produkty i materiały. W praktyce gospodarczej tylko bardzo nielicznym firmom dla wybranych grup asortymentowych (na przykład tonery dla drukarek) udaje się osiągnąć ten cel. Koncepcja ta podkreśla jednak istotę minimalizowania odpadów w całym łańcuchu dostaw przez zintegrowane zarządzanie przepływami materiałowymi w ramach procesów pierwotnych i wtórnych. W dużym uproszczeniu można przyjąć, że głównym celem zamkniętego łańcucha dostaw jest maksymalizacja wykorzystania surowców wtórnych poprzez recykling i remanufacturing w celu minimalizowania negatywnego wpływu na środowisko naturalne.

Łączenie w systemie produkcyjnym pierwotnych i wtórnych przepływów materiałowych generuje wiele problemów ze względu na różne charakterystyki tych przepływów oraz dostęp do niepełnej informacji. Domykanie łańcucha dostaw wymaga synchronizacji przepływów materiałowych pomiędzy jego uczestnikami. Dostępność informacji zależy od fazy cyklu życia produktów. Największa jest w tak zwanej fazie początku życia produktu (BOL – *beginning of life*), kiedy dostawcy surowców i producenci dysponują obszernymi informacjami o charakterystyce jakościowej i ilościowej strumieni przepływów materiałowych. Wraz z przechodzeniem produktu przez kolejne fazy życia pojawiają się trudności w rzetelnym monitorowaniu przepływów materiałowych. Ze względu na ograniczony dostęp do informacji trudno jest precyzyjnie oszacować: czas zwrotu produktów przez klientów, jakość zwróconych wyrobów (w szczególności stopień ich zużycia), ilość otrzymanych zwrotów w danym okresie planistycznym. Szczegółowe zestawienie głównych charakterystyk przepływów materiałowych w przypadku źródeł pierwotnych i wtórnych zawarto w tabeli 1.

Tab. 1. Charakterystyka przepływów materiałowych pierwotnych i wtórnych.

	Przepływy pierwotne	Przepływy wtórne
<b>Ilość</b>	•Przewidywalna/pewna •Zgodna ze zgłoszonym przez kupującego zapotrzebowaniem	•Trudna do skalkulowania/obciążona niepewnością •Znana dopiero w momencie demontażu
<b>Jakość</b>	•Stać (z odchyleniem standardowym). Zgodna ze zgłoszoną przez kupującego specyfikacją	•Zmienna. Zależna od fazy cyklu życia produktu oraz źródła zwrotu
<b>Cykl dostaw</b>	•Stać/znany •Zgodnie z warunkami umowy/zamówienia z korektą o odchylenie standardowe	•Zmienny/niezny •Zależny od długości cyklu wtórnego przetwarzania

<sup>3</sup> Lund R.: Remanufacturing: An American resource. In: Proc. 5th Internat. Congress on Environmentally Conscious Design and Manufacturing, June 16–17, Rochester Institute of Technology, Rochester, NY (1998).

<sup>4</sup> na podstawie danych z <http://www.volkswagen.pl/recykling> (dostęp 9.05.2011)

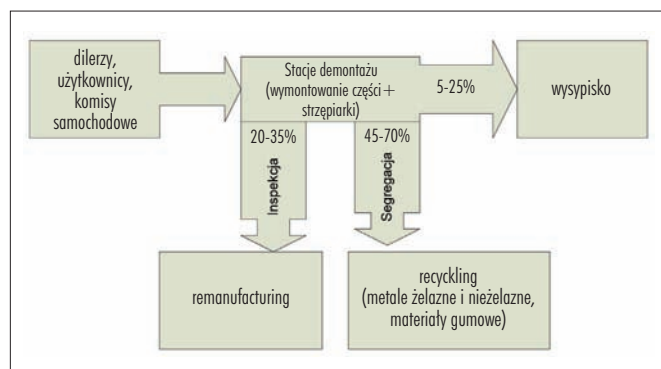
## Remanufacturing na przykładzie przemysłu samochodowego

Remanufacturing jest stosowany przede wszystkim w branży motoryzacyjnej i przez producentów sprzętu elektronicznego (komputery, drukarki, kserokopiarki). Wpływ na rozwój remanufacturingu w tych branżach mają zarówno wymogi prawne, jak i uwarunkowania ekonomiczne. Poniżej przedstawiono wybrane przykłady z sektora motoryzacyjnego.

Dyrektywa o pojazdach wycofanych z eksploatacji nr 2000/53/WE (tak zwana ELV – End of Life Vehicles) stworzyła ramy dla prawodawstwa poszczególnych państw UE. Główne cele dyrektywy obejmowały między innymi:

- stworzenie szczelnego i łatwo dostępnego dla użytkowników systemu odbioru i przetwarzania pojazdów wycofanych z eksploatacji
- określenie wysokich wymagań ekologicznych dla procesu przetwarzania pojazdów od 2006 roku – minimum 85% masy samochodu powinno być odzyskiwane, w tym maksymalnie 5% w formie odzysku energetycznego, a od 2015 roku minimum 95% masy, w tym maksymalnie 10% odzysku energetycznego.

Na grunt polski postanowienia Dyrektywy ELV przeniosła ustawa z dnia 20 stycznia 2005 roku o recyklingu pojazdów wycofanych z eksploatacji (Dz. U. z 2005 r. Nr 25 poz. 202 z późn. zm.). Schemat przepływów materiałowych dla pojazdów wycofanych z eksploatacji przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Przepływy materiałowe dla samochodów wycofanych z eksploatacji.

Obecnie średnio 20 – 35% masy samochodów wycofanych z eksploatacji zostaje poddana remanufacturingowi lub naprawie. Kolejne 45 – 70% jest poddawana recyklingowi. Ze złomowanych samochodów stacje demontażu usuwają w pierwszej kolejności płyny, silnik, skrzynie biegów, ogumienie, akumulator, reaktory katalityczne oraz inne elementy, które najczęściej zostają poddane recyklingowi bądź powtórnemu użyciu. Następnie w procesie rozdrabniania wraku w tak zwanej strzędziarce zostają rozdzielone metale żelazne i nieżelazne oraz tworzywa sztuczne od pozostałych części pojazdu. Podczas gdy metale żelazne i nieżelazne polegają prze-

topowi, inne pozostałości z procesu strzędziarstwa trafiają na wysypisko.

Przemysł samochodowy ma najdłuższą tradycję w remanufacturingu ze wszystkich branż. Około 70% wszystkich działań związanych z powtórnych wytwarzaniem ma miejsce w tym sektorze. Wynika to przede wszystkim z długiego cyklu życia produktów, znacznie przekraczającego 10 lat. Równocześnie w okresie eksploatacji wiele części wymaga wymiany, często wielokrotnej, na przykład tarcze hamulcowe. Obecnie wartość przychodów z tytułu remanufacturingu w branży samochodowej szacuje się na około 120 mln USD rocznie.

Lider na branży w zakresie remanufacturingu, Toyota, już w 2002 roku wprowadziła na wszystkie rynki europejskie fabrycznie regenerowane sprężarki do układów klimatyzacji oraz przekładnie kierownicze ze wspomaganiami. Kolejnym etapem było wprowadzenie z początkiem 2003 roku fabrycznie regenerowanych silników z osprzętem i bez osprzętu oraz głowic cylindrów. Ponadto Toyota koordynuje w Europie rozwój i wdrażanie skutecznych systemów zwrotu wymienianych podzespołów, które kierowane są do głównego europejskiego centrum dystrybucji – zamiast bezpośrednio ze stacji dealerskich do dostawców. Z każdym rokiem wzrasta liczba oferowanych typoszeregów części pochodzących z remanufacturingu.

Koncern Volkswagen AG wykorzystuje zużyte części do produkcji tak zwanych części „na wymianę”, mających zarówno wartości użytkowe i gwarancję takie same, jak części nowe. Zgodnie z danymi zamieszczonymi na stronie internetowej koncernu, dotychczas przetworzono w ten sposób ponad 7 200 000 silników i 2 200 000 skrzyń biegów. Asortyment części „na wymianę” obejmuje obecnie ponad 8 000 pozycji w 42 grupach<sup>4</sup>.

Jak wykazały badania przeprowadzone w wybranych państwach Unii Europejskiej na próbie 80<sup>5</sup> firm zajmujących się remanufacturingiem, do komponentów najczęściej poddawanych temu procesowi zaliczyć można: alternatory (około 70% pochodzi z remanufacturingu), rozruszniki (około 75% obecnie pochodzi z remanufacturingu), sprężarki układu hamulcowego, sprzęgła, kompresory klimatyzacji, przekładnie kierownicze, silniki, skrzynie biegów (szczególnie automatyczne).

Szacuje się, że pojemność rynku amerykańskiego na części pochodzące z remanufacturingu to około 60 mln sztuk rocznie. Pojemność rynku europejskiego to około 30 mln sztuk. Obecnie popyt na części wynosi około 15 mln sztuk rocznie, a przychody generowane przez sektor to około 4 mld euro<sup>6</sup>.

## Remanufacturing – główne problemy i wyzwania

Remanufacturing różni się bardzo od tradycyjnej produkcji. Zamykanie tak zwanej pętli przepływów materiałowych i dążenie do jak najpełniejszego powtórnego wykorzystania wszystkich surowców i komponentów składowych produktów, wymaga stosowania specyficznych rozwiązań organizacyjnych i technologicznych.

<sup>5</sup> Kim H. J., Severengiz S., Skerlos J., Seliger G., Economic and Environmental Assessment of Remanufacturing in the Automotive Industry. In Proceedings of the LCE 2008: 15th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering, Sydney, (2008).

<sup>6</sup> Na podstawie danych z [www.apra-europe.org](http://www.apra-europe.org) (dostęp 9.05.2011)

Z punktu widzenia planowania i sterowania produkcją, istnieje kilka charakterystyk systemów wtórnego wytwarzania, które utrudniają sprawną realizację w nich procesów. W tabeli 2 zawarto porównanie warunków organizacyjnych występujących w tradycyjnym systemie wytwarzania i we wtórnym systemie wytwarzania.

Tab. 2. Tradycyjne wytwarzanie vs. remanufacturing.

	Tradycyjne wytwarzanie	Remanufacturing
Standaryzacja produktów	duża/średnia	średnia/mala
Poziom zapasu robót w toku	bardzo niski lub brak (just-in-time, just-in-sequence)	wysoki
Okres rotacji zapasów	długi	krótki
Strategie uzupełniania zapasów	zestandaryzowane procedury	ad hoc/ wiedza ekspercka
Długotrwałość cykli produkcyjnych	zestandaryzowana	zmienna (o charakterze probabilistycznym)
Długotrwałość cykli dostaw	zestandaryzowana	zmienna
Stabilność zasileń materiałowych	wysoka	niska

W przypadku remanufacturingu poziom standaryzacji poszczególnych produktów jest bardzo niski. Dodatkowo pojawiają się w tym samym czasie w systemie produkcyjnym liczne modele/generacje produktów pochodzące z różnych okresów czasu (na przykład silniki od kilku generacji tego samego modelu samochodu). Występuje również tak zwana eksplozja modeli, wynikająca z rosnącej indywidualizacji potrzeb klientów w produkcji masowej. Zjawiska te znacznie wpływają na możliwości optymalizacji wielkości partii produkcyjnej w remanufacturingu. Tradycyjni producenci w danym okresie wytwarzają bardzo ograniczoną liczbę modeli danego produktu, co pozwala na wysoką specjalizację i stabilizację produkcji. Przy remanufacturingu producent musi dostosować linię produkcyjną do wielowariantowej obróbki modeli pochodzących z różnych okresów czasu. Wymaga częstych przebrojeń maszyn i wysokich kompetencji technicznych personelu.

Większość producentów w branży samochodowej stosuje zaawansowane metody organizacji dostaw, takie jak Just-in-Time (dostawy dokładnie na czas) i Just-in-Sequence (dostawy sekwencyjne), które pozwalają na znaczną redukcję poziomu zapasów. Podejścia te jednak nie mogą być stosowane w warunkach wtórnego wytwarzania ze względu na niepewność występującą w wielkości i jakości strumieni wtórnych dostaw (ang. *re-supply*). Polifercja modeli produkcyjnych wpływa na trudności w prawidłowym oszacowaniu tak zwanego poziomu odzysku komponentów i materiałów (MRR – *material recovery rate*). MRR definiuje prawdopodobieństwo, że komponent wymontowany z zużytego produktu będzie nadawał się do ponownego wykorzystania. W związku z wysokim poziomem niepewności MRR konieczne jest utrzymywanie wysokiego poziomu zapasów robót w toku, aby utrzymać ciągłość produkcji i optymalizować czasy przebrojeń maszyn.

Dodatkowo, do momentu inspekcji i rozmontowania zużytego produktu nie wiadomo, jakie operacje technologiczne będą konieczne do wykonania. Marszruty technologiczne we wtórnym wytwarzaniu są wielowariantowe. W związku z tym cykle wytwarzania mogą znacznie różnić się długotrwałością dla tej samej generacji produktów w zależności od wa-

runków ich wcześniejszego użytkowania. Niektóre operacje, na przykład demontaż i czyszczenie, są wspólne dla wszystkich produktów, jednak bardziej specjalistyczne operacje technologiczne mogą być konieczne do wykonania tylko dla pewnej ilości „zwrotów” (charakter probabilistyczny).

Realizacja remanufacturingu wymaga przechowywania zwracanych produktów przez dłuższy okres czasu, niż w tradycyjnej produkcji. Dodatkowo rozmiar pojedynczej jednostki produktu kompletnego oczekującego na demontaż lub częściowo zdemontowanej części jest większy, niż rozmiar jednostki surowca przechowywanego przez tradycyjnych producentów.

Stabilność dostaw jest niska ze względu na fakt, że ilość i moment zwrotu danego modelu produktu jest często trudny do prognozowania. Obecnie wiele przedsiębiorstw w ramach umów leasingowych stara się sterować okresem zwrotu produktów. Jednak w przypadkach, gdy standardowy czas trwania umowy leasingowej jest znacznie krótszy od średniego okresu eksploatacji produktu (branża samochodowa), te rozwiązania nie dają pełnego efektu.

## Podsumowanie

Zarządzanie przepływem materiałów na potrzeby remanufacturingu ciągle stwarza wiele wyzwań. Wynikają one przede wszystkim z trudności związanych z organizacją zwrotów produktów. Równocześnie istotne jest ciągle skracanie czasu magazynowania zużytych produktów, ponieważ mogą one stracić swoje walory użytkowe. Dodatkowo duże wymiary i zawartość substancji chemicznych sprawia, że ich magazynowanie jest kosztowne. Również sam proces demontażu i powtórnego montażu obciążony jest dużym poziomem niepewności co do czasu jego trwania. Dalszy rozwój remanufacturingu wymaga rozwiązania następujących problemów:

- opracowania metod i technik do optymalizacji magazynowania (włączając procedury dla optymalizacji przydziału miejsca)
- rozwoju nowych strategii uzupełniania zapasu uwzględniających zjawisko niepewności
- rozwoju metod i technik dla minimalizacji zapasów pracy w toku (w tym procedur dla optymalizacji buforu)
- opracowanie metod umożliwiających zwiększenie stabilności dostaw oraz skrócenie cykli produkcyjnych/cykli dostaw (redukcja niepewności).

## Streszczenie

Celem artykułu jest identyfikacja podstawowych problemów pojawiających się przy włączaniu materiałów i komponentów wtórnych w procesy produkcyjne. Zostały omówione wybrane przykłady rozwiązań tego typu w obszarze logistyki produkcji w przemyśle samochodowym i elektronicznym. Przeanalizowano podstawowe charakterystyki pierwotnych i wtórnych strumieni materiałowych oraz wyjaśniono problemy związane z synchronizacją obu tych strumieni w systemie produkcyjnym.