

# Ekologiczność procesów wytwarzania w przemyśle – wybrane zagadnienia

MACIEJ MATUSZEWSKI, IVAN L. OBORSKY, OLEG POLISHCHUK, MICHAŁ STYP-REKOWSKI\*

W artykule przedstawiono rozważania dotyczące ekologicznych aspektów procesów wytwarzania. Wskazano na najczęściej niekorzystny dla środowiska wpływ działań człowieka w tym zakresie. Przytoczono przykład ilościowego określenia tego wpływu, a także sposoby pozwalające zmniejszyć jego skutki, m.in. poprzez wykorzystanie recykulacji materiałowej i rekuperacji ciepła.

## Wprowadzenie

Jednym ze zjawisk obserwowanych we współczesnej ekosferze jest szybki wzrost liczby i masy wytworów napływających na rynek. Ich praktyczna przydatność jest mocno zróżnicowana. Są wśród nich takie, bez których trudno sobie wyobrazić codzienność, są również i takie, których zastosowanie niełatwo czasem odgadnąć. Strumieniowi temu, a właściwie rzece wytworów towarzyszy bardzo duży strumień opakowań. Ze względów funkcjonalnych produktów są one najczęściej niepotrzebne, natomiast są bardzo istotne marketingowo. Procesy wytwórcze zarówno samych produktów jak również ich opakowań w sposób znaczący obciążają środowisko naturalne. Same wyprodukowane artefakty mogą także mieć niekorzystny: bezpośredni lub pośredni wpływ na środowisko. W zależności od rodzaju produktu ich oddziaływanie na środo-

wisko jest bardzo zróżnicowane, lecz w wielu przypadkach – niekorzystne.

## Proces wytwórczy

Proces wytwórczy stanowi drugi etap cyklu istnienia wytworu (po projektowaniu i konstruowaniu [1]). Procesy podejmowane są w celu zaspokojenia dostrzeżonych potrzeb. W każdym z nich można zidentyfikować trzy zasadnicze fazy – rys. 1:

- działań przygotowawczych,
- realizacji procesów technologicznych, w efekcie czego powstaje produkt,
- przechowywania produktu i jego ekspedycja do odbiorcy.

Wszystkie wymienione na schemacie fazy mają istotny wpływ na efektywność procesu. Następują one w przedstawionej kolejności, przy czym początek kolejnej fazy nie musi następować

po zakończeniu poprzedniej, np. opakowanie, w którym gotowy produkt będzie przechowywany można przygotować równoległe z realizacją procesów technologicznych lub nawet wcześniej.

Po zrealizowaniu działań w wymienionych fazach zaczyna się kolejny, trzeci etap cyklu istnienia wytworu – eksploatacja.

Jeszcze nie tak dawno efektywność procesu wytwarzania oceniana była przede wszystkim, albo nawet jedynie za pomocą wskaźników ekonomicznych. Im, w wyniku realizacji procesu, w określonym czasie uzyskiwało się większy zysk tym proces był lepszy. Obecnie nie mniej ważnym kryterium jakie stosuje się w ocenie jest jego ekologiczność, lecz w tym przypadku ocena procesu nie jest taka prosta. Niezbędne do tego są narzędzia stwarzające możliwość oceny ekologicznej procesu wytwórczego oraz samego wytworu. Powinna ona ujmować całościowo oddziaływanie ocenianych elementów na środowisko. Jednym z wymiennych sposobów takiej oceny jest ekobilansowanie [3]. Istotna przy tym jest także znajomość elemen-

\* Dr hab. inż. Maciej Matuszewski, prof. uczelni – Politechnika Bydgoska, Wydział Zarządzania, prof. Ivan L. Oborsky – Techniczny Instytut Kijów (Ukraina), prof. Oleg Polishchuk – Narodowy Uniwersytet Techniczny Chmielnicki (Ukraina), prof. dr hab. inż. Michał Styp-Rekowski – Bydgoska Szkoła Wyższa, m.styprekowski@wp.pl.



Rys. 1. Fazy procesu wytwórczego

tów składowych oceny, a więc wartości nakładów środowiskowych w poszczególnych kategoriach (materiałowa, energetyczna, praca ludzi i maszyn) oraz w kolejnych fazach istnienia wytworu. Pozwala to zidentyfikować miejsca, gdzie dzięki działaniom proekologicznym można uzyskać najlepsze efekty. Racjonalne metody gospodarowania naturalnymi (bardzo często nieodnawialnymi) zasobami środowiska oraz zmniejszenie oddziaływania negatywnych skutków działalności człowieka to jeden z podstawowych kierunków współcześnie prowadzonych prac naukowo-badawczych w zakresie ochrony środowiska.

### Ekobilansowanie

Procedura ekobilansowania ma na celu umożliwienie kwantyfikacji obciążenia środowiska przez dany produkt. W procedurze tej wyróżnia się oddziaływanie produktu na środowisko w dwóch sferach:

- bezpośredniej – oddziaływanie na środowisko przez analizowany artefakt,
- pośredniej – jako skutek zużycia naturalnych zasobów środowiskowych niezbędnych do wytworzenia produktu.

Jednym z parametrów stosowanych w ekobilansowaniu jest sozoindeks ( $I_s$ ) będący ilorazem sumarycznego nakładu środowiskowego ( $N_{sr}$ ) i wielkości charakteryzującej użytkowy efekt pracy ( $E_u$ ) analizowanego obiektu [2]. Można go więc wyrazić zależnością:

$$I_s = \frac{N_{sr}}{E_u} \quad (1)$$

Wartość nakładu środowiskowego określa się korzystając z następującego wzoru:

$$N_{sr} = \frac{S}{Z} \quad (2)$$

Wartość sozoindeksu wyznacza się więc ostatecznie korzystając z zależności:

$$I_s = \frac{S}{Z \cdot E_u} \quad (3)$$

w której:

$S$  – ilość pobranego zasobu ze środowiska i/lub przekazana do niego ilość czynnika oddziałującego,

$Z$  – istniejący zasób środowiskowy.

Im wartość indeksu sozologicznego jest większa, tym silniejsze oddziaływanie analizowanego obiektu lub procesu na środowisko oraz większa potrzeba jego

minimalizowania różnymi sposobami. Analizując zależność (3) można zauważyć, że pozytywne zmiany sozoindeksu można uzyskać dwoma sposobami:

- zmniejszając ilość niezbędnego do produkcji surowca oraz zmniejszania ilość odpadów powstających w produkcji ( $S$ ), lub
- zwiększając istniejący zasób środowiskowy ( $Z$ ), a także użyteczność produktu ( $E_u$ ).

Wynika z tego, że najłatwiej i w największym stopniu możemy wpływać na wartość sozoindeksu pierwszym sposobem.

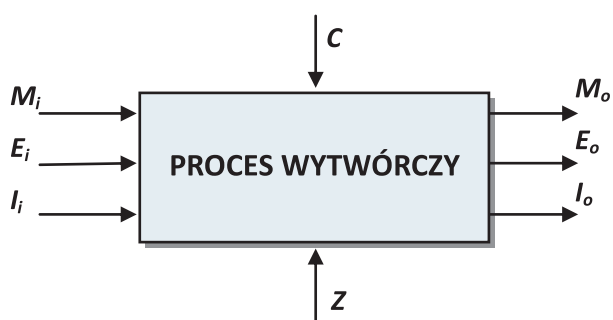
W świetle tych rozważań bardzo istotnym kryterium okazuje się kryterium zbędności [1]. W im wcześniejszej fazie istnienia wytworu zastosować to kryterium tym większe są korzyści z tego płynące – także w zakresie ochrony środowiska. Wylimitowanie mało użytecznych wytworów powoduje wzrost średniej użyteczności pozostałych.

### Recykulacja w ekobilansowaniu

Podstawowym zadaniem kadry technicznej wszystkich działów przemysłu jest zapewnienie odpowiedniej efektywności procesów wytwórczych. Ważnym aspektem działań w tym zakresie jest także dbanie o możliwie małe obciążanie środowiska skutkami ubocznymi procesów wytwórczych i powstałych w nich produktów. W niniejszym opracowaniu przedmiotem rozważań jest właśnie ten drugi aspekt działalności technicznej. W procesie wytwórczym zidentyfikować można trzy podstawowe tory: masowy ( $M$ ), energetyczny ( $E$ ) i informacyjny ( $I$ ) – rys. 2.

Oprócz wyżej wymienionych trzech torów, w modelu występują także dwa zbiory czynników: stałych ( $C$ ) oraz zaktórających ( $Z$ ).

Analizując cykl istnienia wytworu w aspekcie ekologicznym można zauważyć, że największe zagrożenie dla środowiska ze strony danego wytworu generowane jest w procesie wy-

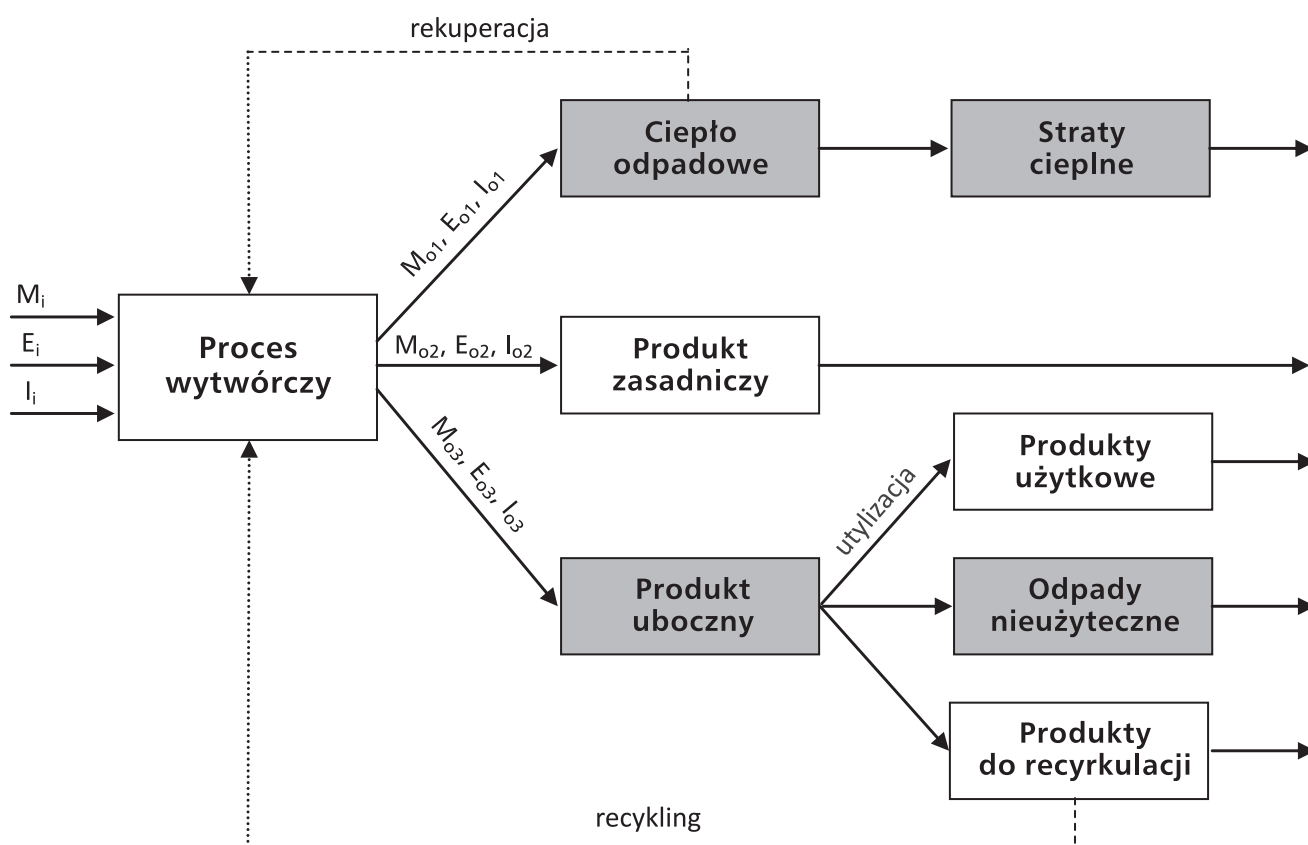


Rys. 2. Cybernetyczny model procesu wytwórczego

szczenie sozoindeksu, a więc zmniejszenie oddziaływania na środowisko, wyróżnia się trzy główne ich rodzaje [2]:

- materiałów konstrukcyjnych,
- materiałów energetycznych,
- pracy ludzkiej.

Do tej kategorii czynników zalicza się także nieunikniony ubytek zasobów biosfery.



Rys. 3. Blokowy schemat procesu technologicznego z zaznaczonymi miejscami powstawania zagrożeń (zaciemnione pola) oraz sugerowanymi sposobami minimalizacji ich skutków [5]

twórczym. Duże jednak także są w nim możliwości zapobiegania temu. Na rys. 3 przedstawiono schemat typowego procesu technologicznego. Wskazano na nim możliwości zmniejszenia szkodliwego oddziaływania procesu na środowisko, m.in. w wyniku zastosowania recykulacji. Możli-

wości powtórnego wykorzystania czynników, są widoczne głównie w torach: masowym i energetycznym procesu, przy czym ich udział jest zróżnicowany i zależy od rodzaju procesu.

Wśród nakładów środowiskowych ( $N_{sr}$ ), których zmniejszenie powoduje zmniejszenie

Znaczące miejsce wśród istniejących sposobów minimalizacji negatywnego oddziaływania procesów wytwórczych na środowisko ma niewątpliwie zastosowanie recykulacji. Nie powoduje ona najczęściej mniejszego zużycia materiałów konstrukcyjnych, a więc także surowców naturalnych niezbęd-

# Zyskaj przewagę

dzięki nowym gatunkom płytek do obróbki tokarskiej stali

Szukasz bardziej niezawodnego rozwiązania do toczenia stali,  
które wpłynie na obniżenie jednostkowego kosztu wytworzenia przedmiotu?

Przy zażartej konkurencji liczy się każde przejście narzędzia. Nawet drobna modyfikacja strategii obróbki może wiele zmienić, dlatego dobór właściwych narzędzi do procesu ma kluczowe znaczenie. Gatunki płytek skrawających nowej generacji GC4425 i GC4415 przeznaczone do toczenia stali zostały ulepszone pod każdym względem – uzyskały jeszcze bardziej powtarzalną i przewidywalną trwałość, co umożliwia bardziej niezawodną, wydajną i produktywną obróbkę. Właśnie takie zmiany mają znaczenie.

**Zobacz różnicę! Zmień płytki skrawające na GC4425 i GC4415.**



Zwiększenie liczby  
przedmiotów  
obrobionych  
na jedno ostrze



Skrócenie czasu  
obróbki



Ograniczenie do  
minimum  
marnotrawstwa  
materiału

#gainanedge  
[www.sandvik.coromant.com/steelturning](http://www.sandvik.coromant.com/steelturning)

**SANDVIK**  
Coromant

nych do ich produkcji (materiałów energetycznych) lecz stwarza możliwości zmniejszenia odpadów. Rezultatem tego jest mniejsza degradacja środowiska jako skutek mniejszego ubytku zasobów biosfery. W tym przypadku pozytywny efekt recykulacji jest więc odczuwalny pośrednio. W wyniku wykorzystania części produktów ubocznych jako materiału wejściowego w procesie wytwórczym innego użytecznego produktu, a także zastosowaniu recykulacji (wykorzystaniu recyklatu w tym samym lub innym procesie technologicznym) zmniejsza się także ilość odpadów nieużytecznych, w dużym stopniu obciążających środowisko. Takie zastosowanie recykulacji materiałowej stanowi więc bezpośredni, pozytywny efekt ekologiczny.

Dążenie do minimalizacji ilości odpadów widoczne jest także przy wyborze rodzaju obróbki. Tam gdzie jest to możliwe ubytkową obróbkę skrawaniem zastępuje się na przykład obróbką plastyczną, generującą znacznie mniej odpadów. Stosując natomiast obróbkę z grupy technik przyrostowych można zminimalizować ilość odpadów niemalże do zera. Filament stanowiący tworzywo konstrukcyjne, w większości metod produkcji tą techniką zużywany jest w całości do tworzenia postaci konstrukcyjnej produktu [6].

Zmniejszenie ilości emitowanych czynników obciążających i degradujących środowisko może odbywać się także w wyniku stosowania innowacyjnych procesów technologicznych. Wyraźne pozytywne efekty takiej działalności zaobserwować można analizując przykłady realizacji ONZ-towskiego programu czystszej produkcji [4].

Zmniejszenie wartości indeksu sozologicznego poprzez zwiększenie zasobów środowiskowych jest praktycznie niemożliwe do zrealizowania. Pośrednio przyczynić się do tego może jednak recykulacja, zmniejszając w ten sposób zapotrzebowanie na surowce. Nie powoduje to co prawda zwiększenia zasobów lecz prowadzi do wolniejszego ich ubytku.

Zwiększenie użytkowego efektu pracy wytworu lub efektywności procesu

powoduje także zmniejszenia wartości sozoindeksu. Działania realizowane w tym zakresie to naturalne i ciągłe dążenie całej kadry technicznej. W tym celu wykorzystuje się coraz to lepsze, wydajniejsze metody konstruowania, wytwarzania i eksploataowania wszelkich obiektów technicznych. Największe możliwości efektywnego działania w omawianym zakresie występują w procesie projektowania i konstruowania. Przyjęcie ekologicznych (w szerokim znaczeniu tego pojęcia) tworzyw konstrukcyjnych powoduje korzystne rezultaty w zakresie ekologiczności działań technicznych. Już w tej fazie istnienia wytworu, a więc istniejącego jeszcze jako abstrakt, możliwe jest sterowanie cechami ekologicznymi późniejszego produktu finalnego. Jako przykład można przytoczyć dobór takiego tworzywa konstrukcyjnego, które podatne jest na utylizację, np. poprzez recykulację.

Zastosowanie biodegradowalnych mediów roboczych w procesach obróbkowych stanowi także reprezentatywny przykład minimalizacji szkodliwego oddziaływania procesów wytwarzania na środowisko [7].

W procesach egzotermicznych, w których generowana jest duża ilość ciepła, powtórne jego użycie także stanowi element ochrony przed niekorzystnym oddziaływaniem tych procesów na środowisko. Ciepło odzyskane dzięki rekuperacji używane jest najczęściej w procesach towarzyszących, rzadziej powtórnie w tym samym procesie.

### Podsumowanie

Z przeprowadzonych powyżej rozważań wynika między innymi, że działania kadry technicznej powinny uwzględniać równorzędność i komplementarność potrzeb: gospodarczych, społecznych i ekologicznych. Strona ekonomiczna działalności służącej zaspokajaniu tych potrzeb powinna być podporządkowana dążeniu do zachowania równowagi ekologicznej. Wypracowanie takiego podejścia kadry technicznej do swojej działalności, a więc wytworzenie wśród niej świadomości proekologicznej, to główny cel

edukacji środowiskowej, coraz szerzej prowadzonej w uczelniach wyższych – nie tylko technicznych.

Przykładem praktycznych działań w takim kierunku jest właśnie wskazanie możliwości szerokiego wykorzystanie recykulacji i rekuperacji w procesach wytwórczych wszelkich maszyn i urządzeń, a zwłaszcza produktów pomocniczych (opakowania, materiały reklamowe itp.).

### Literatura

1. Dietrych J.: System i konstrukcja. WNT, Warszawa 1985.
2. Kłos Z.: Ocena ekologiczna maszyn i urządzeń. Materiały VII Międzynarodowej Konferencji Naukowej „Recykulacja w budowie maszyn – ICMR'97”, Wydawnictwo OPO, Bydgoszcz 1997, ss. 30-38.
3. Kłos Z.: Sozologiczność obiektów technicznych. Studium wartościowania wpływu maszyn i urządzeń na środowisko. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 1990.
4. Styp-Rekowski M.: Ecologic Aspects of Manufacturing Processes. Proceedings of II<sup>nd</sup> International Conference “Advances in Production Engineering”, vol. 1. Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2001, ss. 89-100.
5. Styp-Rekowski M.: Recykulacja jako jeden ze sposobów zwiększenia ekologiczności działań technicznych. Inżynieria i Aparatura Chemiczna nr 3/2005, s. 76-77.
6. Styp-Rekowski M., Matuszewski M., Oborski I.L., Polishchuk O.: Miejsce technik przyrostowych w procesach wytwórczych. Obróbka Metalu nr 2/2020, ss. 16-22.
7. Styp-Rekowski M., Ozimina D.: Environmental conditioning of rolling bearing pairs lubricating. Proceedings of III<sup>rd</sup> International Conference “Advances in Production Engineering”. Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2007, ss.384-391. ■