

Tendencje rozwojowe w działalności inżynierskiej na przełomie wieków

MICHAŁ STYP-REKOWSKI

W artykule przedstawiono dwie charakterystyczne dla początków XXI wieku tendencje, jakie obserwuje się w przemyśle. Pierwsza z nich to zasada projektowania i wytwarzania maszyn dla ściśle określonych warunków i rodzaju ich pracy. Korzyści z jej stosowania są zarówno w kategoriach technicznych jak i ekonomicznych. Druga opisana tendencja to szersze niż dotąd uwzględnienie pro-ekologicznych aspektów produkcji. W tym przypadku obserwuje się korzyści przede wszystkim w kategoriach ekologicznych, lecz także i ekonomicznych. Przedstawiono przykład realizacji takiego postępowania, który potwierdził poczynione spostrzeżenia.

Wprowadzenie

Obserwowany na przełomie wieków postęp techniczny powoduje pojawianie się nowych trendów w działaniach podejmowanych w technosferze, a więc w szeroko pojętej działalności inżynierskiej. W działalności tej wyróżnić można sfery [2]:

- projektowania,
- konstruowania,
- wytwarzania,
- eksploatacji,
- utylizacji.

Procesy te, chociaż następują po sobie w ustalonej kolejności, oddziałują na siebie a spodziewane interakcje należy uwzględniać opracowując program działań podejmowanych w każdej z wymienionych sfer. Należy także zauważyć, że istnieje tutaj współzależność: zmiany wprowadzane w celu zaspokojenia stwierdzonej potrzeby mogą generować nowe potrzeby.

Zakłady przemysłowe w swoich strategiach działania coraz częściej uwzględniają aspekt ekologiczny, co jest efektem rosnących wymagań przede wszystkim prawnych (międzynarodowe normy ISO 9000 oraz ISO 14000 [5, 6]) lecz także społecznych.

Zawarte w normach zalecenia i procedury dostarczają zatem kompleksowych informacji dotyczących oddziaływania na środowisko wywieranych przez dany produkt w każdej fazie procesu jego produkcji, ułatwiają także poszukiwanie rozwiązań zmniejszających jego negatywny wpływ na środowisko. Certyfikaty ISO uzyskane dzięki wprowadzeniu norm zapewniają o najwyższej jakości produkowanych wyrobów, zdecydowanie poprawiając wizerunek firmy, zarówno w skali krajowej, jak i międzynarodowej.

Takie kompleksowe spojrzenie na całą sferę działalności technicznej, obserwuje się dopiero od końcówki ubiegłego stulecia, a mając na uwadze znaczenie tego problemu, w przyszłości należy mieć nadzieję, że będzie ono kontynuowane i rozwijane.

Przy okazji wprowadzania wspomnianych wyżej zbiorów norm jakościowych, stwierdzono, że wdrażanie szeroko pojętych działań usprawniających, na etapie projektowania i konstruowania są 10-krotnie efektywniejsze niż w rezultacie prób i badań a nawet 1000 razy bardziej opłacalne niż wprowadzanie ich na etapie eksploatacji. Wynika stąd szczególne znaczenie działań podejmowanych w dwóch pierwszych z wymienionych sfer, dlatego też one właśnie będą szerzej przedstawione w dalszej części niniejszego opracowania.

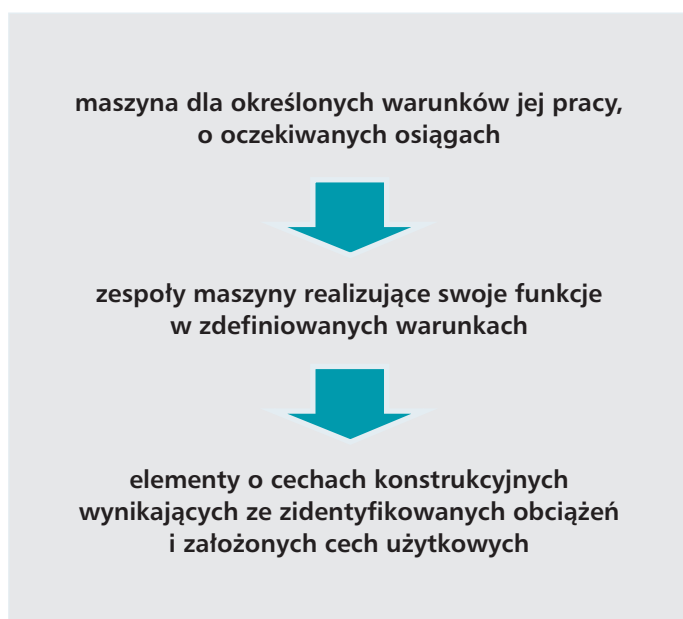
Projektowanie maszyn dla określonych warunków pracy

Projektowanie według zasady „dla każdej pracy i dla każdego (ściśle określonych) warunków właściwa maszyna” znane jest już od pewnego czasu [9]. Dopiero jednak pod koniec lat

* Prof. dr hab. inż. Michał Styp-Rekowski – Bydgoska Szkoła Wyższa, m.styprekowski@wp.pl.

80-tych ubiegłego wieku zaczęła ona znajdować coraz więcej zwolenników, a tym samym spodziewać się można, że będzie ona coraz częściej wykorzystywana w praktyce. Jej istotne elementy przedstawiono na rys. 1.

Przyjęcie powyższej zasady powoduje odejście od idei maszyn uniwersalnych, z tym, że mniejsza ilość czynności możliwych do wykonania przez maszynę jest rekompensowana jakością tych czynności, no i oczywiście ceną. Maszyna zaprojektowana według tej zasady charakteryzuje się uproszczoną postacią konstrukcyjną, co powoduje



Rys. 1. Istota tendencji „dla każdej pracy i dla każdego warunków właściwa maszyna”

zmniejszenie wagi maszyny oraz zmniejszenie zużycia energii podczas jej eksploatacji. Po to, aby efekt stosowania tej zasady był najlepszy należy zawęzić dopuszczalną zmienność warunków pracy maszyny, przez co uzyska się lepsze wykorzystanie struktury maszyny i jej osiągnięć w określonych warunkach jej eksploatacji. Ograniczenie zmienności warunków pracy pozwala najczęściej na zmniejszenie wartości współczynników bezpieczeństwa, co powoduje zmniejszenie wagi i wymiarów zespołów funkcjonalnych i elementów maszyny, a tym samym zmniejszenie zużycia energii na ich wytworzenie oraz na utrzymanie maszyny w ruchu. Pozwala tym samym na uniknięcie lub zmniejszenie przewymiarowania konstrukcji zarówno w zakresie cech geometrycznych jak i materiałowych. Realizować to można stosując materiały o mniejszych wartościach parametrów wytrzymałościowych lub mniejsze przekroje elementów przy nie zmienionych materiałach.

Spektakularnym przykładem z tego zakresu mogą być łożyska toczne. Tradycyjnie przyjmuje się, że elementy łożysk wykonuje się z tworzyw konstrukcyjnych, które charakteryzują się dużą twardością jako cechą posiadaną lub nabytą



w rezultacie dodatkowej obróbki. Okazuje się jednak, że w określonych warunkach oczekiwane funkcje mogą spełniać także łożyska, których obciążone elementy (pierścienie i kulki) wykonane są z tworzyw polimerowych, jak: poliacetal, poliamid, polieteroeteroketon, polisiarczek fenylenu i innych [14]. Tworzywa te charakteryzują się twardością w zakresie 76 ÷ 98 HRM, a więc nieporównywalnie mniejszą niż twardość stali, szczególnie łożyskowych po obróbce cieplnej (63 HRC). Sytuacja taka istnieje najczęściej w aparaturze medycznej oraz laboratoryjnej, w której obciążenia są bardzo niewielkie, a więc twardość elementów łożysk nie jest ich cechą niezbędną.

Zestawienie wybranych cech tworzyw konstrukcyjnych aktualnie stosowanych w branży łożysk tocznych a także perspektywicznych zawiera Tabela 1. Wynika z niej wyraźnie, że uwzględnienie omawianego trendu w projektowaniu powoduje znaczne rozszerzenie zbioru tworzyw konstrukcyjnych możliwych do wykorzystania w procesie wytwórczym łożysk tocznych od bardzo twardej ceramiki do miękkich tworzyw sztucznych.

Praktyczne stosowanie zasady „właściwa maszyna dla każdej pracy i dla każdego warunków” wymaga spełnienia szeregu warunków. Pierwszy z nich to ustalenie możliwie dokładnie warunków, w jakich maszyna będzie eksploatowana oraz określenie wartości i charakteru obciążeń węzłów kinematycznych, istotnych dla jej oczekiwanych osiągnięć. Od dokładności tych działań w dużym stopniu zależą uzyskane efekty. Obserwuje się więc rozwój metod obliczeniowych

pozwalających na coraz dokładniejsze określanie stanu obciążeń rzeczywistych elementów maszyn. Wykorzystuje się w nich metody elementów skończonych, sztucznych sieci neuronowych czy elementów granicznych i innych metod numerycznych [1, 8]. Interesującym przykładem, który pozwala na rozszerzenie możliwości stosowania w projektowaniu omawianej zasady jest wykorzystanie fraktali do opisu zjawisk towarzyszących zarówno kształtowaniu powierzchni w czasie obróbki jak też i jej transformacji w procesie eksploatacji [4]. Jest to o tyle istotne, że umożliwia precyzyjne określenie warunków pracy maszyny jak też jej osiągnięć.

Drugim warunkiem, jaki musi być spełniony aby w pełni stosować omawianą zasadę i uzyskać z tego tytułu możliwe duże efekty jest opracowanie metod doboru cech konstrukcyjnych elementów maszyn uwzględniających oczekiwane warunki pracy maszyn i założone wymagania. W tym zakresie także obserwuje się duży postęp. Komputerowo wspomagane procesy projektowania i konstruowania (CAD) umożliwiają uwzględnianie w nich coraz większej liczby czynników oraz optymalizację cech konstrukcyjnych elementów maszyn przy coraz liczniejszym zbiorze kryteriów (polioptymalizacja).

Kolejnym warunkiem efektywnego stosowania prezentowanej zasady jest zapewnienie opłacalnych (w szerokim znaczeniu tego pojęcia) warunków wytwarzania zaprojektowanych elementów. Na obecnym poziomie technik wytwarzania nie jest to warunek trudny do spełnienia. Systemy elastycznej automatyzacji, a także praktyczne wyko-

Tabela 1. Cechy materiałowe wybranych łożyskowych tworzyw konstrukcyjnych [13]

L.p.	Wielkość charakterystyczna	Rodzaj tworzywa				
		stal	ceramika techniczna		tworzywa polimerowe	
		100Cr6	Si ₃ N ₄	SiC	POM	PA
1	Gęstość, g/cm ³	7,85	3,10 ÷ 3,20	3,00 ÷ 3,20	1,40 ÷ 1,50	1,02 ÷ 1,18
2	Moduł Younga, GPa	208	300 ÷ 315	380 ÷ 440	2,82 ÷ 3,30	1,12 ÷ 3,30
3	Moduł Kirchhoffa, GPa	81	96 ÷ 120	170 ÷ 180	0,80 ÷ 1,10	0,55 ÷ 1,22
4	Twardość, N/m ² *)	60 ÷ 66	8,0 ÷ 19,6	17,0 ÷ 31,0	78 ÷ 94	78 ÷ 89
5	Ciepło właściwe, J/g · deg	0,50	0,68	0,67	1,45 ÷ 1,62	1,26 ÷ 1,70
6	Współczynnik rozszerzalności liniowej, 1/K · 10 ⁻⁶	11	1,5	2,8	110 ÷ 130	70 ÷ 120
7	Odporność na kruche pękanie, MPa·m ^{0,5}	25	3,5 ÷ 5,4	4,0 ÷ 4,6	–	–

* Skala w zależności od rodzaju tworzywa.

rzystanie osiągnięć w zakresie geometryczno-kinematycznej elastyczności narzędzi skrawających umożliwiają dzisiaj wytwarzanie elementów maszyn nawet w ilościach jednostkowych stosując procesy technologiczne charakterystyczne dla produkcji masowej [7]. Bardzo przydatne do tego celu są systemy komputerowego wspomaganie wykorzystywane na różnych etapach procesu wytwarzania: CAM (*Computer Aided Machining*), CAE (*Computer Aided Engineering*) lub CIM (*Computer Integrated Manufacturing*) [10].

Projektowanie proekologiczne

Od dawna już wiadomo, że zapobieganie szkodliwym zjawiskom jest skuteczniejsze niż usuwanie ich skutków, lecz dopiero teraz, z powodu dużego wzrostu zagrożeń ekologicznych, coraz więcej uwagi poświęca się ochronie środowiska. Podobnie jak powszechne już znane i stosowane normy z serii ISO 9000, mające zapewnić w sposób systemowy dobrą jakość produktów, wprowadza się obecnie grupę norm ISO 14000, które mają wymusić możliwie mało szkodliwe oddziaływanie skutków działalności technicznej człowieka na środowisko.

Ze względu na coraz większą świadomość ekologiczną kadry technicznej, coraz częściej zagadnienie to jest uwzględniane już na etapie projektowania. Cechą charakterystyczną przełomu wieków jest więc tendencja do projektowania proekologicznego [3, 12]. Można wyróżnić trzy podstawowe sfery takiego projektowania:

- projektowo-konstrukcyjną – wstępną w stosunku do procesu wytwarzania,
- technologiczną,
- eksploatacyjną.

W pierwszej z nich dokonuje się wyboru zasad funkcjonowania projektowanej maszyny oraz dobiera cechy konstrukcyjne maszyny i jej elementów. Podobnie jak w przypadku wcześniej omawianej zasady projektowania, tak również i w tym przypadku szczególne znaczenie ma materiałowa cecha konstrukcyjna. Z punktu widzenia projektanta jedną z podstawowych cech materiału powinna być jego podatność na recykulację i utylizację, aby w ten sposób zapobiegać lub ograniczać zanieczyszczanie środowiska spowodowane składowaniem zużytych produktów lub ich elementów. Taki sam, bądź podobny rezultat można osiągnąć tak konstruując elementy maszyny, aby możliwa i opłacalna była ich naprawa, np. poprzez regenerację.

W drugiej dziedzinie projektowania proekologicznego – technologicznej, w której opracowuje się procesy wytwórcze, zagrożeń ekologicznych spodziewać się można w następujących obszarach [12]:

- powstawania odpadów,
- dyssypacji ciepła do otoczenia,
- emisji gazów i zanieczyszczeń (odpadów),
- drgań i hałasu towarzyszących procesom produkcyjnym.



We wszystkich powyższych przypadkach dąży się do minimalizacji oddziaływania tych czynników, m. in. przez dobór takiej metody obróbki, w której masa powstających odpadów jest najmniejsza, np. stosując cięcie bezodpadowe, toczenie na sucho lub stosując odpowiednie półprodukty. Jest to możliwe dzięki temu że do dyspozycji są coraz to doskonalsze obrabiarki, narzędzia i materiały.

W trzeciej dziedzinie – eksploatacyjnej, projektowanie proekologiczne polega na takim doborze parametrów pracy (ze zbioru przyjętego na etapie projektowania i konstruowania maszyny), aby maszyna pracowała w sposób niezawodny i najmniej uciążliwy dla otoczenia.

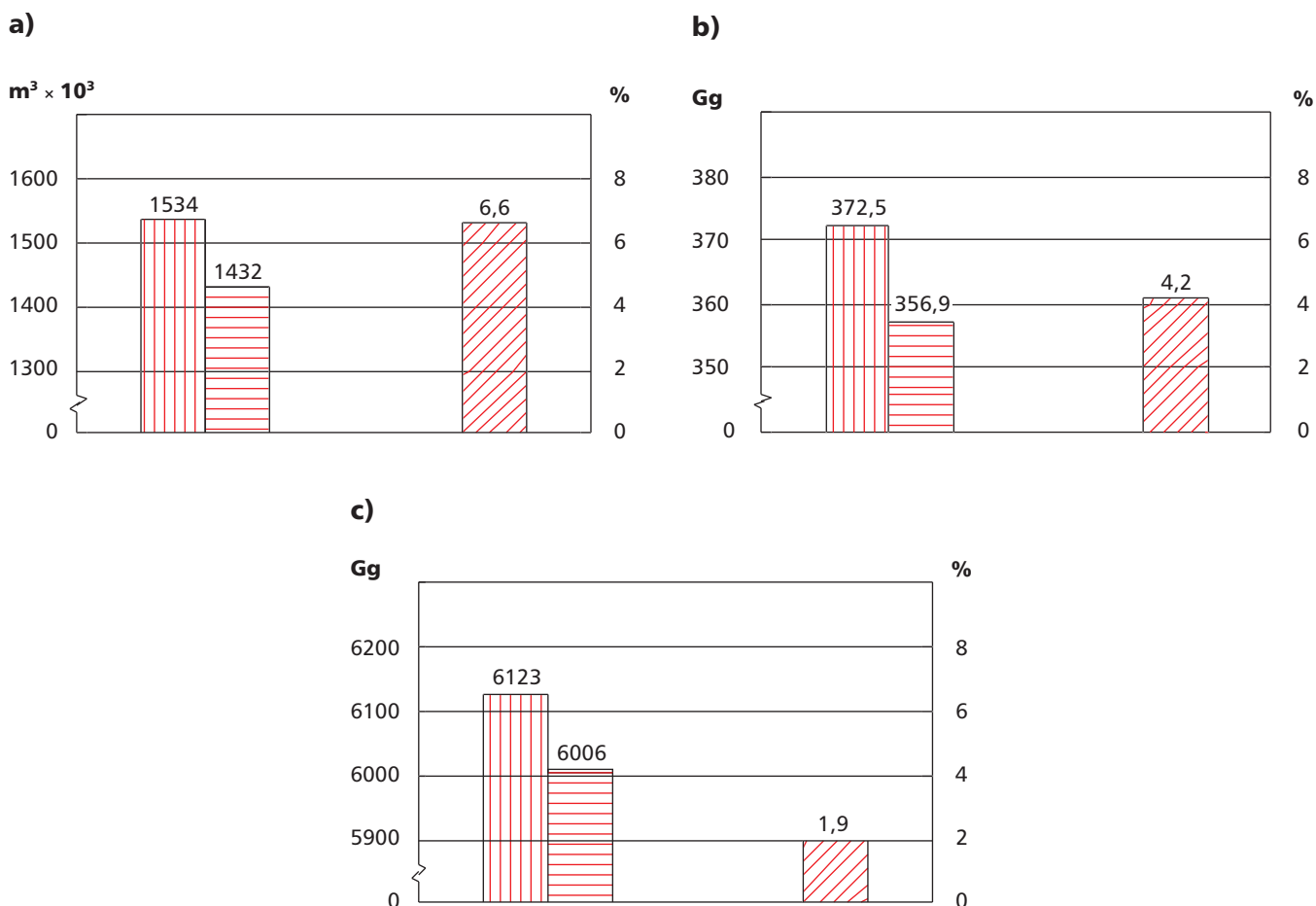
Wszystkie wymienione dziedziny są więc bardzo istotne dla omawianego zagadnienia i bardzo często przenikają się wzajemnie. Projektując na przykład obrabiarkę, która ma realizować założone procesy technologiczne już na tym etapie należy uwzględnić konieczność wyposażenia jej w zespoły czyniące jej pracę możliwie najmniej uciążliwą dla otoczenia, np. w układy umożliwiające recyrkulację płynów technologicznych, instalację odpylającą czy ekrany tłumiące generowany przez nie hałas i drgania.

Interesujące rezultaty w zakresie projektowania proekologicznego uzyskano w wyniku realizacji idei „Czystszej Produkcji” (*Cleaner Production*). Zainicjowana została ona

w Norwegii, a ponieważ uzyskano bardzo zachęcające efekty, rozszerzono jej zakres stosowania. Obecnie jest ona realizowana w skali globalnej – pod auspicjami ONZ. Strategia działania zgodnie z tą ideą preferuje ciągłe stosowanie kompleksowej prewencyjnej strategii ochrony środowiska ograniczającej zagrożenia, jakie niesie ludziom i ich otoczeniu produkcja różnego rodzaju wytworów oraz one same.

Dla procesów wytwórczych „Czystsza Produkcja” oznacza oszczędność surowców, eliminację toksycznych często produktów ubocznych oraz redukcję ilości odpadów i zanieczyszczeń. W odniesieniu do samych produktów omawiana strategia koncentruje się na ograniczeniu ich oddziaływania na środowisko naturalne w całym cyklu istnienia wytworów, od pozyskania surowców poczynając, a kończąc na składowaniu zużytego produktu lub jego elementów. Taka strategia zarządzania środowiskiem naturalnym ogranicza kosztowne usuwanie skutków działalności człowieka, a tym samym czyni ją bardziej efektywną.

W ramach realizacji norwesko-polskiego programu szkoły „Czystszej Produkcji” w bydgoskim ośrodku szkoleniowym NOT zrealizowano 71 projektów usprawniających procesy projektowania, zarządzania i sterowania produkcją realizowanych w ponad 50 zakładach przemysłowych. Wyniki tych działań były bardzo znaczące i to zarówno w niewymiernym

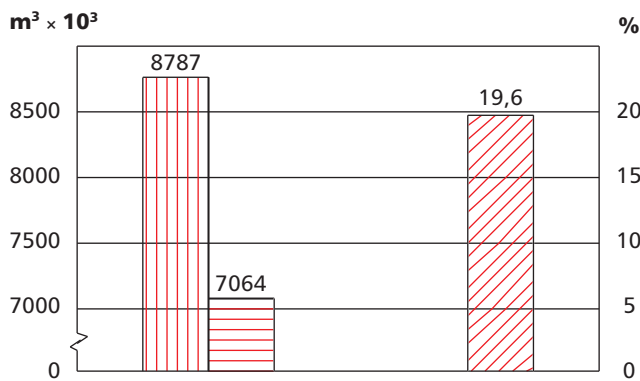


Rys. 2. Zmniejszenie ilości odpadów jako efekt działań proekologicznych; odpady: a) płynne, b) stałe, c) gazowe

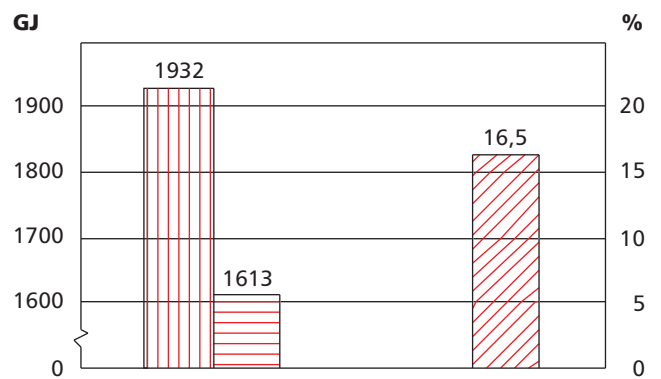
często aspekcie ekologicznym jak i w bardzo wymiernym – ekonomicznym [11]. Uzyskane efekty przedstawiono w formie graficznej na kolejnych rysunkach. Histogramy na rysunkach 2 i 3 przedstawiają kolejno: stan przed i po wdrożeniu idei oraz stwierdzone zmiany wyrażone w procentach.

Na rys. 2 przedstawiono stopień zmniejszenia emitowanych do otoczenia odpadów: stałych, płynnych i gazowych. Łącznie w wyniku realizacji tych projektów do otoczenia przedostało się prawie 200 tys. Mg odpadów mniej, co stanowi zmniejszenie ich o 2,8% w stosunku do stanu pierwotnego. Pozwoliło to z jednej strony odciążyć przepę-

a)



b)



Rys. 3. Efekty zmniejszenia zużycia: wody (a) i energii (b) w rezultacie wdrożenia idei Czystszej produkcji



nione istniejące już składowiska odpadów, z drugiej zaś – oszczędzać nie budując nowych.

Najlepsze rezultaty uzyskano w zakresie ograniczenia odpadów płynnych – ilość odpadów zmniejszono o 6,6%.

W przypadku ograniczenia ilości wody i energii stwierdzone zmiany są dużo większe. Zmniejszenie o prawie 20% zużycia wody – rys. 3a, przy obecnym deficycie wody, który nie zostanie chyba tak szybko zlikwidowany, jest to korzyść ogromna. Pozytywny skutek tego efektu potęgowany jest przez wspomniane wyżej ograniczenie emisji odpadów płynnych, które przenikając do środowiska mogą powodować zagrożenie zanieczyszczenia zasobów wody pitnej.

Zmniejszenie o 16,5% zużycia energii – rys. 3b, ma aspekt zarówno ekologiczny jak i ekonomiczny gdyż pozwala na ograniczenie zużycia surowców energetycznych, a także zmniejszenie zanieczyszczenia środowiska, które najczęściej towarzyszy produkcji energii.

Łącznie wdrożenie opracowanych projektów oprócz korzyści ekologicznych dało wymierny efekt finansowy w kwocie 11,5 milionów złotych. Korzyści ekologiczne są trudniejsze do oszacowania, należy jednak zauważyć, że efekty podjętych dzisiaj działań odczuwalne będą w dłuższym przedziale czasu.

Podsumowanie

Przedstawione powyżej dwie tendencje obserwowane w zakresie twórczych działań inżynierskich nie wyczerpują oczywiście tematu. Są to jednak bardzo charakterystyczne przykłady obserwowane w tej dziedzinie działalności technicznej na przełomie wieków.

Pomimo tego, że istoty obydwóch zaprezentowanych tendencji w działalności inżynierskiej są różne, to jednak korzyści z ich stosowania mają jeden element wspólny. W obu przypadkach stwierdzić można mianowicie korzyści ekologiczne, między innymi w formie mniejszego zużycia surowców energetycznych.

W przypadku pierwszej opisaną zasadą stanowi ona zmianę strategii projektowania i konstruowania maszyn. Zamiast projektowania maszyn uniwersalnych, które mogą spełniać swoje funkcje w bardzo zróżnicowanych warunkach pracy, projektuje się maszyny specjalizowane, przewidziane do pracy w ściśle określonych warunkach, co przynieść powinno korzyści nie tylko ekonomiczne lecz także techniczne. Można ponadto przyjąć, że pozytywne rezultaty jej stosowania stały się przyczynkiem do powstania i rozwoju obrabiarek modułowych. Ich struktura może być tak skonfigurowana, że możliwa będzie realizacja określonych operacji technologicznych w ściśle zdefiniowanych warunkach.

W wyniku przeprowadzonych rozważań stwierdzić można także, że działania proekologiczne są nie tylko słuszne, lecz mogą być także opłacalne. Przytoczone przykłady liczbowe

wyników działań w zakresie drugiej tendencji przejawiającej się w realizacji strategii „Czystszej Produkcji” w pełni powyższe stwierdzenie potwierdzają.

Literatura

1. Bukowski L., Feliks J., Artymiak P.: Badania możliwości wykorzystania sztucznych sieci neuronowych do prognozowania trwałości elementów maszyn. Materiały XVII Sympozjum *Zmęczenia Materiałów i Konstrukcji*. ATR, Bydgoszcz 1998, s. 63-68.
2. Dietrych J.: System i konstrukcja. WNT, Warszawa 1985.
3. Flizikowski J. Projektowanie środowiskowe maszyn. Wydawnictwa Uczelniane ATR, Bydgoszcz 1998.
4. Gleik J.: Chaos. Wydawnictwo Zys i s-ka, Poznań 1996.
5. Góralczyk M., Kulczycka J.: Ekologiczna ocena cyklu życia (LCA) - nową normą z rodziny ISO 14000. Problemy Ekologii nr 4/2001, s. 151-156.
6. Henrykowski W.: Ochrona środowiska a certyfikacja. ABC Jakości nr 4/2006, s.10-18.
7. Latoś H.: Elastyczność geometryczno-kinematyczna narzędzi skrawających. Wydawnictwo Uczelniane ATR, Bydgoszcz 1997.
8. Leahy J.G., Becker A.A.: Three-dimensional Contact Stress Analysis Using the Boundary Element Method. Proceedings of 1st World Tribology Congress. London (UK), 1997, p. 48.
9. Leszek W., Wojciechowicz B.: Próba prognozy perspektywicznych zadań badawczych tribologii. Tribologia nr 4-5 (130-131)/1993, s. 7-20.
10. Matuszewski M., Polishchuk O., Styp-Rekowski M.: Komputerowe wspomaganie działań człowieka w technosferze (CAx). *Obróbka Metalu* nr 4/2019, s. 12-17.
11. Styp-Rekowski M.: Ecologic aspects of manufacturing processes. Proceedings of International Conference *Advances in Production Engineering APE'01*. Warszawa 2001.
12. Styp-Rekowski M.: Ekologiczne uwarunkowania procesów wytwarzania. Materiały XI Międzynarodowej Konferencji „Recykulacja w budowie maszyn”. Wydawnictwo ATR, Bydgoszcz 2001.
13. Styp-Rekowski M.: Niekonwencjonalne tworzywa konstrukcyjne w budowie łożysk tocznych. Materiały VI Konferencji n-t „Wytwarzanie elementów maszyn ze stopów metali o specjalnych właściwościach”. Wydawnictwo Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2001.
14. Tsukamoto N., Kimura Y.: Frictional Properties of Various Kinds of Plastics as Rolling Bearings Material. Proceedings of 1st World Tribology Congress. London (UK) 1997, p.812. ■