

## Marek STEMBALSKI

e-mail: marek.stembalski@pwr.wroc.pl

Instytut Technologii Maszyn i Automatykacji, Wydział Mechaniczny, Politechnika Wroclawska, Wrocław

## Sposoby ograniczenia zużycia energii przez obrabiarki skrawające do metali

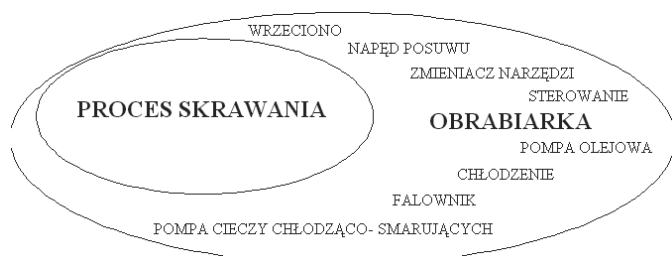
## Wstęp

Najczęściej wykorzystywaną energią w przemyśle jest energia elektryczna. W przemyśle pomimo zwiększonego nacisku na problem energochłonności, sukcesywnie z każdym rokiem, w skali globalnej, rośnie zużycie energii elektrycznej. Szacuje się, że w ubiegłym wieku zanotowano 6-krotny wzrost liczyb ludności na świecie, przy 17-krotnym wzroście zapotrzebowania na energię. Jest to wynikiem ciągłego rozwoju przemysłu a co za tym idzie, zwiększaniem liczby fabryk, a także stopniem automatyzacji produkcji oraz rozwojem nowych technologii wytwórczych. Analizując potrzebę oszczędności energii w przemyśle należy rozpatrzyć dwa aspekty: ekonomiczny i ekologiczny.

Według [1] ceny energii elektrycznej na przełomie lat 2002–2005 wzrosły średnio z 50 do około 80\$/ MWh i sukcesywnie rosną. Innym punktem spojrzenia na problem zwiększającego się zużycia energii elektrycznej oprócz kosztów jest aspekt ochrony środowiska. W procesie wytwarzania energii elektrycznej znacznej degradacji często ulega środowisko, jako efekt uboczny do otoczenia odprowadzane jest ciepło z układów chłodzenia oraz substancje gazowe, pyły, odpady stałe i ciekłe [2].

Celem pracy jest analiza źródeł zużycia energii w obrabiarkach, mechanizmach układów napędowych wrzecion, zespołach roboczych i urządzeniach pomocniczych.

Największe straty mocy występują w silniku i łożyskach wrzecionowych. Obecnie obrabiarki z konwencjonalnymi wrzecionami zostały wyparte przez elektowrzeciona. Miejsca występowania strat w nowoczesnych obrabiarkach obrazuje rys. 1.



Rys. 1. Źródła zużycia energii w nowoczesnych obrabiarkach [3]

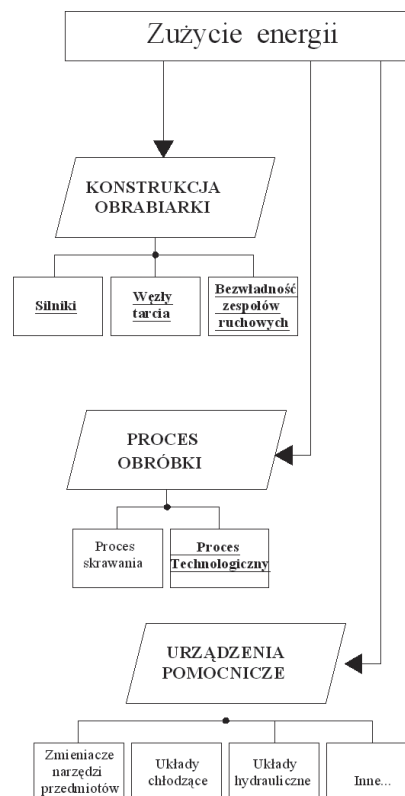
## Straty i sposoby zmniejszania energii

Na wielkość zużycia energii przez obrabiarkę wpływają: cechy konstrukcyjne, realizowany proces obróbki oraz energochłonność urządzeń pomocniczych (Rys. 2).

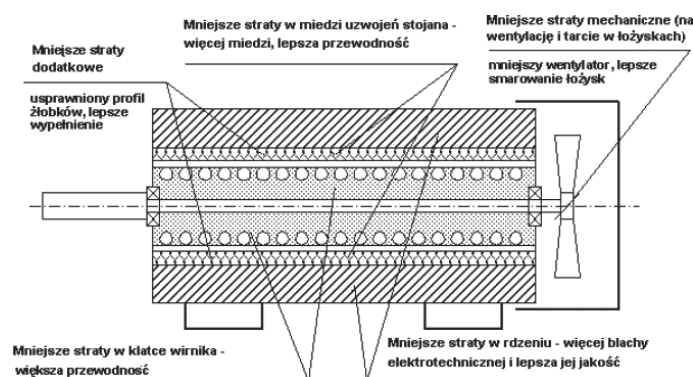
Jednym z obszarów zmniejszania strat energii w procesach wytwórczych jest konstrukcja obrabiarek, w tym głównie silniki elektryczne, przekładnie i łożyska.

Obecnie redukcję strat energii w silniku elektrycznym coraz częściej uzyskuje się przez zastosowanie silników o podwyższonej sprawności tzw. silników energooszczędnych. Zastosowano w nich rozwiązania techniczne zmierzające do zmniejszenia strat energii [4]. Miejsca strat i sposoby ich redukcji obrazuje rys. 3.

Badania prowadzone w Instytucie Technologii Maszyn i Automatykacji Politechniki Wrocławskiej [5] nad modelowaniem i zmniejszaniem strat mocy w łożyskach obrabiarek wykazały, że racjonalne z punktu widzenia zmniejszenia strat mocy, jest znaczne ograniczenie ilości podawanego do nich oleju, jego właściwy dobór, a także stosowanie jako środka smarnego smaru plastycznego.



Rys. 2. Obszary zużycia energii w systemach wytwórczych



Rys. 3. Cechy konstrukcyjne silnika energooszczędnego

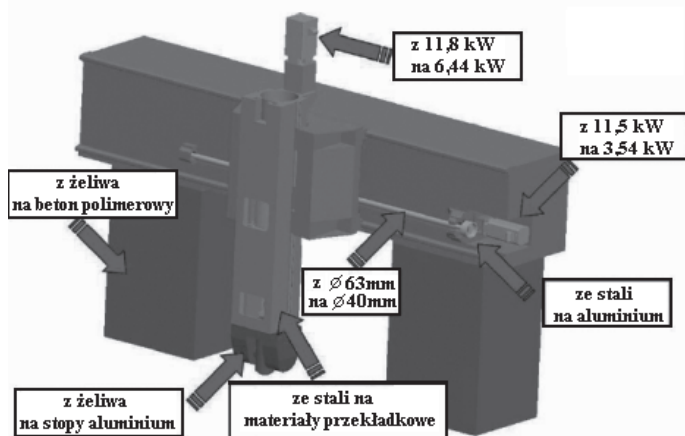
Po węzłach tarcia kolejnym obszarem w którym należałoby szukać oszczędności energii jest proces obróbki. W pracy Pienkowskiego [6] opracowano model wyznaczania energochłonności na podstawie cech przedmiotu obrabianego. Posługując się tym modelem opracowano metodę określania energochłonności wytwarzania konkretnego przedmiotu na etapie planowania procesu technologicznego. Dzięki temu możemy w prosty sposób redukować zużycie energii w procesie obróbki już na tym etapie procesu produkcyjnego.

Następnym obszarem w którym możemy doszukiwać się możliwości redukcji strat w obrabiarkach jest konstrukcja obrabiarek. Wymagania dokładnościowe, stawiane obrabiarkom, prowadzą do tego, że stosuje się układy bardzo sztywne mechanicznie, żeby móc przejąć obciążenia

powstające w czasie pracy. W konsekwencji zwiększa się masę również ruchomych zespołów obrabiarek. Większość masy obrabiarek służy do uzyskania sztywności dynamicznej a tylko niewielka część jest wykorzystana w zadaniach kinematycznych. Z kolei te duże masy potrzebują silników o wysokim momencie obrotowym, które to zużywają najwięcej energii podczas hamowania i przyspieszania. Z literatury znane są próby oszczędności energii w obrabiarkach poprzez redukcję poruszających się mas.

Oszczędność energii dotyczy m.in. międzynarodowy projekt *Ecofit* [7]. Projekt ten miał na celu znaczne zredukowanie mas obrabiarek (około 70% w elementach strukturalnych i systemach napędowych), co miałoby zaowocować zmniejszeniem strat energii o około 30%. Projekt *Ecofit* definiuje nowe generacje obrabiarek, w których zredukowano masę obrabiarki nie pogarszając przy tym jej dokładności. Zostało to zrealizowane poprzez wprowadzenie mechatronicznych układów kompensujących drgania, które zwiększyły się w momencie zmniejszenia mas a tym samym sztywności. W tym projekcie [8] zastosowano dwie strategię. Po pierwsze materiały powszechnie stosowane przy konstrukcji obrabiarek zastąpiono materiałami lżejszymi. Po drugie podjęto optymalizację struktury, która pozwala na zaoszczędzenie materiałów. Konwencjonalne materiały zastąpiono przez stopy aluminium, stopy tytanu, beton polimerowy (najczęściej stosowany na łoża obrabiarek), ceramikę techniczną, tworzywa wzmocnione włóknami węglowymi oraz materiały przekładkowe (część zewnętrzna ze stali, rdzeń wykonany z pianki aluminiowej).

Jeżeli chodzi o pierwszą strategię, którą była optymalizacja struktury, to oprócz zastąpienia ciężkich tworzyw materiałami lżejszymi starano się doprowadzić do optymalizacji struktury poprzez redukcję masy poruszających się zespołów, przy możliwie niezmiennych właściwościach statycznych i dynamicznych. Wyniki wdrażania obydwu strategii do obrabiarki firmy *Nicolas Correa* prezentuje rys. 4. W obrabiarence tej wykonano łoża z betonu polimerowego. Korpus wrzeciennika został wykonany jako konstrukcje przekładkowe, co zmniejszyło jego masę i pozwoliło na zastosowanie mniejszego silnika. Podobnie zmodyfikowano również śrubę pociągową: zmieniono masę i przekrój, co pozwoliło na zastosowanie silnika o mniejszej mocy.



Rys. 4. Obrabiarka zmodyfikowana w ramach programu *Ecofit*

Oprócz wyżej wymienionych sposobów zmniejszenia zużycia energii, zostały podjęte próby redukcji energii, poprzez „dematerializację” struktury obrabiarek. Obecnie w fazie rozwoju jest kolejny projekt – DEMAT [9]. Czas realizacji projektu przypada na lata 2009–2012. Nazwa projektu – DEMAT jest skrótem od *Dematerialised Production System*. Głównymi celami projektu jest zmniejszenie mas elementów obrabi-

rek, przy zachowaniu dokładności procesu obróbki. Zdaniem twórców projektu poprzez zmniejszenie masy uzyskamy znaczną oszczędność energii w obrabiarkach. Owa dematerializacja miałaby być realizowana dzięki modułom o budowie szkieletowej, wyposażonym w sensory i akuatatory przy zastosowaniu metod sztucznej inteligencji oraz odpowiednich strategii sterowania.

Dodatkowo w obszarze konstrukcji obrabiarek oprócz zmniejszania mas, zaczęto szukać oszczędności energii w sterowaniu funkcjami obrabiarek jak i przebiegiem procesu produkcyjnego. W tym celu obecnie (2009–2015) jest realizowany projekt ECOMATION [10]. Głównym zadaniem projektu jest opracowanie, dla technik wytwarzania, metod oszczędności energii właśnie dzięki sterowaniu. Zużycie energii przez pojedynczą obrabiarkę można bowiem zminimalizować poprzez zoptymalizowane sterowanie wejść w maszynowym obiegu energetycznym. Ponadto opracowane zostaną metody wyznaczania zużycia energii oraz efektywności źródeł bazujące na sygnałach maszynowych uzyskanych za pośrednictwem oprogramowania przy minimalnym stosowaniu dodatkowej sensoryki.

## Podsumowanie

Jak wynika z powyższego, zagadnienie oszczędności energii w obrabiarkach jest ważnym tematem, o czym świadczą liczne międzynarodowe projekty. Jest wiele sposobów na redukcję strat energetycznych w obrabiarkach. W niniejszej pracy zostały one podzielone na trzy główne obszary.

1. Węzły tarcia: największe straty energii generowane są w silnikach i łożyskach (szczególnie wrzecionowych). Silniki: redukcję strat w tych obszarach uzyskujemy poprzez zastosowanie silników energooszczędnych. Łożyska: odpowiednie smarowanie zapewniające minimalne straty mocy.
2. Proces obróbki: redukcja strat energii już na etapie planowania procesu produkcyjnego.
3. Konstrukcja obrabiarki: redukcja poprzez zmniejszenie ruchomych mas elementów obrabiarek, zmianę struktury (np. struktura szkieletowa), odpowiednie układy sterowania.

## LITERATURA

- [1] Z. Grudziński: *Polityka Energetyczna*, tom 1, zeszyt 1, 2006.
- [2] J. Flizikowski, K. Bieliński: *Projektowanie środowiskowych procesów energii*. Wydawnictwa Uczelniane Akademii Techniczno-Rolniczej, Bydgoszcz 2000.
- [3] H. Schultz, E. Schiefer: *Werkstattstechnik*, 89 (1999).
- [4] Portal Efektywności Energetycznej w Napędach Elektrycznych PEMP (2009-07-21): [http://www.portal.pemp.pl/biblioteka/artykuly/jak\\_oszczedzac\\_jb.pdf](http://www.portal.pemp.pl/biblioteka/artykuly/jak_oszczedzac_jb.pdf)  
J. Buczek: *Napędy i Sterowanie*, nr 7-8, 39 (2006).
- [5] S. Mekid: *Introduction to precision machine design and error assessment*, CRC Press Taylor & Francis Group, New York 2009.
- [6] G. Pieńkowski: *Ocena energochłonności operacji obróbki ubytkowej*, Praca doktorska, Politechnika Wroclawska, Wroclaw 2006.
- [7] <http://www.ist-world.org/ProjectDetails.aspx?ProjectId=e8c33901a4644e3fb5a2b9178a6f8950>
- [8] P. Sekler, A. Dietmair, A. Dadalau, H.R udele, J. Zulaika, J. Smolik, A. Bustillo: *Energieeffiziente Maschine durch Massenreduktion*. *Werkstattstechnik online Jahrgang 97*, H.5, 320 (2007).
- [9] <http://www.isw.uni-stuttgart.de/forschung/oeffentliche-projekte-laufend/eu-fp7-projekt-demat/>
- [10] <http://www.isw.uni-stuttgart.de/forschung/oeffentliche-projekte-laufend/dfg-forscherguppe-ecomation/>