

Metoda identyfikacji sygnałów mocy zasilania w badaniach energochłonności obrabiarek

The method of identification of power supply signals in energy consumption testing of machine tools

ANDRZEJ ROSZKOWSKI
WACŁAW SKOCZYŃSKI
MICHAŁ FOREMNIAK
PAWEŁ PIÓRKOWSKI
WOJCIECH BORKOWSKI
TOMASZ JANKOWSKI*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2019.1.6>

Przedstawiono opracowaną metodę identyfikacji sygnału z analizatora sieci zasilania na przykładzie frezarki sterowanej numerycznie. Otrzymane wyniki umożliwiają obserwację wpływu zużywających się ostrzy skrawających na wartość mocy pobieranej przez obrabiarkę z sieci w trakcie realizowania na niej różnych zabiegów.

SŁOWA KLUCZOWE: energochłonność, identyfikacja sygnałów, obrabiarka

The developed method of identifying the signal from the power network analyzer on the example of a numerically controlled milling machine is presented. Obtained results allow observation of the impact of the condition of cutting edges on the value of power consumption by the machine tool from the network, for individual treatments performed on the milling machine under tests.

KEYWORDS: power consumption, signal identification, machine tool

Cena jest jednym z wyznaczników atrakcyjności produktów. Z tego powodu analizuje się wpływ elementów procesu wytwórczego na całkowity koszt wyrobu. Bierze się pod uwagę: dobór materiału, postać półfabrykatu, rodzaje narzędzi, parametry skrawania, rodzaje obróbki, zastosowane obrabiarki, sposób konfekcjonowania itp.

Bardzo często pomijana jest w tych analizach kwestia energochłonności. Nie bada się wpływu poszczególnych elementów procesu wytwórczego, a zwłaszcza technologicznego na energochłonność w warunkach przemysłowych. Chociaż istnieje aparatura do pomiaru parametrów sieci elektrycznej, to analiza tych parametrów zmierzonych na obrabiarce podczas realizacji procesów produkcyjnych jest trudna do interpretacji i czasochłonna [1–4].

W dobie rosnących cen surowców energetycznych oraz coraz większej świadomości szkodliwego oddziaływania produkcji energii elektrycznej na środowisko naturalne

powstaje potrzeba opracowania narzędzia, które umożliwi przewidywanie zapotrzebowania na energię elektryczną na etapie projektowania procesu technologicznego.

Znany jest wpływ parametrów obróbki na energochłonność, jednak trudna wydaje się odpowiedź na pytanie, ile dokładnie ona wynosi i jak się zmienia w zależności od stanu ostrza skrawającego, temperatury, rodzaju czy stanu technicznego obrabiarki [3, 5, 6].

W związku z tym w zakładzie produkcyjnym przeprowadzono pomiary poboru mocy przez obrabiarkę w trakcie wielodniowego cyklu produkcyjnego. Analiza takiego sygnału okazała się bardzo czasochłonna. Celem pracy było opracowanie metody umożliwiającej wyselekcjonowanie z zarejestrowanego sygnału poboru mocy przebiegów odpowiadających określonym cyklom i zabiegom obróbkowym, które pozwolą na zbadanie zmian energochłonności zabiegów obróbkowych w czasie.

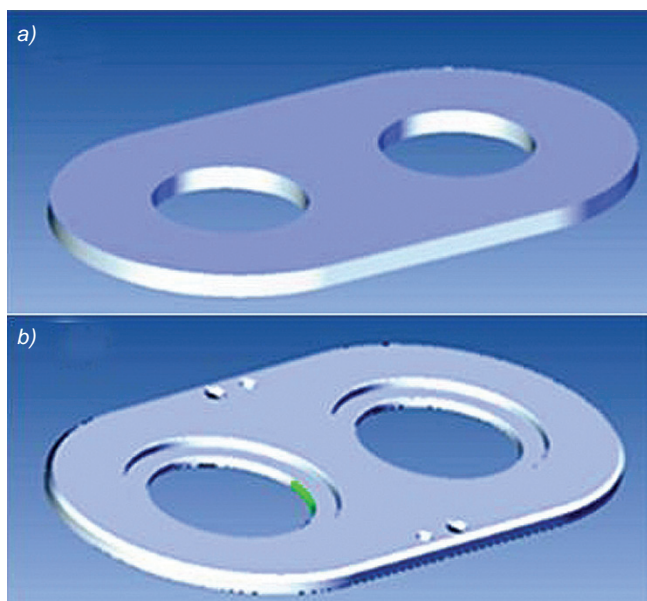
Analiza sieci zasilania

Aby zarejestrować przebieg poboru mocy przez sterowaną numerycznie frezarkę HAAS model VF7 (rys. 1), przeprowadzono pomiary z użyciem analizatora jakości zasilania PQM-701 firmy Sonel. Na frezarce zamocowano i obrabiano półfabrykat (rys. 2). Podczas badań obrabiano tylko ten typ przedmiotu.



Rys. 1. Frezarka HAAS model VF7 wykorzystana w badaniach energochłonności

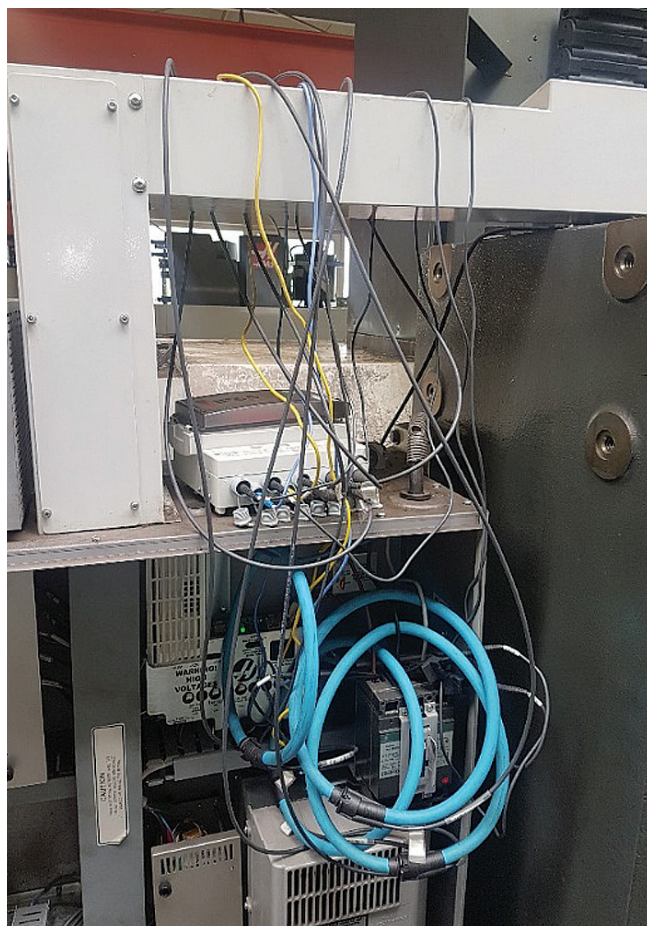
* Dr inż. Andrzej Roszkowski (andrzej.roszkowski@pwr.edu.pl), dr hab. inż. Wacław Skoczyński prof. nadzw. PWr (waclaw.skoczyński@pwr.edu.pl), mgr inż. Michał Foremniak (michal.foremniak@pwr.edu.pl), mgr inż. Paweł Piórkowski (pawel.piorkowski@pwr.edu.pl), mgr inż. Wojciech Borkowski (wojciech.borkowski@pwr.edu.pl), dr inż. Tomasz Jankowski (tomasz.jankowski@pwr.edu.pl) – Katedra Obrabiarek i Technologii Mechanicznych, Wydział Mechaniczny Politechniki Wrocławskiej



Rys. 2. Model obrabianego przedmiotu wykorzystanego w badaniach energochłonności: a) półfabrykat, b) gotowy wyrób

Analizator PQM-701 umożliwia rejestrację wielu parametrów sieci elektrycznej na karcie SD. Do pomiaru natężenia prądu elektrycznego wykorzystuje się cęgi elastyczne (cewki Rogowskiego), a do pomiaru napięcia – oddzielne przewody zakończone zaciskami krokodylkowymi.

Na rys. 3 pokazano podłączony analizator. Akwizycję zrealizowano z częstotliwością próbkowania 5 Hz.



Rys. 3. Szafa sterownicza frezarki z podłączonym analizatorem PQM-701

Cykl obróbkowy wyrobu składał się z 11 zabiegów, w których wykorzystywano 11 narzędzi (głowice frezarskie, wiertła, pogłębiacze i wygniatak). W trakcie pomiarów zarejestrowano pobór mocy rzeczywistej frezarki. Pomiar trwał nieprzerwanie przez kilka dni. W ten sposób powstał plik ze znaczną liczbą danych.

Schemat działania algorytmu do analizy sygnału

Próby ręcznego wyodrębnienia zabiegów obróbkowych okazały się bardzo czasochłonne. Opracowano więc schemat postępowania z wykorzystaniem oprogramowania MATLAB. Algorytm działań przedstawiono na rys. 4.

Procedurę analizy danych należy rozpocząć od sformatowania pliku danych, który będzie możliwy do wczytania przez program MATLAB. W tym celu należy z programu Analiza firmy Sonel, służącego do obsługi analizatora, skopiować do pliku tekstowego odpowiednie kolumny danych (o czasie i mocy), a następnie zamienić kropki dziesiętne na przecinki.

Głównym problemem, który się pojawia podczas próby analizy sygnału, jest bardzo duża liczba danych. Przy częstotliwości próbkowania wynoszącej pięć próbek na sekundę dla każdej mierzonej wielkości zapisuje się 432 000 wartości w ciągu doby. Drugim problemem – jaki się pojawia w takich badaniach – jest nieprzerwana rejestracja danych, która powoduje, że znaczna część sygnału jest zbędna. Przy tak dużych zbiorach danych trudno się obyć bez algorytmu, który usunie niepotrzebne informacje.

W przypadku zbioru danych, który był przyczynkiem do stworzenia niniejszego algorytmu, oprócz operacji obróbki skrawaniem rejestrowano także przestoje obrabiarki spowodowane awariami albo wymianami narzędzi, które nie były częścią cyklu obróbki.

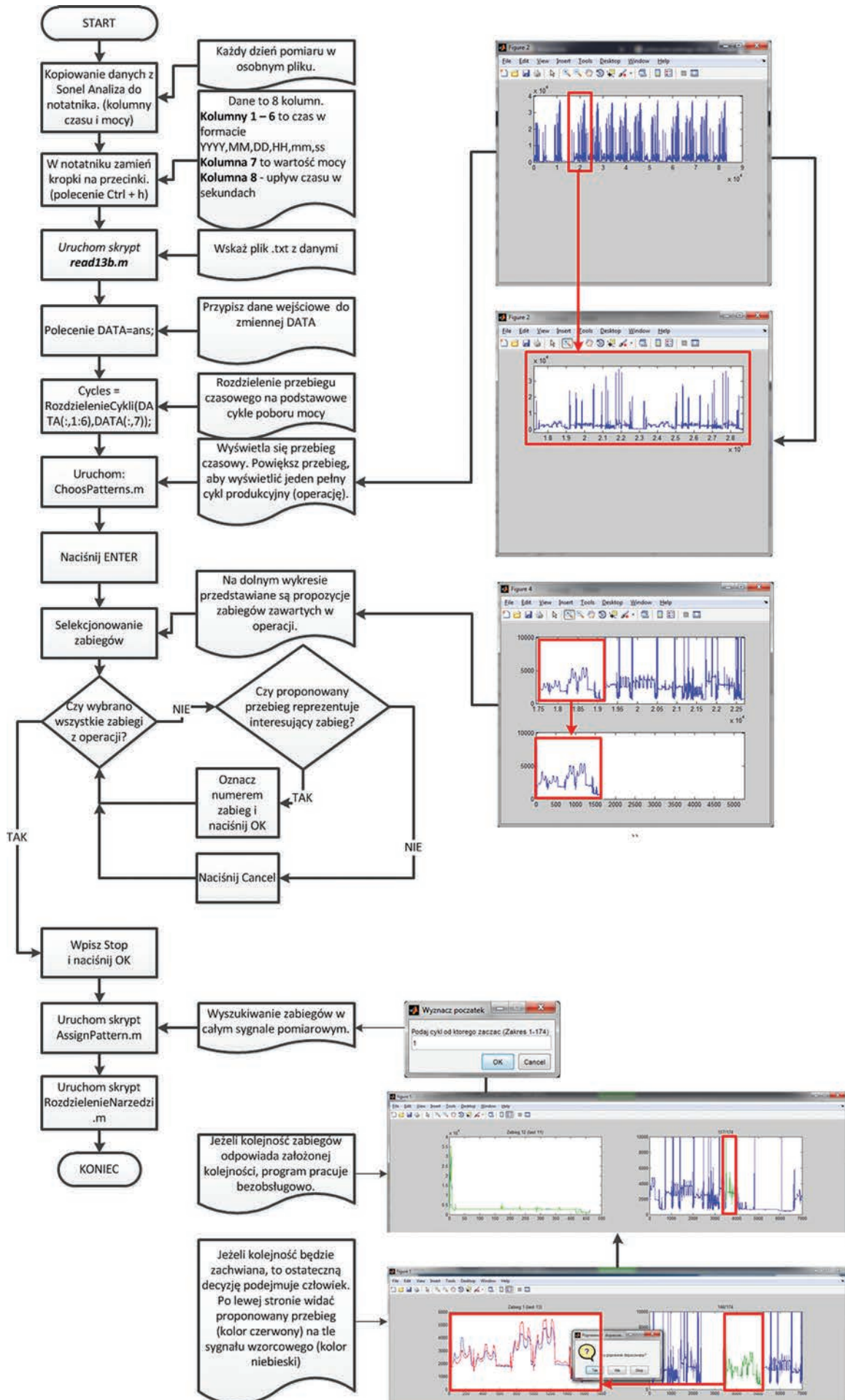
Opracowano skrypt oparty na działaniu filtra różniczkowego. Efektem jego działania był sygnał zawierający wyłącznie dane z obróbki skrawaniem przedmiotu obrabianego. Gdy wartość progowa różniczki zarejestrowanego sygnału mocy pobieranej w czasie badań przekraczała założony próg, sygnał z tego zakresu usuwano.

Kolejnym krokiem działania algorytmu jest zidentyfikowanie w sygnale poszczególnych zabiegów wykonywanych w cyklu wytwarzania przedmiotu. W analizowanym przypadku na kompletną obróbkę składa się skrawanie z użyciem 11 narzędzi.

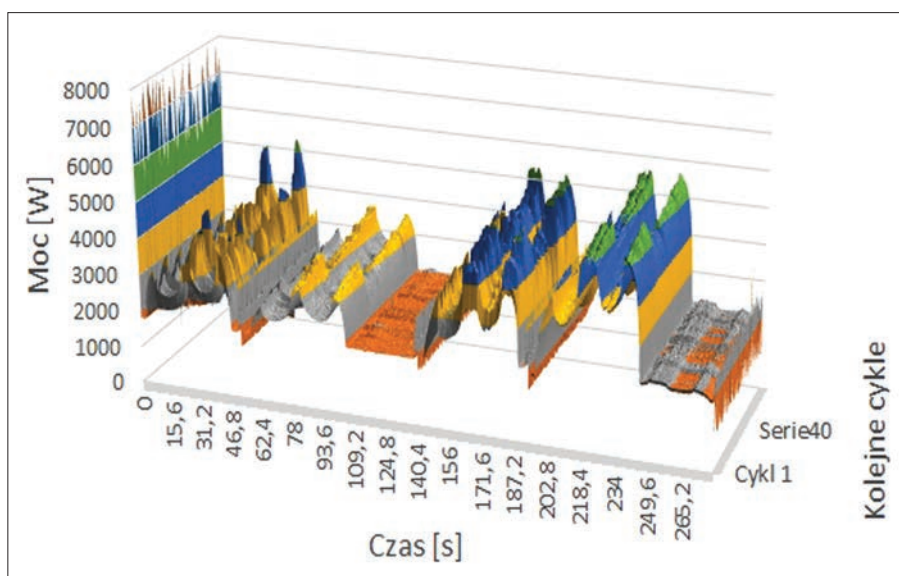
Każde narzędzie generuje inny przebieg mocy w funkcji czasu. Ponadto każde narzędzie generuje tyle sygnałów, ile gotowych wyrobów wykonano w analizowanym czasie. Celem kolejnego kroku działania algorytmu jest zatem określenie, którym narzędziom odpowiadają kolejne fragmenty sygnału.

W tym celu należy z całego sygnału wyciąć sygnał odpowiadający obróbce pierwszej sztuki wyrobu i na podstawie analizy programu obróbkowego określić czasy pracy narzędzi oraz czasy konieczne na wymianę narzędzi. W ten sposób można ręcznie przypisać każdemu z 11 narzędzi odpowiadający mu fragment sygnału. Te 11 przebiegów sygnału dla pierwszego cyklu wytwarzania przedmiotu tworzy przebiegi reprezentatywne.

Działanie skryptu polega na porównywaniu zmierzonego sygnału z przebiegami reprezentatywnymi. Jeżeli analizowany fragment sygnału jest podobny do przebiegu reprezentatywnego, przypisywane jest mu odpowiednie narzędzie. W pojedynczych przypadkach, gdy różnice między zmierzonym sygnałem a przebiegiem reprezentatywnym są na tyle duże, że nie jest możliwe automatyczne powiązanie narzędzia z fragmentem sygnału, użytkownik



Rys. 4. Schemat postępowania przy analizie długotrwałego pomiaru sygnału przebiegu mocy pobieranej przez obrabiarkę



Rys. 5. Zestawienie przebiegów poboru mocy dla pełnych cykli obróbki 78 przedmiotów

sam o tym decyduje. Efektem działania skryptu jest przypisanie do poszczególnych fragmentów sygnału odpowiednich narzędzi.

Ostatnim etapem działania aplikacji jest rozdzielanie zmierzonego sygnału na 11 tabel odpowiadających 11 narzędziom wykorzystanym podczas obróbki skrawaniem gotowego wyrobu. Za pomocą skryptu uzyskuje się na wyjściu 11 macierzy dwuwymiarowych, w których znajdują się dane dotyczące poboru mocy z założoną częstotliwością próbkowania wraz z przypisanym do tej energii numerem obrabianego przedmiotu. W efekcie otrzymuje się zestaw danych dla pojedynczego narzędzia i pojedynczego przedmiotu, który może zostać poddany dalszej analizie. Taki zestaw przedstawiono na rys. 5.

Zaproponowany algorytm jest dość uniwersalny, gdyż za jego pomocą można filtrować sygnał z każdej obrabiarki i każdego procesu technologicznego, pod warunkiem że na danej maszynie obrabiany jest przez cały czas ten sam przedmiot. Dostosowanie działania algorytmu do procesu technologicznego polega wyłącznie na ustaleniu odpowiedniej wartości progowej różniczki. Dzięki temu można badać dowolny proces obróbki skrawaniem oraz na bieżąco monitorować energochłonność obrabiarki. Analiza danych staje się o wiele łatwiejsza, a gromadzenie dużej ilości informacji związanych z energochłonnością procesu skrawania przestaje być poważnym problemem.

Podsumowanie

Dzięki coraz bardziej zaawansowanym technikom i metodom gromadzenia informacji częstym problemem staje się odnalezienie w dużych zbiorach danych najważniejszych z punktu widzenia użytkownika informacji. Filtrowanie sygnałów oraz wykonywanie przekształceń na zmierzonych sygnałach, które często zawierają miliony pojedynczych danych, skutkuje potrzebą znalezienia rozwiązań ułatwiających wykonanie odpowiednich analiz takich zbiorów danych.

Rozwiązaniem, które pozwala przeprowadzać takie analizy, jest zaprezentowany algorytm. W znacznym stopniu ułatwia on odnalezienie najważniejszych informacji w sygnale zawierającym dane na temat poboru mocy przez obrabiarkę, zarejestrowane z określoną częstotliwością próbkowania.

Przedstawiona aplikacja usuwa niepotrzebne części sygnału, dzięki czemu skraca go o kilkadziesiąt procent. Przypisuje fragmenty sygnału do konkretnych, rzeczywistych zabiegów obróbkowych oraz narzędzi, którymi są wykonywane, a także porządkuje zgromadzone dane. Rezultatem działania opracowanego algorytmu jest zbiór tabel z wartościami poboru mocy przez obrabiarkę przypisanymi do odpowiednich narzędzi i ustawionymi zgodnie z kolejnością wykonywania zabiegów podczas obróbki skrawaniem analizowanego przedmiotu.

Algorytm postępowania z analizą przebiegów czasowych pobranej mocy działa poprawnie. Pozwolił na znaczące zaoszczędzenie czasu dzięki wyeliminowaniu konieczności ręcznego poszukiwania początku i końca interesujących zabiegów oraz operacji w całym, długotrwałym sygnale. Uporządkowane dzięki algorytmowi dane mogą być bazą do określenia m.in. kosztów energii elektrycznej każdego zabiegu i wydajności energetycznej obróbki. Mogą również umożliwić stworzenie systemu monitorującego pobór energii w całym zakładzie. Monitorowanie poboru mocy podczas obróbki poszczególnymi narzędziami może być przydatne do oceny stanu zużycia krawędzi skrawających tych narzędzi jako jeden z parametrów układów diagnostyki i nadzoru w elastycznie zautomatyzowanych systemach wytwórczych.

LITERATURA

1. Chudy R., Grzesik W. „Możliwości zmniejszenia energochłonności obróbki sekwencyjnej stali utwardzonej”. *Mechanik*. 10 (2016): s. 1462–1463.
2. Terelak-Tymczyna A., Miądlicki K., Nowak M. „Efektywność energetyczna procesu obróbki skrawaniem na przykładzie toczenia”. *Mechanik*. 10 (2016): s. 1308–1309.
3. Pieńkowski G., Krzyżanowski J., Mączka J. „Problem oceny energochłonności wyrobów wytwarzanych metodami obróbki ubytkowej”. *Przegląd Mechaniczny*. 11 (2005): s. 20–25.
4. Stembalski M. „Sposoby ograniczenia zużycia energii przez obrabiarki skrawające do metali”. *Inż. Ap. Chem.* 49, 5 (2010): s. 107–108.
5. Behrendt T., Zein A., Min S. „Development of an energy consumption monitoring procedure for machine tools”. *CIRP – Annals Manufacturing Technology*. 61 (2012): s. 43–46.
6. Hae-Sung Y., Jang-Yeob L., Min-Soo K, Sung-Hoon A. „Empirical power-consumption model for material removal in three-axis milling”. *Journal of Cleaner Production*. 78 (2014): s. 54–62.