

PLANOWANIE PROCESU PRODUKCYJNEGO ZORIENTOWANE NA EFEKTYWNOŚĆ ENERGETYCZNĄ

Agnieszka TERELAK-TYMCZYNA, Andrzej JARDZIOCH, Agata BINIEK

Streszczenie: Efektywność energetyczna jest jednym z najistotniejszych problemów zarządzania współczesnymi przedsiębiorstwami produkcyjnymi. Artykuł przedstawia wykorzystanie planowania procesu produkcji zorientowanego na poprawę efektywności energetycznej. W pracy przedstawiono wyniki badań symulacyjnych przeprowadzonych dla procesu wytwarzania wyrobów metalowych.

Słowa kluczowe: efektywność energetyczna, planowanie produkcji, obróbka skrawaniem

1. Wstęp

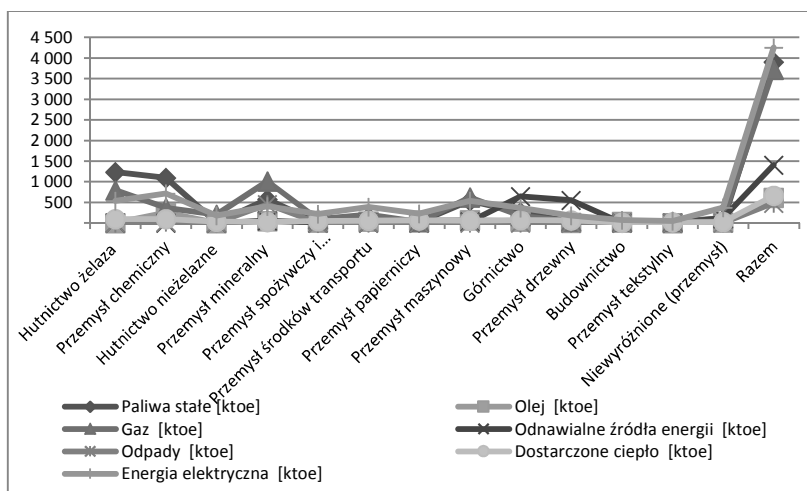
Przedsiębiorstwa coraz częściej zauważają konieczność nadążania za zmieniającymi się przepisami w zakresie efektywności energetycznej [1]. Ustawa z dnia 20 maja 2016 r. o efektywności energetycznej nakłada na przedsiębiorcę w rozumieniu ustawy z dnia 2 lipca 2004 r. o swobodzie działalności gospodarczej (Dz. U. z 2016 r. poz. 1829, z późn. zm.), z wyjątkiem mikroprzedsiębiorcy, małego lub średniego przedsiębiorcy w rozumieniu art. 104–106 tej ustawy, obowiązek przeprowadzania co 4 lata audytu energetycznego przedsiębiorstwa lub zlecenia jego przeprowadzenia.

Jednym ze sposobów poprawy efektywności energetycznej procesów produkcyjnych jest wprowadzenie systemu planowania produkcji nadzorującego przepływ strumieni energetycznych.

Do głównych strumieni energetycznych wykorzystywanych w procesach produkcyjnych zaliczyć można:

1. po stronie pierwotnej
 - a. energię chemiczną paliw,
 - b. energię słońca,
 - c. energię geotermiczną,
 - d. energię geotermalną,
 - e. wodę,
2. po stronie wtórnej
 - a. energię cieplną,
 - b. energię elektryczną,
 - c. sprężone powietrze.

Analizując dane statystyczne (rys. 1) można zauważyć, że głównym strumieniem energetycznym wykorzystywanym w przedsiębiorstwach produkcyjnych jest energia elektryczna oraz energia chemiczna paliw stałych i gazowych.



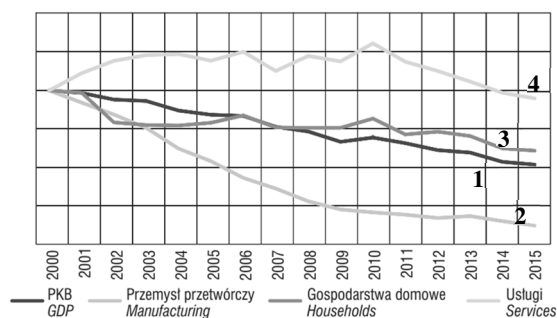
Rys. 1. Rodzaje energii wykorzystywanej w procesach przemysłowych
Źródło: [2]

Energia elektryczna w procesach produkcyjnych wykorzystywana jest głównie do zasilania napędów elektrycznych w maszynach, oświetlenia hali produkcyjnej, wytwarzania sprężonego powietrza, wentylacji.

W literaturze przedmiotu pojawiło się szereg publikacji traktujących o wykorzystaniu energii elektrycznej w procesach produkcyjnych [3-7]. Zgodnie z informacjami zawartymi w [5, 6] efektywność energetyczna procesu obróbki skrawaniem przejawia się w takich zagadnieniach jak:

- efektywność energetyczna maszyn do obróbki skrawaniem,
- modelowanie procesów technologicznych,
- dobór warunków obróbki na podstawie zużycia energii.

Analizując wskaźnik energochłonności procesów (rys. 2) możemy zauważyć tendencję spadkową dla procesów wykorzystywanych w przemyśle przetwórczym (2), co świadczy o zaawansowaniu prac dotyczących zmniejszenia zużycia energii w procesach wytwórczych.



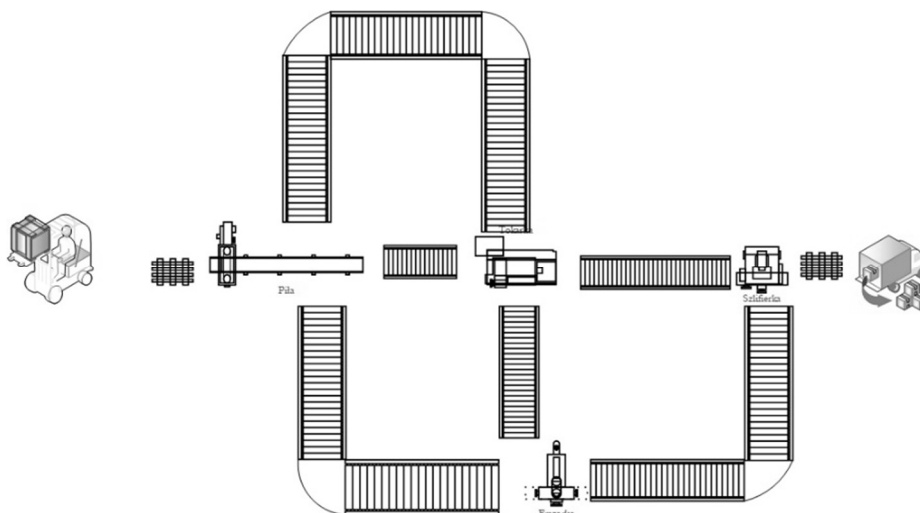
Rys. 2. Wskaźnik energochłonności
Źródło: [8]

Celem pracy jest przedstawienie wpływu procesu planowania przepływu zleceń produkcyjnych w przedsiębiorstwie na oszczędność energii elektrycznej.

2. Analiza procesu produkcyjnego

Analizie poddano proces produkcji produktów wytwarzanych z półfabrykatów typu odkuwka, takich jak: wałek, tarcza i tuleja. Produkcja odbywa się w linii produkcyjnej połączonej przenośnikami rolkowymi (rys. 3). Każda z maszyn obsługiwana jest przez jednego operatora. Praca odbywa się w systemie pracy ciągłej. Pracownicy pracują po 8 godzin z 30 minutową przerwą. W gnieździe znajdują się następujące maszyny:

1. piła,
2. tokarka,
3. frezarka,
4. szlifierka,
5. 6 przenośników rolkowych.



Rys. 3. Schemat rozmieszczenia maszyn w analizowanym gnieździe produkcyjnym

W systemie realizowane są cztery różne zlecenia produkcyjne (A, B, C, D). Dla każdego zlecenia określone zostały marszruty technologiczne oraz czasy obróbki na poszczególnych maszynach (tab.1). Pusty wiersz w tabeli 1 oznacza, że dane zlecenie nie jest realizowane na danym stanowisku.

W artykule określono efektywność energetyczną procesu produkcyjnego. Poprzez efektywność energetyczną procesu produkcyjnego autorzy rozumieją stosunek ilości energii potrzebnej do realizacji procesu do ilości wyprodukowanych wyrobów zgodnie ze wzorem (1).

$$SEC = \frac{E}{n} \left[\frac{kWh}{szt.} \right] \quad (1)$$

gdzie: E – energia dostarczona do produkcji w czasie t,
n – ilość wyprodukowanych wyrobów w czasie t.

Efektywność energetyczna skorelowana jest z wielkością emisji zanieczyszczeń, a więc może być także miarą charakteryzującą negatywny wpływ procesu produkcyjnego na środowisko naturalne.

Tab. 1. Charakterystyka zleceń

Charakterystyka	Zlecenie			
	A	B	C	D
Czasy przygotowawczo-zakończeniowe [min]				
Piła	10		10	
Tokarka	20	20		20
Frezarka	20	20	20	
Szlifierka	10	10	10	10
Czasy obróbki [min]				
Piła	2:30		2:20	
Tokarka	3:40	4:20		3:30
Frezarka	4:00	5:30	4:10	
Szlifierka	5:20	3:40	4:00	5:20

W celu określenia zużycia energii elektrycznej w trakcie realizowanego procesu produkcyjnego zmierzono ilość energii elektrycznej pobieranej przez maszyny w trakcie obróbki, przezbrajania oraz w czasie pracy bez obciążenia, tzw. biegu maszyny luzem. Korzystając z przeprowadzonych badań zużycia energii elektrycznej przez maszyny do obróbki skrawaniem przyjęto wielkości mocy dla poszczególnych maszyn przedstawione w tabeli 2.

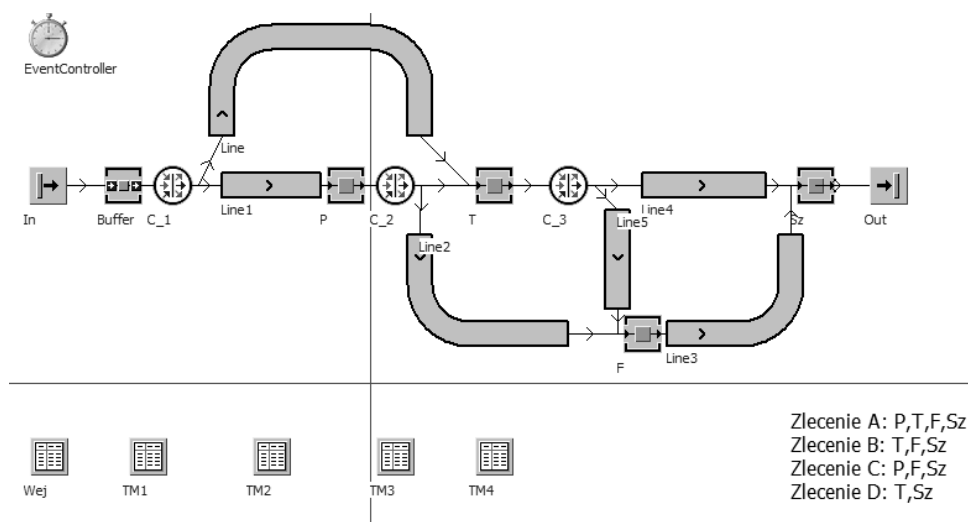
Dla przerośników rolkowych przyjęto, że dla każdego z 6 przerośników zastosowano napęd elektryczny o mocy znamionowej 0,33 kW na każde 5 metrów przerośnika. Przyjęto współczynnik wykorzystania mocy silnika na poziomie 70% (0,23 kW) dla pracy z obciążeniem oraz 20 % (0,07kW) dla biegu jałowego bez obciążenia. Ponadto przyjęto prędkość przerośnika rolkowego na poziomie 0,2 m/s.

Tab. 2. Wielkości mocy przyjęte do obliczeń dla każdej z maszyn.

Nazwa parametru	Urządzenia				
	Piła [kW]	Tokarka [kW]	Frezarka [kW]	Szlifierka [kW]	Przerośnik rolkowy [kW/5 m przerośnika]
Energia pobierana w trakcie pracy maszyny bez obciążenia	1,2	4,9	6,24	4	0,07
Energia pobierana w trakcie czasu przygotowawczo-zakończeniowego	1,275	5,2	6,6	4,25	-
Energia pobierana w trakcie obróbki detalu	2,25	9,3	11,7	7,5	0,23

3. Model symulacyjny

Model symulacyjny został wykonany w programie Plant Simulation 14. Schemat przemieszczania się wyrobów w gnieździe produkcyjnym został przedstawiony na rysunku 4.



Rys. 4. Schemat przemieszczania się wyrobów w gnieździe produkcyjnym

Podczas planowania procesu produkcyjnego niewątpliwie ważnym elementem jest szeregowanie zleceń. W analizowanym przypadku mamy do czynienia z czterema zleceniami, dlatego też przyjęto pełny plan badań i przeprowadzono 24 symulacje, dla dwóch rodzajów przepływu produkcji:

- całą serią,
- „przepływu jednej sztuki”.

Produkcja całą serią rozumiana jest jako wyprodukowanie 50 szt. wyrobów. Po ukończeniu produkcji ostatniego wyrobu następuje zwolnienie całej serii i przekazanie na kolejne stanowisko. Natomiast w przypadku „przepływu jednej sztuki”, wyrób jest przekazywany na kolejne stanowisko od razu po obróbce.

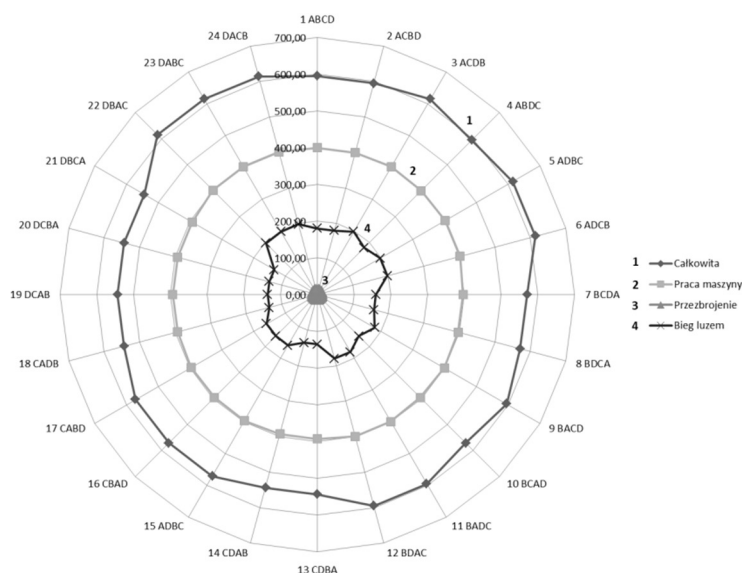
W obu przypadkach wielkość serii produkcyjnej wynosiła 50 sztuk wyrobów, dla każdej serii. Badania symulacyjne przeprowadzono w celu określenia ilości energii potrzebnej do wytworzenia serii produkcyjnej.

Wyniki poszczególnych symulacji z uwzględnieniem przepływu całej serii (50 szt. jednorazowo) oraz w partiach transportowych po jednej sztuce przedstawiono odpowiednio na rysunkach 5 i 6.

W przypadku produkcji jednorazowo całej serii produkcyjnej, najlepsze wyniki uzyskano dla 5 uszeregowień (tab. 3). Dla produkcji w partiach transportowych po jednej sztuce najlepszy wynik uzyskano tylko dla jednego uszeregowania. Szczegółowe dane przedstawiono w tabeli 3.

Tab. 3. Zestawienie wyników symulacji dla najbardziej efektywnej energetycznie kolejności zleceń

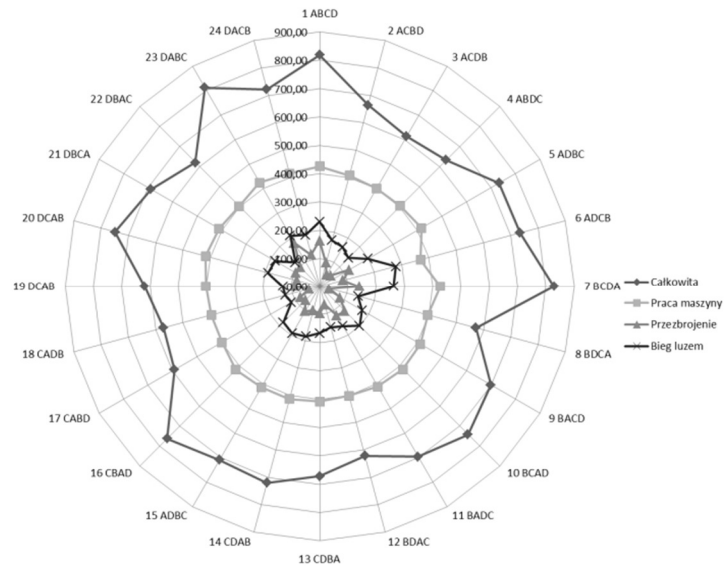
Nr.	Kolejność zleceń	SEC [kWh/szt.]	Energia [kWh]			
			Całkowita	Praca maszyny	Przezbrojeenie	Bieg luzem
Produkcją całej serii						
13	CDBA	10,87	543,64	393,00	15,06	135,58
14	CDAB	10,87	543,64	393,00	15,06	135,58
19	DCAB	10,87	543,64	393,00	15,06	135,58
20	DCBA	10,87	543,64	393,00	15,06	135,58
21	DBCA	10,87	543,64	393,00	15,06	135,58
Przeptyw jednej sztuki						
18	CADB	11,43	571,34	396,17	38,75	124,99



Rys. 5. Wykorzystanie energii elektrycznej dla produkcji całej serii wyrobów-

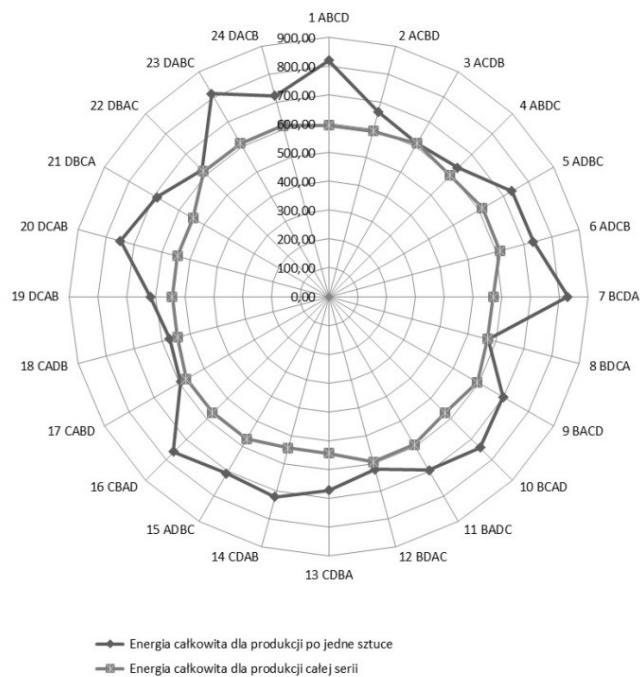
Najniższym zużyciem energii charakteryzuje się produkcja całej serii, dla której najniższe całkowite zużycie energii elektrycznej wyniosło 543,64 kWh. Najlepszy wynik uzyskany w przypadku produkcji po jednej sztuce wynosił 571,34 kWh, czyli o 5,1 % większy niż w przypadku produkcji całej serii.

Najwyższą wartość zużycia energii elektrycznej uzyskano dla produkcji po jednej sztuce w symulacji nr 7 (CABD), dla której wartość całkowitego zużycia energii wyniosła 829,67 kWh, co stanowi wartość o 45,2% większą w porównaniu do najniższego wyniku dla produkcji po jednej sztuce oraz o 35 % większą w porównaniu z najwyższym wynikiem dla produkcji całej serii (614,60 kWh).



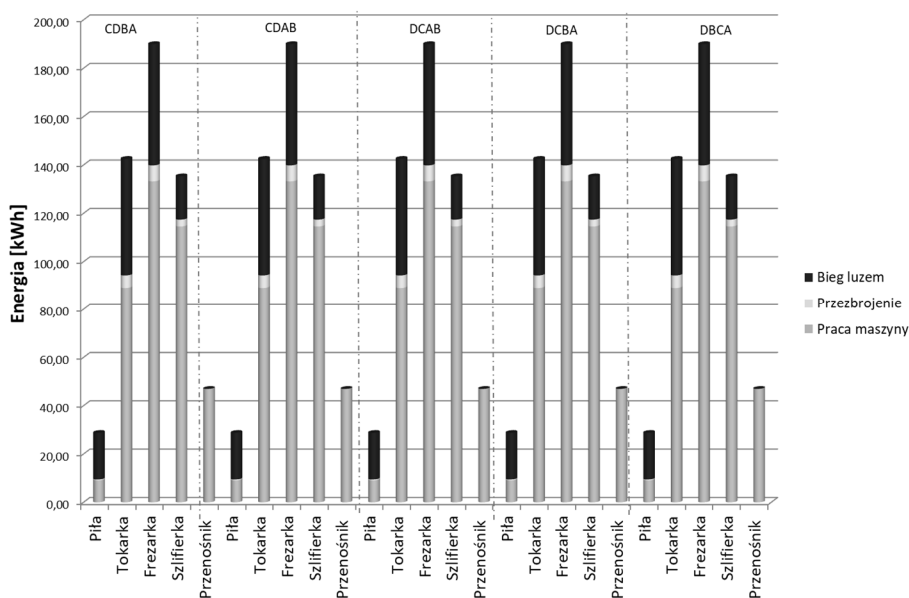
Rys. 6. Wykorzystanie energii elektrycznej dla przepływu jednej sztuki

Porównanie uzyskanych wyników dla produkcji całej serii oraz produkcji po jednej sztuce przedstawiono na rysunku 7.

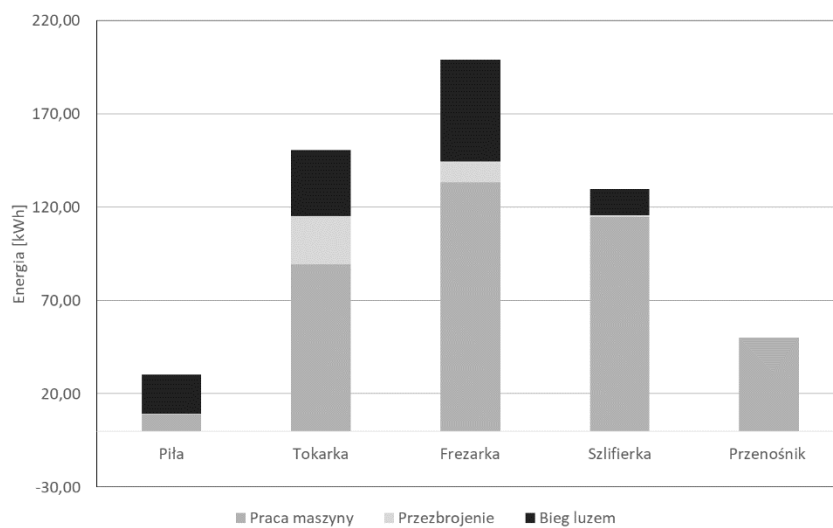


Rys. 7. Porównanie zużycia energii elektrycznej dla produkcji po jednej sztuce oraz produkcji całej serii

Szczegółowe zużycie energii dla uszeregowania o największej efektywności energetycznej przedstawiono na rysunkach 8÷9 .



Rys. 8. Szczegółowe zużycie energii dla uszeregowania o największej efektywności energetycznej dla całej serii



Rys. 9. Szczegółowe zużycie energii dla uszeregowania o największej efektywności energetycznej dla przepływu jednej sztuki, kolejność zleceń CADB

4. Wnioski

Przedstawione w artykule wyniki przeprowadzonych badań symulacyjnych wskazują, że już dla czterech zleceń można, tylko poprzez uwzględnianie efektywności energetycznej w procesie planowania produkcji, osiągnąć od 5 do 45 % oszczędności energii elektrycznej. Jak wynika z przeprowadzonych badań symulacyjnych, dla przedstawionego w artykule modelu procesu produkcyjnego bardziej efektywnie energetycznie okazała się produkcja całą serią wyrobów, co wynika ze zbyt długiego czasu pracy na biegu jałowym maszyn, przy produkcji po jednej sztuce. Z przedstawionego modelu symulacyjnego i przeprowadzonych badań wynika, że planowanie produkcji, w szczególności szeregowanie zleceń może mieć istotny wpływ na efektywność energetyczną realizowanych procesów. Na uwagę zasługuje fakt, że efektywność energetyczna procesu produkcyjnego może zostać osiągnięta bez jakichkolwiek inwestycji, jedynie poprzez odpowiednie zarządzanie procesem produkcyjnym.

Literatura

1. Ustawa z dnia 20 maja 2016 r. o efektywności energetycznej, Dz.U z dnia 11 czerwca 2016r. poz. 831.
2. Eurostat: Energy Balance Sheets 2015 Data, 2017 edition, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2017, s. 54-55.
3. Herrmann C., Thiede S., Kara S., Hesselbach J.: Energy oriented simulation of manufacturing systems – Concept and application, CIRP Annals - Manufacturing Technology, 60, 2011, s. 45–48.
4. Kara S., Li W.: Unit process energy consumption models for material removal processes. CIRP Annals-Manufacturing Technology, 60, 2011, p. 37 ÷ 40.
5. Zhou L., Li J., Li F., Meng Q., Li J., Xu X.: Energy consumption model and Energy efficiency of machine tools: a comprehensive literature review, Journal of Cleaner Production, 112, 2016, s. 3721-3734.
6. Grzesik W.: Podstawy projektowania i optymalizacji ekologicznych procesów obróbki skrawaniem, Mechanik, nr 3, 2013, s. 153-164.
7. Terelak-Tymczyna, A., Jardzioch, A., 2016. Analiza wpływu planowania procesu produkcyjnego na wykorzystanie maszyn oraz efektywność energetyczną. Mechanik R. 89, nr 10.
8. Główny Urząd Statystyczny: Energia 2017, raport z dnia 13.06.2017, s. 9-16.

Dr inż. Agnieszka TERELAK-TYMCZYNA

Dr hab. inż. Andrzej JARDZIOCH

Mgr inż. Agata BINIEK

Instytut Technologii Mechanicznej

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

70-310 Szczecin, Al. Piastów 19

tel./fax: (0-91) 449 46 02

e-mail: Agnieszka.Terelak@zut.edu.pl

Andrzej.Jardzioch@zut.edu.pl

Agata.Binieki@zut.edu.pl