19/21

ARCHIWUM ODLEWNICTWA
Rok 2006, Rocznik 6, Nr 21(1/2)
ARCHIVES OF FOUNDARY
Year 2006, Volume 6, Nº 21 (1/2)
PAN – Katowice PL ISSN 1642-5308

METODA ANALIZY JAKOŚCI PROCESÓW TECHNOLOGICZNYCH PRZY ZASTOSOWANIU KOMPUTEROWEGO WSPOMAGANIA

B. KRUPIŃSKA[1], L.A. DOBRZAŃSKI[2], D. SZEWIECZEK[3], M. KRUPIŃSKI[4]
Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych, Politechnika Śląska
ul. Konarskiego 18a, 44-100 Gliwice

STRESZCZENIE

Ze względu na złożoność analizy efektywności technologicznej opracowano aplikację komputerową AEPT w wyniku, której otrzymywane są: wskaźniki efektywności operacji z wyróżnionymi wskaźnikami o minimalnych dopuszczalnych wartościach, wartości efektywności zastosowanych obróbek, wartość efektywności technologicznej procesu. W wyniku przeprowadzonej analizy efektywności z wykorzystaniem aplikacji komputerowej (AEPT) uzyskiwany jest raport końcowy z wartościami wskaźników ujętych w formach tabelarycznych i wykresów.

Program wskazuje operacje o małej efektywności wraz z wyróżnieniem wartości wskaźników cząstkowych o niskich wartościach efektywności.

Do automatyzacji procesu wyznaczania efektywności technologicznej operacji (K_{iX}) oraz możliwości jej optymalizacji zastosowano jedno z narzędzi sztucznej inteligencji – sieci neuronowe [1,6-15].

Zastosowanie sieci neuronowych pozwala na wyznaczenie wartości efektywności technologicznej operacji (K_{iX}) oraz sprawdzenie wartości efektywności operacji w przypadku zmiany wartości poszczególnych wskaźników cząstkowych efektywności bez konieczności szczegółowej analizy całego procesu jak i danej operacji.

Key words: *technological efficiency, technological process, optimization, neural network*

[1] *dr inż., beata.krupinska@polsl.pl*
[2] *dr h.c. prof. zw. dr hab. inż., leszek.dobrzanski@polsl.pl*
[3] *prof. dr hab. inż., danuta.szewieczek@polsl.pl*
[4] *dr inż., mariusz.krupinski@polsl.pl*

1. WPROWADZENIE

Postęp techniczny w zakresie inżynierii materiałowej stawia coraz to wyższe wymagania dotyczące jakości produktu. Istnieje wiele metod pozwalających na jej kształtowanie, do których zalicza się modelowanie technologii produkcji, optymalizację wielokryterialną z wykorzystaniem komputerowego wspomagania [1,7-10].

Kompleksowa ocena procesów technologicznych z punktu widzenia jakości, poprawności doboru technologii stanowi podstawę analizy efektywności technologicznej.

Zastosowanie aplikacji komputerowych jako narzędzia wspomagającego projektowanie materiałowe i technologiczne licznych produktów pozwala również na poprawienie efektywności ludzkiej pracy. Warto tu wspomnieć o specjalistycznych programach wykorzystujących metody sztucznej inteligencji, w tym sztuczne sieci neuronowe, algorytmy genetyczne i systemy doradcze, do projektowania oraz optymalizacji ze względu na założony przebieg wytypowanych własności lub wybranych parametrów technologicznych oraz predykcji ich własności. Automatyczna korekta przebiegu procesu wytwórczego w warunkach zmieniających się w nie normatywny sposób czynników składowych tego procesu, w celu wytworzenia materiałów lub produktów z wcześniej założoną jakością i własnościami, jest zupełnie nowym i nowatorskim podejściem do zagadnienia sterowania i kontroli wytwarzania.

Zastosowanie metod komputerowych pozwala m.in. przyspieszyć prowadzoną analizę, zwiększyć powtarzalność wyników, a także umożliwia dostęp do dużej liczby wyników wykonanych obliczeń efektywności procesu technologicznego.

Sztuczne sieci neuronowe są stosowane coraz powszechniej w realizacji wielu zadań, gdyż ich zaletą jest zdolność uczenia i adaptacji do zmieniających się warunków oraz zdolność uogólnienia nabytej wiedzy. Dzięki tym własnościom mogą być one wykorzystywane wszędzie tam, gdzie zastosowanie tradycyjnych metod napotyka na duże trudności, rozwiązania analityczne są niemożliwe lub bardzo trudne do realizacji oraz w zagadnieniach wymagających kojarzenia i przetwarzania niepełnej lub niedokładnej informacji. Sieci neuronowe często wspomagają więc człowieka w procesie podejmowania trudnych, a czasem złożonych decyzji [12-15].

2. METODYKA BADAŃ

Podczas analizy efektywności technologicznej można wykorzystać wskaźniki cząstkowe efektywności, które charakteryzują operacje uwzględniając kryteria: operacja – materiał, operacja – maszyna, operacja - człowiek, operacja – parametry technologiczne. Analiza przeprowadzona w taki sposób pozwala na wskazanie wpływu poszczególnych kryteriów na efektywność procesu oraz wyznaczenie kierunku optymalizacji.

Dla uwzględnienia różnorodności operacji w procesach technologicznych można wykorzystać wskaźnik ważności operacji określający wagę operacji na tle całego procesu. Do wyznaczenia tego wskaźnika opracować należy macierz poprzez wskazanie

relacji pomiędzy wszystkimi operacjami. Pozwala ona na usystematyzowanie operacji według wagi dla poprawności przebiegu procesu.

W ramach kontroli operacji należy wyznaczyć wskaźniki ze względu na założone kryteria [10,13]. W wyniku czego można wskazać operacje nieefektywne z jednoczesnym uwzględnieniem wagi operacji wyrażonej za pomocą wskaźnika ważności operacji (W_{WK}). Wartość wskaźników składowych efektywności operacji (K_{iX}) pozwala na określenie obszaru jej doskonalenia, a w efekcie doskonalenia całego procesu technologicznego. Oznacza to, że analiza taka może służyć jako narzędzie nie tylko analizy efektywności, ale również do ciągłego doskonalenia procesu, a w konsekwencji jego optymalizacji. Wyznaczone wskaźniki efektywności operacji posłużą do wyznaczenia wartości efektywności ze względu na rodzaj zastosowanej obróbki (E_{OC}, E_{OU}, E_{OPZ}, E_{OPG}), a w konsekwencji do wyznaczenia efektywności technologicznej całego procesu (E_{PT}) [10,13].

2.1. Obliczenie współczynnika efektywności technologicznej operacji K_{iX} z zastosowaniem sztucznych sieci neuronowych na podstawie rzeczywistych danych wybranych procesów technologicznych

Metodyka zastosowania sztucznych sieci neuronowych:

Do obliczeń współczynnika (K_{iX}) zastosowano program Statistica Neural Networks w wersji 5.5. Zbiór danych wykorzystywanych w procesie budowy modelu przy użyciu sieci neuronowej, dzielono na trzy podzbiory: uczący, walidacyjny oraz testowy. Połowę przypadków użyto do modyfikacji wag sieci w procesie uczenia (zbiór uczący), 25 procent dla oceny błędów predykcji w czasie procesu uczenia (zbiór walidacyjny). Pozostałą część danych przeznaczono do niezależnego określenia sprawności sieci po całkowitym zakończeniu procedury jej tworzenia (zbiór testowy). Podziału na poszczególne zbiory dokonywano w sposób losowy, obserwując średnią arytmetyczną i odchylenie standardowe dla każdego ze zbiorów. Dane wykorzystywane w procesie uczenia i testowania sieci poddano normalizacji. Zastosowano skalowanie względem odchylenia od wartości minimalnej [4,5,9].

Optymalny typ sieci dobierano dla kolejnych zadań spośród zestawionych poniżej:

– perceptron wielowarstwowy (MLP – Multilayer Perceptron),
– sieć liniowa,
– sieć o radialnych funkcjach bazowych (RBF – Radial Basis Functions).

Liczbę zmiennych wejściowych ustalano po przeprowadzeniu analizy wrażliwości sieci. Podczas analizy wrażliwości określano względny wpływ zmiennej wejściowej na jakość działania sieci, dokonując wielokrotnego testowania sieci bez analizowanych zmiennych. Jako podstawę oceny przydatności zmiennej przyjęto błąd określający jakość sieci przy braku danej zmiennej oraz iloraz obliczany przez podzielenie wspomnianego błędu przez błąd sieci dla wszystkich analizowanych zmiennych [11-13. W celu wybrania metody sposobu uczenia sieci rozpatrywano:

– L_{PWM} - liczba produktów odrzuconych (analiza materiałowa),
– L_p - liczba produktów (analiza materiałowa),
– L_{PW} - liczba wyprodukowanych produktów (analiza materiałowa),

– W_{zm} – wskaźnik zużycia materiału,
– T_{ZP} – zaplanowany czas pracy maszyny,
– T_{RZ} – rzeczywisty czas pracy maszyny,
– W_m – wskaźnik poprawności technologii,
– L_{p1} – liczba produktów (analiza pracy człowieka),
– L_{PW1} – liczba wyprodukowanych produktów(analiza pracy człowieka),
– L_{PWC1} – produkty wadliwe z powodu błędu człowieka,
– W_{EX} – wskaźnik efektywności charakteryzujący rodzaj operacji podczas obróbki,
– W_{PD} – wskaźnik poprawności doboru materiałów,
– K_{iX} – wskaźnik efektywności technologicznej operacji.

W trakcie procesu uczenia analizowano jednocześnie błąd sieci dla zbioru uczącego i walidacyjnego. Proces przerywano, w przypadku wzrostu wartości błędu dla zbioru walidacyjnego niezależnie od zachowania błędu dla zbioru uczącego.

Jako podstawowe wskaźniki oceny jakości modelu utworzonego przy pomocy sieci neuronowej, wykorzystano wielkości wyznaczone dla zbioru testowego, a mianowicie [15]:

– błąd średni prognozy sieci,
– odchylenie standardowe błędu prognozy sieci,
– wykres skupień prognozy sieci,
– zestawienie wartości wskaźnika efektywności (K_{iX}) dla danych wyznaczonych w wyniku przeprowadzonej analizy efektywności oraz obliczonych za pomocą sieci neuronowych. *Średni błąd prognozy sieci obliczono według zależności* (1):

$$E_j = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(\left|X_{zi} - X_{oi}\right|\right) \tag{1}$$

gdzie: E_j – błąd dla j-tej własności, n – liczba danych w zbiorze testowym, X_{zi} – i-ta wartość zmierzona, X_{oi} – i-ta wartość obliczona.

Odchylenie standardowe dla błędu prognozy sieci wyznaczono zgodnie z zależnością (2):

$$s = \sqrt{\frac{n\sum_{i=1}^{n}E_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n}E_i\right)^2}{n(n-1)}} \tag{2}$$

Zgodnie z zastosowaną metodyką, obliczono współczynnik efektywności operacji (K_{iX}) z zastosowaniem sieci neuronowych:

Obliczenia rozpoczęto od opracowania danych rzeczywistych wybranych procesów technologicznych, które stały się bazą umożliwiającą wykorzystanie sztucznych sieci neuronowych (SSN), czyli udoskonalenie automatyzacji przeprowadzania analizy efektywności, jak również umożliwiło prognozowanie wyników zaplanowanej optymalizacji.

3. OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ

Dla analizy opracowanego modelu wykorzystującego sieci neuronowe do obliczania wartości wskaźnika efektywności technologicznej operacji (K_{iX}), wykorzystano utworzone zależności. Analizę przeprowadzono dla wartości uzyskanych z rzeczywistych procesów technologicznych do testowania sieci neuronowych. Jako wskaźniki oceny adekwatności uzyskanych wyników z danymi doświadczalnymi wykorzystano: błąd średni, błąd maksymalny, odchylenie standardowe błędu prognozy. Wartości błędów, odchylenia standardowego oraz ilorazu odchyleń standardowych i uzyskanych dla obliczeń wskaźnika efektywności technologicznej operacji (K_{iX}) procesu technologicznego dla opracowanego modelu sieci neuronowej i dla utworzonych zależności określonych równaniami zestawiono w tabeli 1.

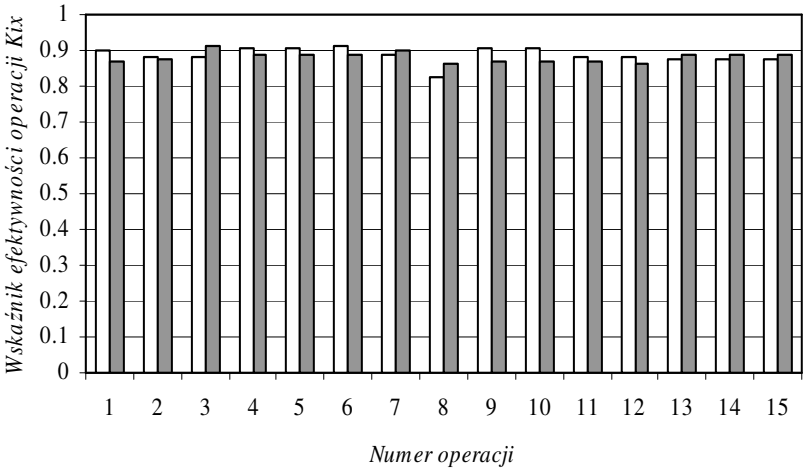
Tabela 1. Zestawienie wartości dla wskaźnika efektywności K_{iX} obliczonej na podstawie danych ze zbioru testowego i weryfikującego przy pomocy modelu sieci neuronowej oraz zależności rzeczywistych

Table 1. The composition of value for coefficient of efficiency K_{iX} counted on basis the data with file the as well as dependence real test and verifying near help patternel of lattices neuronal

Rodzaj danych	***Błąd średni***	***Odchylenie standardowe błędu***	***Średni błąd bezwzględny***
Zbiór testowy	**-0,018**	**0,023**	**0,025**
Zbiór weryfikujący	**0,013**	**0,045**	**0,031**

Przedstawione wskaźniki oceny jakości zaproponowanego modelu wskazują na dużą zgodność z danymi doświadczalnymi wyników, uzyskanych przy pomocy modelu sieci neuronowej. Dodatkowo, dla zweryfikowania poprawności działania opracowanego modelu, sprawdzono działanie sieci neuronowej na danych rzeczywistych, których nie wykorzystywano do treningu sieci neuronowych zarówno do jej nauki jak i testowania. Na rysunku 1 przedstawiono wykres zestawiający wartości wskaźnika efektywności technologicznej dla danych rzeczywistych nie branych pod uwagę przy budowie modelu oraz obliczone za pomocą sieci neuronowej.

Oceniając dokładność obliczeń efektywności należy wziąć pod uwagę, że błąd średni nie przekraczał 3,98% zakresu porównywanych wartości wskaźnik efektywności operacji, za pomocą których sprawdzono poprawność sieci i wyznaczonych za pomocą sieci z przedziału od 0 do 1. Zbliżone wskaźniki oceny jakości, obliczone dla zbioru testowego oraz weryfikującego, świadczą o poprawności zastosowanego modelu.



Legenda wykresu

Wskaźnik (K_{iX}) obliczony w wyniku analizy efektywności technologicznej

Wskaźnik (K_{iX}) obliczony przez sieć neuronową

Rys.1. Zestawienie wartości wskaźnika efektywności K_{iX} dla danych wyznaczonych w wyniku przeprowadzonej analizy efektywności oraz obliczonych za pomocą sieci neuronowych.

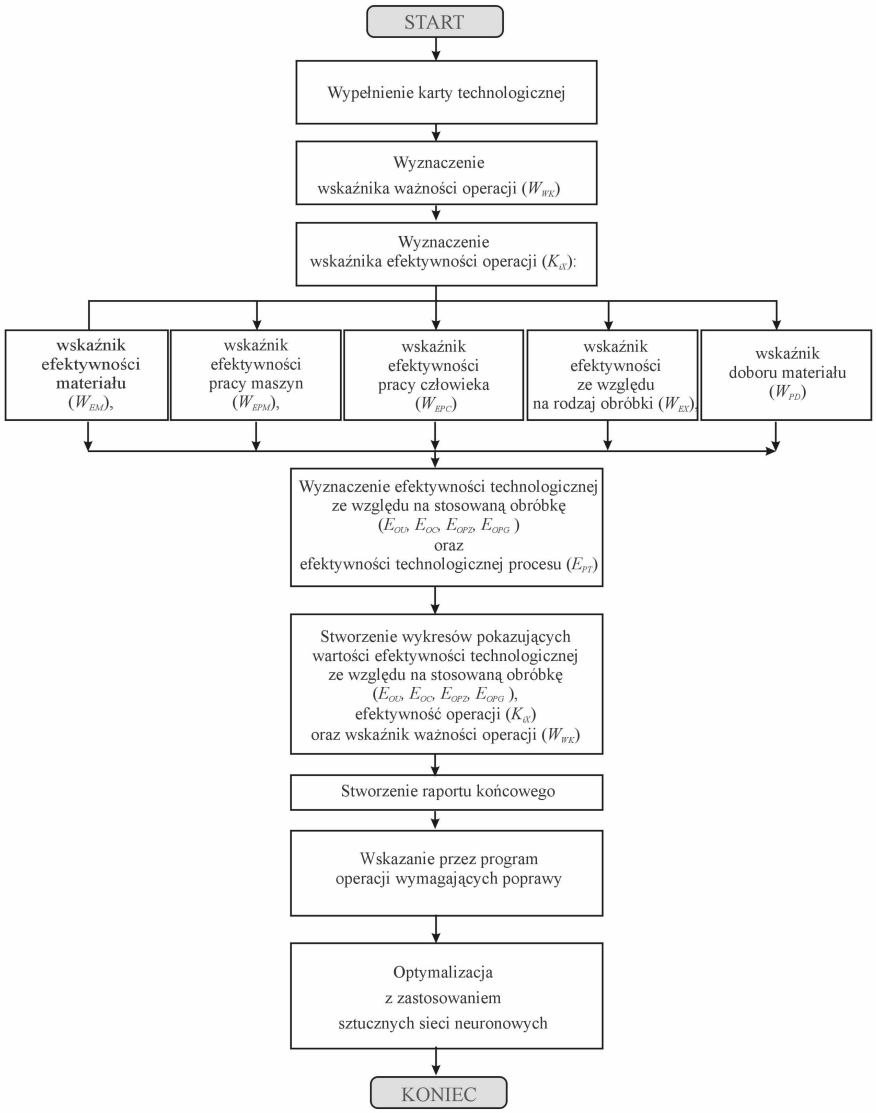
Fig.1. The composition of value of coefficient efficiency K_{iX} for data of appointed in result of conducted analysis efficiencies as well as counted with the help of neural networks.

3.1. Stworzenie aplikacji komputerowej umożliwiającej wyznaczenie poszczególnych wskaźników i końcową ocenę efektywności oraz optymalizację poszczególnych operacji (AEPT – Analiza Efektywności Procesu Technologicznego)

Biorąc pod uwagę opracowany model analizy efektywności technologicznej wykonano system wspomagania komputerowego. Do analizy efektywności technologicznej opracowano aplikację pozwalającą na częściowe uproszczenie obliczeń efektywności technologicznej procesu (rys. 2)[10,13].

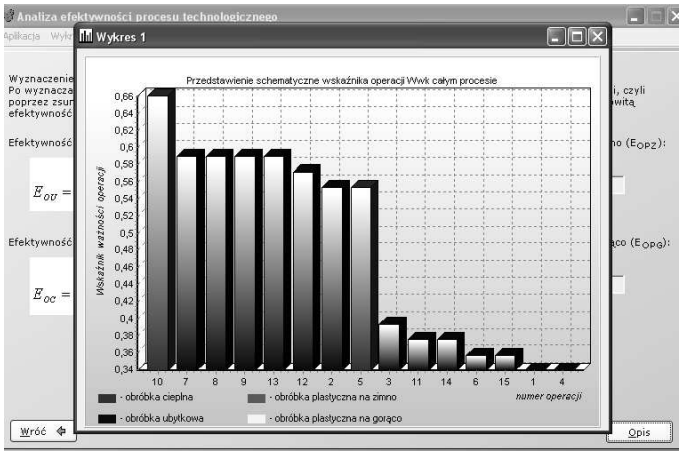
Program AEPT realizowany jest zgodnie z algorytmem przedstawionym na rysunku 2 i umożliwia otrzymanie raportu końcowego przedstawiającego przeprowadzoną analizę efektywności technologicznej dla wybranego procesu. Algorytm wprowadzania danych jest zgodny z modelem wyznaczania efektywności technologicznej.

Na rysunkach 3 i 4 przedstawiono przykładowe rzuty z ekranów z opracowanej aplikacji AETP[10, 13].



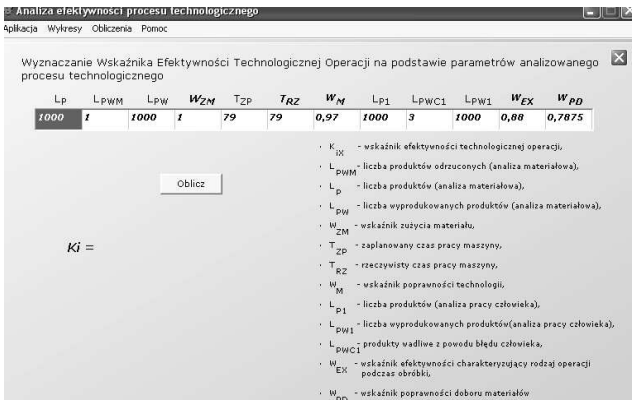
Rys. 2. Ogólny algorytm postępowania przeprowadzania analizy efektywności procesu technologicznego przy użyciu aplikacji komputerowej (AEPT) [10,13]

Fig.2. Algorithm of proceedings by conducting the analysis of technological process efficiency by the use of computer application (AEPT)



Rys. 3. Okno programu AEPT przedstawiające wykres wartości wskaźnika ważności operacji W_{WK} z uwzględnieniem numeru operacji

Fig. 3. AEPT program window presenting the graph of technological efficiency operation



Rys. 4. Okno programu AEPT przedstawiające wektor parametrów operacji, której wskaźnik efektywności technologicznej wyznaczany jest dzięki zastosowaniu sieci neuronowych [10, 13]

Fig. 4. AEPT program window presenting the vector of parameters the operation, which the coefficient of technological efficiency be marked thanks to use of lattice neural net

PODSUMOWANIE

Istotą optymalizacji jest osiągnięcie wartości optymalnej, jednak nie należy zapominać, że najważniejsze jest to w jaki sposób ta wartość zostaje osiągnięta czyli wyznaczenie efektywności procesu poszukiwania. Optymalizację można podzielić na

dwa etapy: zwiększania efektywności i osiągnięcia wartości optymalnej, co wskazuje że głównym jej celem jest doskonalenie [1,10].

Zastosowanie metod wspomagania komputerowego umożliwia wyznaczenie opracowanych wskaźników oraz końcową ocenę efektywności procesu, pozwalającą na zaplanowanie optymalizacji poszczególnych operacji.

Bardzo istotne jest przy tym odpowiednie przygotowanie danych wejściowych sieci neuronowych, w tym odpowiednie wyselekcjonowanie danych stosowanych do nauki sieci neuronowych oraz zebranie zbioru rzeczywistych danych z procesu technologicznego do weryfikacji oraz testowania opracowanych systemów komputerowych opartych na metodach sztucznej inteligencji.

W dalszym ciągu prowadzone są prace nad poprawą skuteczności działania opracowanego systemu komputerowego. Powiązanie wszystkich metod, wykorzystujących wskaźniki efektywności, obliczenia wykonane w sposób analityczny, pozwolą na efektywną optymalizację procesów technologicznych.

LITERATURA

[1] Ameljańczyk A., *Optymalizacja wielokryterialna w problemach sterowania i zarządzania*, Polskie Towarzystwo Cybernetyczne - Wrocław: Zakład Narodowy im. Ossolińskich. Wydawnictwo PAN, 1984.

[2] Dobrzański L.A.: *Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo. Materiały inżynierskie z podstawami projektowania materiałowego*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2002.

[3] Dobrzański L.A.: T*he principles of selection of engineering materials from cards of profiles,* WNT, Warszawa 2001

[4] Dobrzański L.A., Krupiński M., Sokolowski J.H.: C*omputer aided classification of flaws occurred during casting of aluminum*, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 167, Is. 2-3, 2005, pp. 456-462.

[5] Dobrzański L.A., Trzaska J.: *Application of neural networks for prediction of critical values of temperatures and time of the supercooled austenite transformations*, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 155–156, 2004, pp.1950–1955.

[6] Jiahe A., Jiang X., Huiju G., Yaohe H., Xishan X.: *Artificial neural network prediction of the microstructure of 60Si2MnA rod based on its controlled rolling and cooling process parameters*, Materials Science and Engineering, A344, 2003, pp. 318-322.

[7] Krupińska B., Szewieczek D.: *Analysis of technological process on the basis of efficiency criterion*, Jurnal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering 2006 , Vol. 17, July-August 2006.

[8] Krupińska B., Szewieczek D.: *The attempt of evaluation of the chosen technological gear wheel process on the basis of its efficiency operation*, The 13th International Scientific Conference on Achievements in Mechanical and Materials Engineering - AMME'2005, Worldwide Congress on Materials and Manufacturing

Engineering and Technology - COMMENT'2005, 16th-19th May 2005 Gliwice – Wisła, pp.363-370
[9] Krupińska B.: Praca doktorska: *Optymalizacja wybranych procesów technologicznych ze względu na kryterium ich efektywności*, Politechnika Śląska, Gliwice 2006
[10] Luenberger D. G.: *Teoria optymalizacji*, PWN, Warszawa 1984
[11] Ossowski S., S*ieci neuronowe do przetwarzania informacji*. Oficyna Wydawnicza Pol. Warszawskiej, Warszawa 2000.
[12] Rutkowska D., Piliński M, Rutkowski L., *Sieci neuronowe, algorytmy genetyczne i systemy rozmyte*. PWN, Warszawa 1997.
[13] Szewieczek D., Dobrzanski L.A., Krupinska B., Krupinski M.: *Methodical foundations of optimization of technological processes on basis of technological efficiency analysis*, The 11th International Scientific Conference on the Contemporary Achievements in Mechanics, Manufacturing and Materials Science CAM^{3}S'2005 (former Countrywide Conference on Contemporary Achievements in Materials Science CAMS), 6th-9th December 2005 in Gliwice-Zakopane
[14] Szewieczek D., Tkaczyk. St. Wojtaszek B.: *Measurement and control of the technological process by means of the analysis of its effeciency*, 12th Interational Scientific Conference AMME Gliwice-Zakopane 2003.
[15] Nałęcz M. pod red.: *Sieci neuronow*e, EXIT, Warszawa 2000.
[16] Kozłowski J., Biernacki R., Myszka D., Perzyk M., Kochański A.: *Zastosowanie systemów uczących się do przewidywania własności materiałów odlewanych*, Archiwum odlewnictwa, nr 14, 2004, s. 249-257.
[17] Kulkarni M.S.; Subash Babu A.: *Managing quality in continuous casting process using product quality model and simulated annealing*, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 166, Is. 2, 2005, pp. 294-306.

METHOD OF ANALYSIS OF QUALITY TECHNOLOGICAL PROCESSES NEAR USE OF COMPUTER AID

SUMMARY

One has worked out an application that allows to analyze the efficiency of technological process in aspect of nonmaterial values and has used neural nets to verify particle indicators of quality of a process operation. Indicators appointment makes it possible to evaluate the process efficiency, which can constitute an optimization basis of particular operation.

Recenzował: prof. Jan Szajnar.