

ZASTOSOWANIE SIECI NEURONOWYCH DO MODELOWANIA ODKSZTAŁCEŃ PRZEDMIOTU OBRABIANEGO PODCZAS TOCZENIA

APPLICATION OF NEURAL NETWORK TO MODELING OF WORKPIECE DEFORMATIONS DURING TURNING PROCESS

W artykule wskazano na szerokie możliwości modelowania procesów skrawania za pomocą strategii samouczenia. Zaprezentowano model predykcji sumarycznych odkształceń przedmiotu obrabianego za pomocą sztucznych sieci neuronowych. Badania i analizy przeprowadzono na przykładzie toczenia ortogonalnego tulei cienkościennej, poddanej działaniu ciepła i sił w procesie skrawania.

Słowa kluczowe: modelowanie, sztuczne sieci neuronowe, odkształcenia przedmiotu obrabianego, proces toczenia

In this paper has been to shown wide possibility modeling of cutting process by self-teaching strategy. Hear have been presented neural network model of workpiece summary deformations. Research and analyzes have been shown based on example orthogonal turning of thin-walled sleeve to expose it on action of heat and cutting forces.

Key Words: modeling, neural network, workpiece deformations, turning process

1. Wprowadzenie

Z analizy uwarunkowań technicznych oraz oceny obszaru zastosowań produktów obróbki skrawaniem wynika, że pierwszorzędne znaczenie ma ich jakość [1, 2]. Producent dąży do uzyskania finalnego wyrobu o z góry określonych cechach geometrycznych, właściwościach mechanicznych i trybologicznych warstwy wierzchniej [2]. Jak wynika z przeprowadzonej analizy literatury, podstawowe problemy związane z cieplnymi i sprężystymi odkształceniami przedmiotów podczas obróbki, pozostają nadal aktualne [3-11, 19]. Głównym obecnie dążeniem techniki ubytkowego kształtowania materiałów jest przekształcanie programów CNC w możliwie najbardziej efektywne i precyzyjne ruchy narzędzia skrawającego. Pozwoli to zmniejszyć niepożądane odchyłki i zakłócenia w realizowanym procesie obróbkowym [1].

Udoskonalanie techniki wytwarzania poprzez skrawanie, możliwe jest w głównej mierze dzięki modelowaniu. Projektanci procesów technologicznych poświęcają modelowaniu coraz więcej uwagi [5-12, 18-20]. W celu sterowania przebiegiem procesu obróbkowego i jakością otrzymywanych wyrobów, nie-

1. Introduction

To result from analyzes technical conditions and estimated application area of machining products follows that quality is of great importance [1, 2]. Producer wants to achieve final product and to predict geometrical parameters, mechanical and tribological property of surface layer [2]. From analysis of literature it follows that basic problems to concern thermal deformations of workpiece and elastic strains are still actual [3-11, 19]. Main aspiration of machining technique is translation of CNC programs on most effective and precision move of cutting tool. It will decrease undesirable deviations and disruptions in technological process [1].

It is possible to improve machining technique by modeling method. Designers of technological processes to pay especially attention to modeling [5-12, 18-20]. Control of cutting process and product quality will be possible when it is known full three dimensions model. It is expected that finally effect of this action (design and applications of models) will be

zbędny jest pełny - trójwymiarowy model procesu skrawania. Oczekiwany, finalnym efektem tego typu działań (budowy i aplikacji modeli) będzie poprawa dokładności wykonania wyrobu przy jednoczesnym zmniejszeniu kosztów wytwarzania i znacznej poprawie wydajności.

2. Modelowanie związków pomiędzy warunkami skrawania a cechami geometrycznymi przedmiotu po obróbce

Głównym celem modelowania zjawisk zachodzących w procesie skrawania jest określenie związków między wielkościami wejściowymi a parametrami przedmiotu. Wielkości wejściowe stosowane do modelowania procesu skrawania, stanowią warunki, które mają istotny wpływ na przebieg obróbki. Należą do nich: technologiczne parametry skrawania, geometria ostrza narzędzia, właściwości materiału przedmiotu obrabianego i ostrza narzędzia, parametry tribologiczne, cieplne itp. Na wyjściu modelu, uzyskujemy takie cechy wyrobu, które bezpośrednio decydują o jego jakości. Należą do nich: parametry jakości powierzchni po obróbce, dokładność wymiarowo-kształtowa, zużycie ostrza narzędzia, stabilność obróbki, siły skrawania, geometria powstających wiórow. Zazwyczaj, jako narzędzia do modelowania wykorzystuje się analityczne metody matematyczne. Najczęściej spotykanymi w literaturze są jednak modele numeryczne (MES, MEB, MRS) oraz modele oparte o sztuczne sieci neuronowe [2, 12, 17, 18, 20].

Złożoność zjawisk fizycznych towarzyszących procesowi skrawania i ich wzajemna zależność powodują, że dotychczas opracowane modele nie odpowiadają w pełni procesowi rzeczywistemu. Najczęściej są to modele uproszczone z przyjętymi, ściśle określonymi założeniami.

Z punktu widzenia dokładności obróbki, najistotniejszymi są oddziaływania sprężyste i cieplne. Odkształcenia przedmiotu obrabianego, zarówno w skali makro jak również mikro, zależą od położenia narzędzia wzdłuż jego osi, sił skrawania, parametrów technologicznych obróbki, ilości generowanego ciepła oraz parametrów geometrycznych narzędzia i samego obrabianego elementu [4, 5, 10, 19]. Dodatkowo generowane drgania mechaniczne w istotny sposób wpływają na tor narzędzia i odkształcenia przedmiotu obrabianego w skali mikro [17]. Zagadnienie identyfikacji niedokładności powodowanych oddziaływaniami cieplnymi jest stosunkowo trudne [3, 19]. W przypadku procesu skrawania mamy do czynienia ze zmiennym w czasie, wędrującym źródłem ciepła wzdłuż drogi skrawania. Szczególnie niebezpieczne jest prowadzenie obróbki przy wzrastającej objętości materiału przed czołem ostrza narzędzia skrawające-

increase of product accuracy and simultaneous decrease of production costs and considerable improvement of productivity.

2. Modeling connections between conditions of machining and geometrical deformation of workpiece

Main goal modeling of cutting phenomenon is to describe conditions between input quantity and parameters of workpiece. Input quantity using to modeling cutting process are so parameters which have significant influence on machining process. To these parameters belongs: technological parameters of cutting, geometrical parameters of tool, property of material workpiece and tool, tribology parameters, heat property. On output of model we can to receive so feature which decided about it quality, belongs to this feature: parameters of surface quality past machining, accuracy of dimensions and shape, wear of cutting tool, stability of machining, cutting forces, geometrical parameters of chips.

Usually as the tools in modeling process are used analytical mathematical methods. But most frequently described in literature methods are numerical methods (MES, MEB, MRS) and models based on artificial neural networks [2, 12, 17, 18, 20].

Complexity of physical phenomena in cutting process and relationship between him make that designed models not full corresponding with real cutting process. Usually this models are very simplify, they are true for vary precision described assumptions.

With point of view accuracy of machining, most important are elastic strains and heat deformations. Deformations of workpiece as soon as in macro scale and micro scale depends from positions of tool along the workpiece, cutting forces, technological parameters of cutting, amount of heat, geometrical parameters of cutting tool and workpiece [4, 5, 10, 19]. Additionally, mechanical vibration generated in cutting process essentially to influence on trajectory of tool and elastic strains of workpiece in micro scale [17]. Problem identification errors to bring about to influence of heat is very difficult [3, 19]. In machining process we have to consider changing in the time source of heat moving along way of the tool. Especially dangerous is cutting when increase part of material in front of cutting edge. It is cause to increase depth of cut and through it significant shape errors of workpiece [11].

go. Prowadzi to do wzrostu głębokości skrawania, a przez to istotnych błędów kształtu gotowego wytworu [11].

Znając wartości rzeczywiste chwilowych odkształceń narzędzia i przedmiotu obrabianego (sprężystych i cieplnych) oraz związku zachodzące pomiędzy poszczególnymi parametrami charakterystycznymi procesu, można zbudować model obrazujący parametry jakości otrzymywanych wyrobów. Zadanie to nie jest łatwe z uwagi na złożoność zjawisk fizycznych. Szczególnie skuteczną techniką stosowaną budowy takich modeli mogą być sieci neuronowe. Sieci te mogą precyzyjnie odwzorować zależności nieliniowe i wielowymiarowe. Uwzględnienie w modelu dużej liczby zmiennych niezależnych, przy stosowaniu innych metod, znacząco utrudnia próby modelowania funkcji nieliniowych. Zakres problemów rozwiązywanych przez sieci neuronowe jest określony strukturą sieci oraz zastosowaną metodą uczenia. Z uwagi na charakter zastosowań modeli bazujących na sieciach neuronowych, praktyczne znaczenie mają struktury wielowarstwowe MLP (multilayer perceptron network) oraz sieci o radialnych funkcjach bazowych RBF [5-7, 12-18, 20].

Wykorzystując uzyskane w warunkach rzeczywistych wyniki badań doświadczalnych do uczenia sztucznych sieci neuronowych, możliwe jest zbudowanie użytecznego modelu wirtualnego. Odpowiednio dobrana strategia samo uczenia, zapewnia dobrą zgodność modelu i modelowanego układu rzeczywistego. Otrzymane w ten sposób modele są weryfikowane w oparciu o wyniki pomiarów eksperymentalnych nie biorących udziału w procesie uczenia [5-7, 12, 17-18, 20].

3. Metodyka badań i przebieg eksperymentu

Głównym celem prowadzonych badań było stworzenie wielowymiarowego modelu procesu skrawania. Model ten odzwierciedla związku zachodzące pomiędzy siłami skrawania a błędami geometrycznymi przedmiotu obrabianego. Zdefiniowano struktury sieci: architekturę oraz algorytmy uczenia. Do rozwiązania analizowanego problemu zastosowano sieci typu MLP (multilayer perceptron network) uczone algorytmem wstecznej propagacji błędów BP (back-propagation). W celu zebrania danych uczących, przeprowadzono badania eksperymentalne. Pomiary prowadzono na stanowisku laboratoryjnym, którego strukturę zaprezentowano na rys. 1.

Uwzględniając specyfikę prowadzonych badań, jednocześnie rejestrowano wartości sześciu parametrów charakteryzujących przebieg procesu skrawania. Mierzono trzy składowe siły skrawania: F_x - posuwową, F_y - odporową, F_z - obwodową (oznaczenia wg Ki-

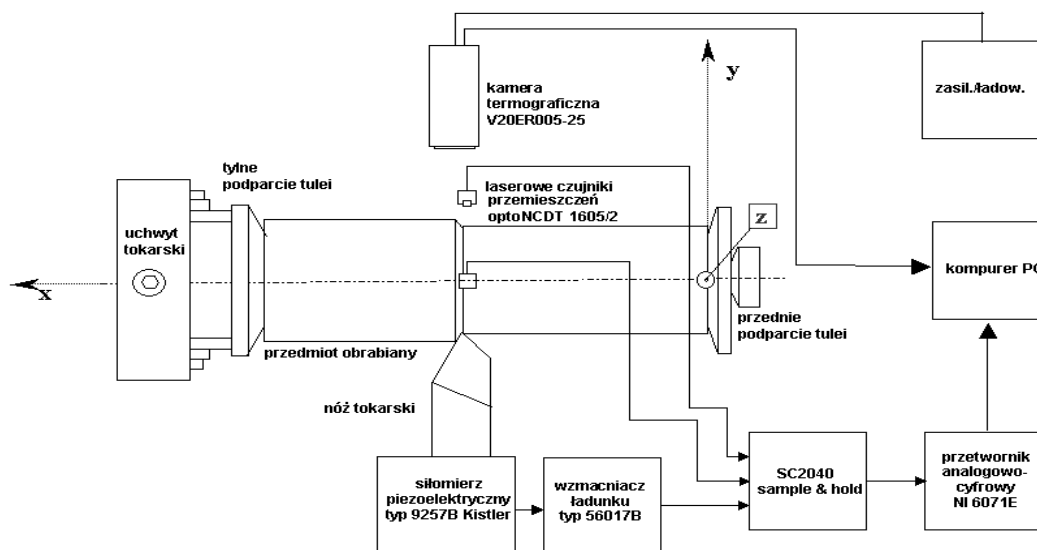
If we can measure temporary deforms of cutting tool and workpiece (elastic strains and heat deformations) and know relationships between parameters of cutting process, we can to make model which represent quality parameters of product. This task it is not easy because physical phenomena during cutting process are very complicated. Especial useful technique to build so models can be artificial neural networks. The neural networks can to reflect nonlinear relationship. Many independent variables, for different methods, make significantly difficult modeling nonlinear function. Range of problems which can be to solve using neural network is determined be network structure and learning method. For the application reason of models based on neural networks practical meaning have multilayer structures MLP (multilayer perceptron network) and networks with radial base functions RBF [5-7, 12-18, 20].

If we used results of research collected in real conditions for teaching artificial neural networks it is possible to build useful virtual model. To assure good compatibility between model and real system we must chosen adequately strategy of self teaching. Making in this way models must be verified based on results of experiments not used in teaching process [5-7, 12, 17-18, 20].

3. Methodologies of research and course of experiment

Main goal of conducted research was to make multidimensional model of cutting process. Connections between cutting forces and geometrical errors of product are reflected in this model. Architecture and teaching algorithm of neural network has been defined. Neural network MLP (multilayer perceptron network) was teaching by algorithm BP (back propagation error). Has been conduct experimental research to collect teaching data. All acquisition has been conduct on experimental stand presented on figure 1.

To take into consideration specific conditions of this research has been to record values of six parameters to describe cutting process. Has been measured three components of cutting force: F_x -feed force, F_y -trust force, F_z -main force (symbols used by Kistler), displacement of workpiece in two axes y , z and temperature of workpiece surface T .



Rys. 1. Schemat strukturalny stanowiska badawczego
 Fig. 1. Structural chart of research stand

stler), przemieszczenia przedmiotu obrabianego w dwóch osiach y, z oraz temperaturę powierzchni przedmiotu obrabianego T .

Obróbkę prowadzono na tokarce uniwersalnej dla różnych kombinacji ustalonych parametrów skrawania ($\alpha_p=0,5; 1; 1,5$ mm, $f=0,1; 0,2; 0,3$ mm/obr, $v_c=165; 235; 330$ m/min). Skrawaniu poddawano tuleje cienkościennie o średnicy zewnętrznej $d_z=108$ mm i grubości ścianki $g=4$ mm. Zastosowano składany nóż tokarski firmy PAFANA (oprawka PSBN R 2020 12K, płytka powlekana SNMG120408-SS gat. BP35A) o ustalonej geometrii ostrza: $\lambda_s=-6^\circ$ $\gamma_o=-6^\circ$.

Składowe siły skrawania mierzono siłomierzem piezoelektrycznym firmy Kistler, współpracującym ze wzmacniaczem ładunku oraz sumatorem analogowym. Do pomiaru przemieszczeń w analizowanych osiach (y, z) zastosowano czujniki laserowe firmy Micro-Epsilon Masstechnik. Sygnały sił i przemieszczeń pochodzące ze wzmacniacza ładunku kierowano do urządzenia sample&hold firmy National Instrument, gdzie sygnał próbkowano i zamrażano na wszystkich mierzonych kanałach. Umożliwiło to uzyskanie wartości sygnału mierzonych wielkości w tych samych jednostkach czasowych.

Przy wykorzystaniu przetwornika analogowo-cyfrowego firmy National Instrument, zamrożone sygnały przetwarzano do postaci cyfrowej. Do komunikacji wszystkich zespołów pomiarowych i archiwizacji otrzymanych wyników pomiarów eksperymentalnych zastosowano specjalistyczne oprogramowanie wykonane w środowisku LabView.

Engine lave has been used for machining with different combinations of cutting parameters (for example: $\alpha_p=0.5; 1; 1.5$ mm, $f=0.1; 0.2; 0.3$ mm/rev, $v_c=165; 235; 330$ m/min.). As cutting workpiece has been used thin-walled sleeve which outside diameter $d_z=108$ mm and thickness of wall $g=4$ mm. Have been applied turning tool PAFANA (turning tool holder PSBN R 2020 12K, with cemented carbide tip SNMG 120408-SS – BP35A), geometrical parameters of tool $\lambda_s=-6^\circ$ $\gamma_o=-6^\circ$.

Components of cutting force have been measured with used piezoelectric dynamometer made by “Kistler”, it cooperating with amplifier of electric charge and analog adder. For measure of displacement in analyzed axes (y, z) have been applied laser sensors made by Micro-Epsilon Masstechnik. Signals of cutting force and displacement was collected in system sample&hold made by National Instrument. All signals was sampled and to memorize. This operation let to observe all canals in the same point of time in digital form.

For communications between all components of measuring system and archive of experimental results have been designs special program in LabView. Measurement and acquisition of workpiece temperature have been realized by termografical camera working with program *TERMOGRAF v. 1.95c*.

Pomiar i rejestrację wartości temperatury przedmiotu obrabianego prowadzono w podczerwieni za pomocą kamery termograficznej, przy wykorzystaniu specjalistycznego oprogramowania *TERMOGRAF v. 1.95c*.

W wyniku uczenia sztucznych sieci neuronowych na zbiorach uczących i testowania, wybrano struktury najlepiej odzwierciedlające zachodzące związki między warunkami skrawania a cechami geometrycznymi przedmiotów po obróbce.

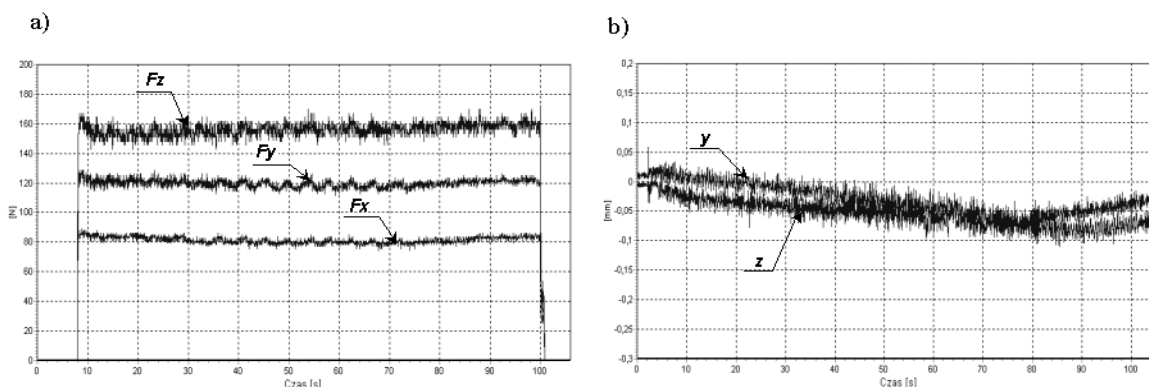
4. Wyniki badań eksperymentalnych

W wyniku przeprowadzonych pomiarów otrzymano przebiegi zmian trzech składowych siły skrawania w funkcji czasu (F_x , F_y , F_z), odkształceń przedmiotu obrabianego w kierunkach osi y , z oraz zmian

Artificial neural network was teaching on learning collection. We were tested different structure of neural networks. Structures that best reflect relationships between cutting parameters and geometrical errors of product have been choosing.

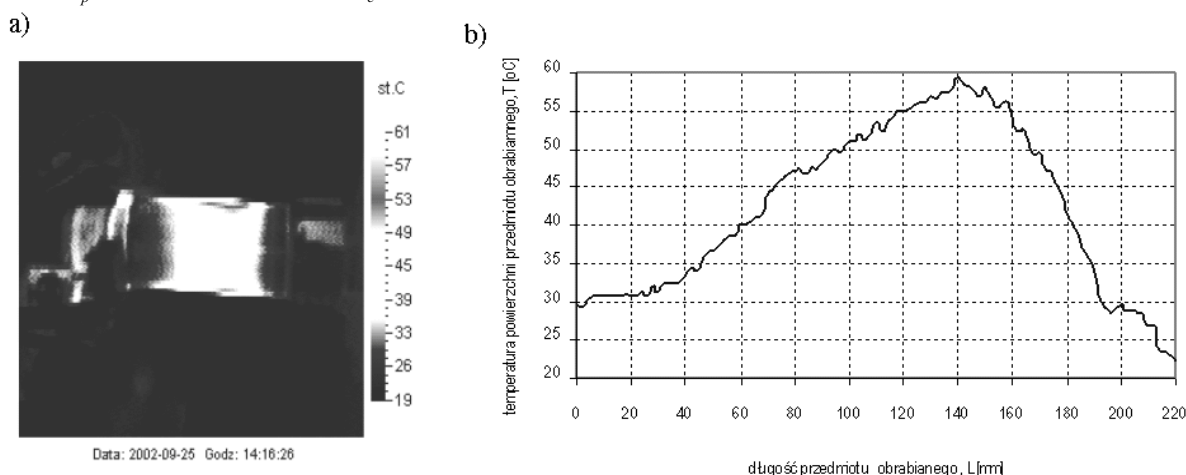
4. Experimental results

As result of experiment we are collected: course of change three components of cutting force F_x , F_y , F_z in time, elastic strains of workpiece along axes x and z in time, temperature of workpiece surface in time T .



Rys. 2. Przykładowe przebiegi czasowe: a) zmian składowych siły skrawania (F_x , F_y , F_z), b) odkształceń przedmiotu obrabianego y , z ; przy: $a_p=0.5\text{mm}$, $f=0.31\text{mm/obr}$, $v_c=330\text{m/min}$.

Fig. 2. Examples functions of time: a) components of cutting force (F_x , F_y , F_z), b) displacement of workpiece; for $a_p=0,5\text{mm}$, $f=0,31\text{mm/rev}$, $v_c=330\text{ m/min}$.



Rys. 3. Temperatura powierzchni przedmiotu obrabianego: a) termogram, b) rozkład wartości temperatury w 56 sek. obróbki; dla: $a_p=1.5\text{mm}$, $f=0.31\text{mm/obr}$, $v_c=165\text{ m/min}$.

Fig. 3. Temperature of workpiece surface: a) termogram b) distribution of temperature in 56 sec. during cutting process; for $a_p=1,5\text{mm}$, $f=0,31\text{mm/rev}$, $v_c=165\text{ m/min}$.

temperatury jego powierzchni (T). Przykładowe przebiegi czasowe zmian wartości mierzonych wielkości zaprezentowano na rys. 2 i rys. 3.

W oparciu o uzyskane wyniki badań eksperymentalnych zbudowano zbiory danych uczących i kontrolnych dla różnych struktur sieci neuronowych.

5. Wyniki modelowania

Do budowy modeli odzwierciedlających związki zachodzące pomiędzy siłami skrawania, temperaturą a cechami geometrycznymi przedmiotu po obróbce, zastosowano sieci typu wielowarstwowy perceptron MLP (rys. 4). Wytypowane struktury sieci o architekturach trójwarstwowych z jedną warstwą ukrytą składającą się z 10 neuronów, uczono algorytmem wstecznej propagacji błędów BP z sigmoidalną funkcją aktywacji. Po nauczeniu sieci, to znaczy po osiągnięciu kryterium 5% błędu względnego dokonano testowania zdolności uogólniania zbudowanych modeli, na zbiorach nie biorących udziału w procesie uczenia. W modelu przedstawionym schematycznie na rys. 4a, predykcji odkształceń y oraz z dokonuje się na podstawie informacji, jakie niosą ze sobą składowe siły skrawania F_x, F_y, F_z . Drugi model (rys. 4b), uzupełniono informacją o temperaturze powierzchni przedmiotu obrabianego. Okazało się, że dodanie informacji o temperaturze przedmiotu powoduje lepszą zgodność odpowiedzi modelu z wynikami badań eksperymentalnych.

Wybrane wyniki odpowiedzi modelu z rys. 4a przedstawiono na rys. 5, zaś odpowiedzi na wartości F_x, F_y, F_z oraz T dla modelu z rys. 4b zaprezentowano na rys. 6.

Okazało się, że dodanie informacji o temperaturze przedmiotu powoduje lepszą zgodność odpowiedzi modelu z wynikami badań eksperymentalnych.

Examples of this data are presented in figure 2 and 3.

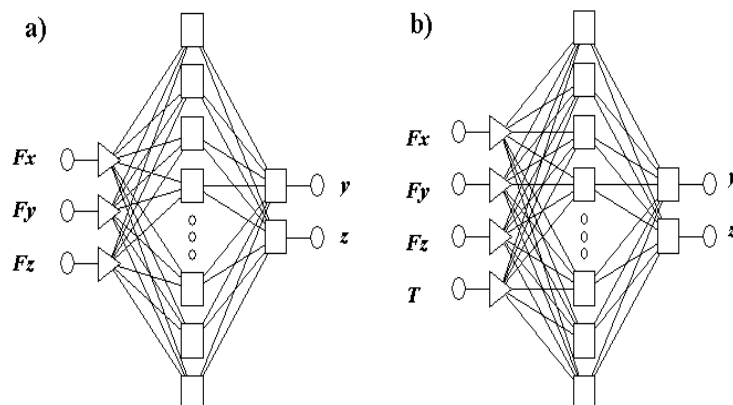
Based on experimental result have been choose collections learning and testing data for different structure of neural networks.

4. Results of modeling

For building models reflected relationships between cutting forces, temperature and geometrical feature of machining product have been applied multilayer neural network known as perceptron MLP (fig. 4). Have been choosing structure based on tree hidden layers with 10 neurons in each. Learning of neural network has been realized using beck propagation error algorithm BP and sigmoid transfer function. When neural network achieved 5% of relative error learning has been stopped and started testing procedure based on collection not used to learning. In model presented in figure 4a, prediction of displacement y and z is realized based on information covered in components of cutting force F_x, F_y, F_z . Different model has been presented on figure 4b, in this model input information covered additionally temperature of workpiece.

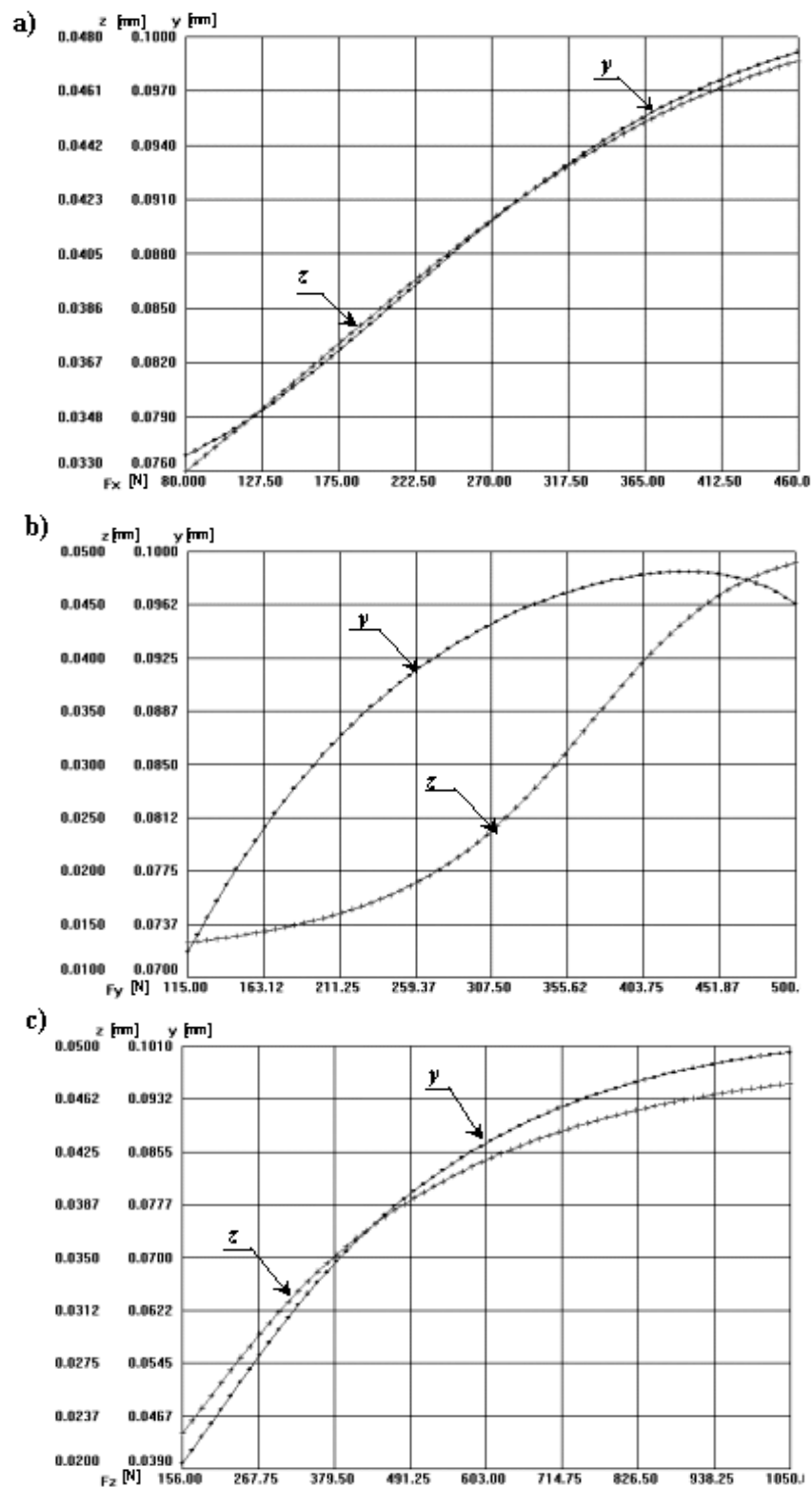
Chosen results of model showing in fig. 4a have been presented in fig. 5 and the same test for model showing in fig. 4b in fig. 6.

It turned out that adding of information about temperature increase accuracy of model outputs compare with result experimental research.



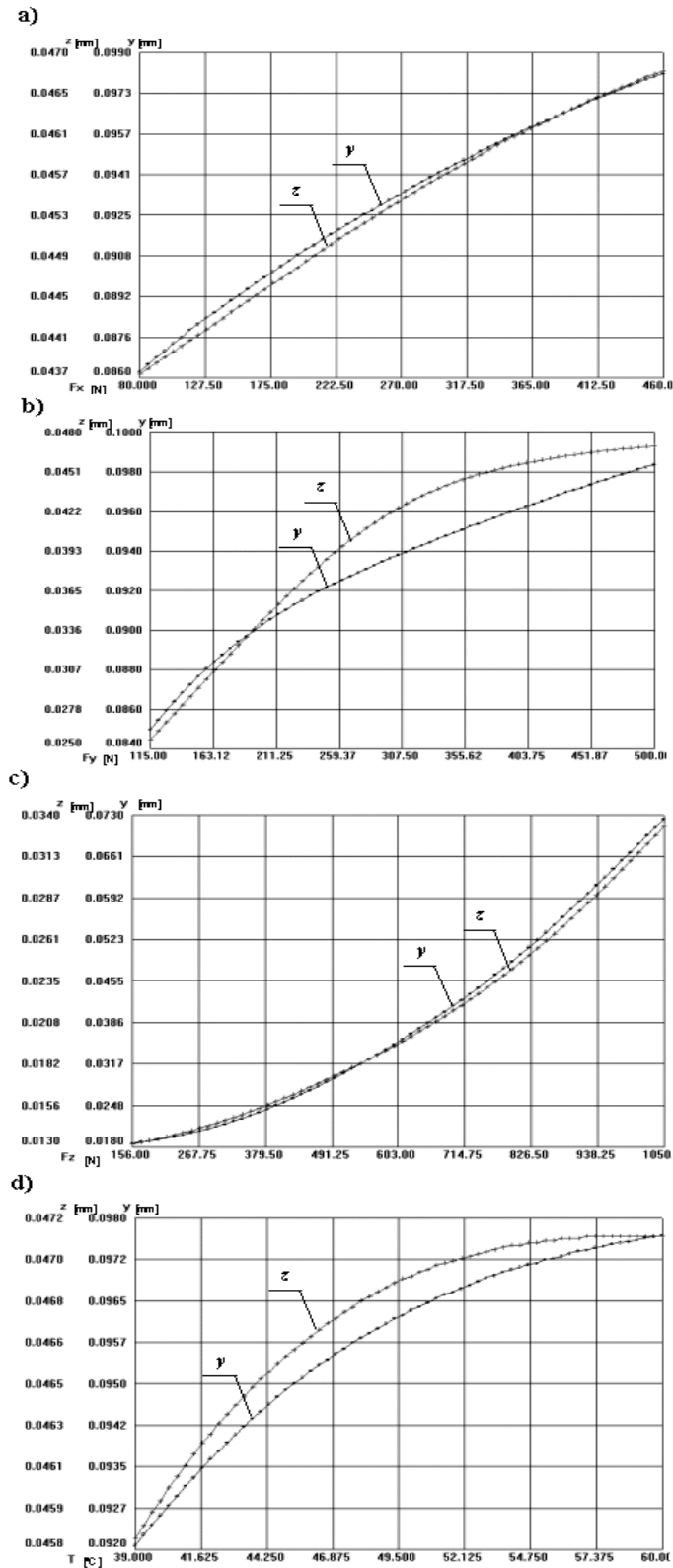
Rys. 4. Architektura sztucznych sieci neuronowych predykcji sumarycznego błędu przedmiotu obrabianego: a) sieć MLP (3:10:2), BP, b) sieć MLP (4:10:2), BP

Fig. 4. Architecture of neural networks for prediction global error of product: a) network MLP(3:10:2), BP, b) network MLP(4:10:2), BP



Rys. 5. Przebieg zmian sumarycznych odkształceń przedmiotu obrabianego y , z , w funkcji: a) składowej posuwowej F_x , b) składowej odporowej F_y , c) składowej obwodowej F_z , otrzymane na podstawie modelu sieciowego (MLP, 3:10:2, BP)

Fig. 5. Course of changing global displacement of workpiece as the function: a) component F_x , b) component F_y , c) component F_z , predicted by neural network model (MLP, 3:10:2, BP)



Rys. 6. Przebieg zmian sumarycznych odkształceń przedmiotu obrabianego y , z , w funkcji: a) składowej posuwowej F_x , b) składowej odporowej F_y , c) składowej obwodowej F_z , d) temperatury powierzchni T , otrzymane na podstawie modelu sieciowego (MLP, 4:10:2, BP)

Fig. 6. Course of changing global displacement of workpiece as the function: a) component F_x , b) component F_y , c) component F_z , d) temperature T of surface; predicted by neural network model (MLP, 4:10:2, BP)

6. Podsumowanie

Zaprezentowane powyżej, wybrane wyniki modelowania związków zachodzących między warunkami skrawania a cechami geometrycznymi przedmiotów po obróbce, wykazują wysoką zgodność odpowiedzi modelu z wynikami badań eksperymentalnych (dla zbiorów niebiorących udziału w procesie uczenia). Uzyskano 95% względną dokładność dopasowania sieci. Opisana metoda predykcji błędów ma szczególne znaczenie dla poprawy zasad projektowania technologii w przypadku kształtowania części maszyn podatnych na działanie sił i generowane podczas obróbki ciepło. Do takiej klasy wyrobów można zaliczyć tuleje cylindrowe silników spalinyowych, tuleje wykorzystywane w połączeniach pasowanych oraz podatne wałki.

Dysponowanie opracowanymi modelami procesu skrawania umożliwi przewidywanie stanu geometrycznego przedmiotu na etapie przygotowania produkcji. Wiedza ta pozwoli na dobór optymalnych warunków obróbki.

7. Literatura

- [1] Oczos K.E.: *Wybrane trendy rozwojowe ubytkowego kształtowania materiałów*. Konferencja: Nowoczesne technologie w przemyśle obrabiarek i narzędzi. Mach-Tool 2002. Poznań 2002, 2-30.
- [2] Żebrowski H., (red): *Trendy w ubytkowych metodach obróbki*. Automatyzacja produkcji '97. Innowacje w technice i zarządzaniu. Tom 2. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej. Wrocław 1997. 175-212.
- [3] Bryan J.: *International status of thermal error research*. Annals CIRP, 39(2), pp. 645-656, 1990.
- [4] Li X.: *Real-Time Prediction of Workpiece Errors for a CNC Turning Centre, Part 1*. Measurement and Identification. Int. J. Adv. Manuf. Technol. 2001, 17, 649-653.
- [5] Li X.: *Real-Time Prediction of Workpiece Errors for a CNC Turning Centre, Part 2*. Modelling and Estimation of Thermally Induced Errors. Int. J. Adv. Manuf. Technol. (2001), 17, 654-658.
- [6] Li X.: *Real-Time Prediction of Workpiece Errors for a CNC Turning Centre, Part 3*. Cutting Force Estimation Using Current Sensors. Int. J. Adv. Manuf. Technol. 2001, 17, 659-664.
- [7] Li X.: *Real-Time Prediction of Workpiece Errors for a CNC Turning Centre, Part 4*. Cutting-Force-Induced Errors. Int. J. Adv. Manuf. Technol. 2001, 17, 665-669.
- [8] Liu Z. Q.: *Finite difference calculations of the deformations of multi-diameter workpieces during turning*. Journal of Materials Processing Technology. 2000, 98, 310-316.
- [9] Liu Z. Q., Venuvinod P.K.: *Error compensation in CNC turning solely from dimensional measurements of previously machined parts*. Annals CIRP, 48(1), pp. 429-432, 1999.
- [10] Liang J.C., Li H.F., Yuan J.X., Ni J.: *A comprehensive error compensation system for correction geometric, thermal, and cutting force-induced errors*. Int. J. Adv. Manuf. Tech. 13 (1997) 708-712.
- [11] Kops L., Gould M., Mizrach M.: *A search for equilibrium between workpiece deflection and depth of cut: key to predictive compensation for deflection in turning, 2*, Manuf. Sci. Eng., ASME PED, 68 (2) 1994, 819-825.
- [12] Moriwaki T., Zhao C.: *Neural network approach to identify thermal deformation of machining center*. Proceedings of 8th International IFIP WG5.3 Conference, PROLAMAT'92, Tokyo, Japan, pp. 685-697, 1992.
- [13] Orr M.J.L.: *Recent advances in radial basis function net-works*. Technical report, Institute for Adaptive and Neural computation, Edinburgh University, 1999.
- [14] Cheng Y.-H., Lin C.-S.: *A learning algorithm for radial basis function networks: with the capability of adding and pruning neurons*. Proceedings IEEE, pp. 797-801, 1994.
- [15] Lowe D.: *Adaptive radial basis function nonlinearities and the problem of generalization*. in 1st International Conference on Artificial Neural Networks, London, UK, pp. 171-175, 1989.

6. Summary

A relationship between conditions of machining process and geometrical feature of product has been presented in this paper. Chosen results of modeling, showing good compatibility of model output and results experimental research. Fitting neural network has been achieving 95%.

Presented method prediction of errors is very important for improvement principles of technology design especial for to shape parts of machines susceptible on action of cutting forces and heat. This class of products included cylinder sleeves of engine, sleeves used in fitting combination and flexible rollers.

Designed models can be used to prediction geometrical form of product on stage preparing of production. This knowledge make possible to design optimal parameters of machining.

- [16] Kubat M.: *Decision trees can initialize radial-basis function networks*. IEEE Transaction on Neural Networks, 9 (5), pp. 813–824, 1998.
- [17] Lipski J., Szabelski K., Warmiński J., Litak G., Zaleski K.: *Identification of cutting process using neural network*, Technical University of Budapest, International Workshop: Nonlinear Dynamics and Control in COST Action P4, 1999.
- [18] Lipski J.: *Modelowanie procesów obróbki skrawaniem z zastosowaniem sieci neuronowych*. VIII Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna, Zielona Góra 1997.
- [19] Lipski J., Lutek K., Nieszczeta W., Zaleski K.: *Ocena błędów obróbkowych spowodowanych odkształceniami cieplnymi przedmiotu obrabianego*. Konferencja: Forum prac badawczych – Kształtowanie części maszyn przez usuwanie materiału. Koszalin, 1994.
- [20] Józwiak J.: *Modelowanie zjawisk cieplnych zachodzących w strefie skrawania z zastosowaniem sieci neuronowych*. Ogólnopolska Konferencja SKN i MPN. Białystok 1999.

Dr hab. inż. Jerzy Lipski, prof. PL

Mgr inż. Jerzy Józwiak

Katedra Podstaw Inżynierii Produkcji

Wydział Mechaniczny

Politechnika Lubelska

ul. Nadbystrzycka 36

20-618 Lublin

e-mail: jerzy_j@archimedes.pol.lublin.pl
