

# SYSTEM EKSPERTOWY WSPOMAGAJĄCY PROJEKTOWANIE PROCESU TECHNOLOGICZNEGO

Izabela ROJEK

**Streszczenie:** W pracy przedstawiono system ekspertowy wspomagający projektowanie procesu technologicznego. Etapy projektowania procesu technologicznego przy użyciu systemu ekspertowego są następujące: dobór półfabrykatu; określenie struktury procesu technologicznego, czyli kolejności operacji i zabiegów technologicznych oraz dobór dla każdej operacji i zabiegu technologicznego oprzyrządowania przedmiotu obrabianego, obrabiarki, narzędzi, oprzyrządowania narzędziowego oraz parametrów obróbki. Wiedza w systemie występuje w postaci sieci neuronowych, reguł decyzyjnych oraz faktów. Działanie systemu ekspertowego pokazano na rzeczywistym przykładzie z przedsiębiorstwa.

**Słowa kluczowe:** proces technologiczny, system ekspertowy, reguła, sieć neuronowa

## 1. Wprowadzenie

Rozwój i stosowanie narzędzi informatycznych we wspomaganie projektowania procesu technologicznego jest przedmiotem badań naukowców z całego świata od wielu lat. Jednak zadanie to nie zostało jeszcze do końca rozwiązane i nadal w tym zakresie jest wiele do zrobienia. Gromadzenie coraz większej ilości danych produkcyjnych, w tym danych procesów technologicznych staje się coraz większym problemem dla twórców systemów informatycznych. Potencjalnie większa liczba danych powinna ułatwić rozwiązywanie zadań i problemów, jednak w praktyce tak nie jest. Dlatego następuje cały czas poszukiwanie coraz to bardziej zaawansowanych narzędzi informatycznych do analizy danych oraz ich eksploracji, a co za tym idzie do przetwarzania danych w wiedzę.

Proces technologiczny jest podstawową częścią procesu produkcyjnego związaną bezpośrednio ze zmianą kształtu, wymiarów, jakości powierzchni i właściwości fizykochemicznych przedmiotu obrabianego lub ustaleniem wzajemnego położenia części lub zespołów w wyrobie [1, 2]. Wychodząc od przygotowania półfabrykatu (materiału wyjściowego) w procesie technologicznym należy wykonać określone operacje technologiczne, w tym najczęściej obróbkę zgrubną, kształtującą, cieplną, wykańczającą lub bardzo dokładną. Dobór wymaganych operacji zależy od technologa. Projektowanie procesu technologicznego podzielone jest na etapy. Pierwszy etap to dobór półfabrykatu. Kolejno projektowana jest struktura procesu technologicznego, czyli kolejność operacji i zabiegów technologicznych. Następnie dla każdej operacji i zabiegu technologicznego dobierane jest oprzyrządowanie przedmiotowe, obrabiarka, narzędzie, oprzyrządowanie narzędziowe oraz parametry obróbki.

Opracowany system ekspertowy został wykorzystany do projektowania procesu technologicznego z użyciem reguł oraz sieci neuronowych [3].

## 2. Komputerowe wspomaganie projektowania procesu technologicznego

Tradycyjne podejście do projektowania procesu technologicznego polega na analizie rysunku części i metod wykonania, następnie identyfikacji i porównywaniu technologii części podobnych, a w końcu na opracowaniu procesu technologicznego [1]. System ten charakteryzuje się długim czasem projektowania oraz znaczącym udziałem prac rutynowych i czasochłonnych.

W związku ze złożonością procesu technologicznego można wyspecyfikować różne metody komputerowego wspomaganie projektowania procesu technologicznego (tab. 1), jednak niezależnie od wyboru jednej z nich projektowanie ma charakter iteracyjny.

Tab. 1. Metody komputerowego wspomaganie projektowania procesu technologicznego

Metoda	Opis
Wariantowa	W projektowaniu bierze się pod uwagę części technologicznie podobne, tzn. takie, które wykonywane są w podobnych (typowych) procesach technologicznych; komputer używany jest do identyfikacji tych części oraz edycji planu technologicznego dla konkretnej części [4, 5, 6].
Semigeneracyjna	Projektowanie bazuje na rozwinięciu klasycznej metody procesów typowych; plan obróbki zadanego przedmiotu jest uzyskiwany poprzez przejęcie i modyfikację uogólnionego typowego procesu (opracowanego dla przedstawiciela grupy przedmiotów podobnych); algorytm generowania procesu określa różnicę pomiędzy przedmiotem zadanym a typowym oraz automatycznie decyduje, które operacje są usuwane, włączone do procesu lub edytowane [5].
Generacyjna	Projektowanie polega na syntezie planu procesu technologicznego nowej części z procesów technologicznych opracowanych dla tworzących ją poszczególnych powierzchni elementarnych [4, 5, 6].

Od wielu lat trwają prace zmierzające do zwiększenia udziału metod sztucznej inteligencji (AI) w systemach wspomaganie projektowania procesów technologicznych. Zastosowanie metod eksploracji danych do odkrywania wiedzy zawartej w bazach gotowych procesów technologicznych jest narzędziem pozwalającym na sformalizowanie inwencji i doświadczenia technologa w postaci wiedzy w bazach wiedzy oraz na przeprowadzenie wnioskowania podobnego do rozumowania człowieka w trakcie projektowania procesu technologicznego. Wiedza technologiczna pozyskana przy użyciu metod AI oraz inteligentne systemy CAPP pozwalają na projektowanie procesów technologicznych bardziej dostosowanych do potrzeb konkretnego przedsiębiorstwa (tab. 2).

Tab. 2. Metody AI w systemach CAPP

Metoda AI	Zastosowanie
Systemy oparte na wiedzy – systemy ekspertowe (ES)	System ekspertowy znalazł liczne zastosowania w projektowaniu procesu technologicznego. Składa się zwykle z trzech głównych komponentów: bazy wiedzy, mechanizmu wnioskowania i interfejsu użytkownika. Jego zaletą jest organizacja wiedzy w postaci reguł umożliwiających korzystanie z systemu w sposób inteligentny [7, 8,9].

Sieci neuronowe (NN)	Sieci neuronowe usprawniają projektowanie procesu technologicznego – nie trzeba przeszukiwać wielu reguł (jak w przypadku systemów ekspertowych); system planowania zyskuje możliwości adaptacji i uczenia się na przykładach – nie trzeba formułować reguł. Korzystanie z sieci neuronowej pozwala na równoległe rozpatrywanie wielu ograniczeń [8, 10, 11].
Lasy losowe i drzewa decyzyjne (RF i DT)	Lasy losowe i drzewa decyzyjne stanowią podstawową metodę indukcyjnego uczenia się maszyn – ze względu na dużą efektywność, prostą programową implementację, intuicyjną obsługę. Metoda opiera się na analizie przykładów, charakteryzuje się bardzo dobrymi właściwościami klasyfikacji. Generowanie reguł na podstawie drzew decyzyjnych umożliwia ich zwarty zapis i znacznie skraca czas wnioskowania. Jako metoda klasyfikacji sprawdza się we wspomaganie projektowania procesu technologicznego – bardzo dobre algorytmy eksploracji danych umożliwiają wszechstronne korzystanie z technologicznych bazach danych [12, 13].
Algorytmy genetyczne (GA)	Algorytmy genetyczne stanowią doskonałą metodę optymalizacji. W pracy [14] omówiono zastosowanie algorytmu genetycznego do sekwencjonowania operacji wraz z doбором obrabiarki i narzędzi, co pozwoliło na znalezienie optymalnego planu procesu dla części.
Logika rozmyta, zbiory rozmyte (FL, FS)	Znaczna część procesu decyzyjnego planowania procesów może odbywać się w środowisku, w którym cele i ograniczenia są rozmyte, tzn. nie są dokładnie znane. Konieczne jest uzyskanie rozsądnego modelu systemu rzeczywistego, w czym pomaga logika rozmyta poprzez przekształcenie wiedzy ludzkiej w modele matematyczne i umieszczenie tej wiedzy w systemach inżynierskich (wraz z innymi informacjami, w których cele i ograniczenia mogą być modelowane przez zbiory rozmyte) [15].
Technologia agentowa (AT)	Technologia agentowa została użyta w inteligentnym systemie CAPP [16]. Umożliwia ona szybkie dostosowywanie systemu do zmian produktów oraz warunków produkcji w przedsiębiorstwie oraz poprzez szybkie dostosowywanie użycie systemu w warunkach różnych przedsiębiorstw produkcyjnych.

### 3. Case study – System ekspertowy do projektowania procesu technologicznego

#### 3.1. Przygotowanie danych

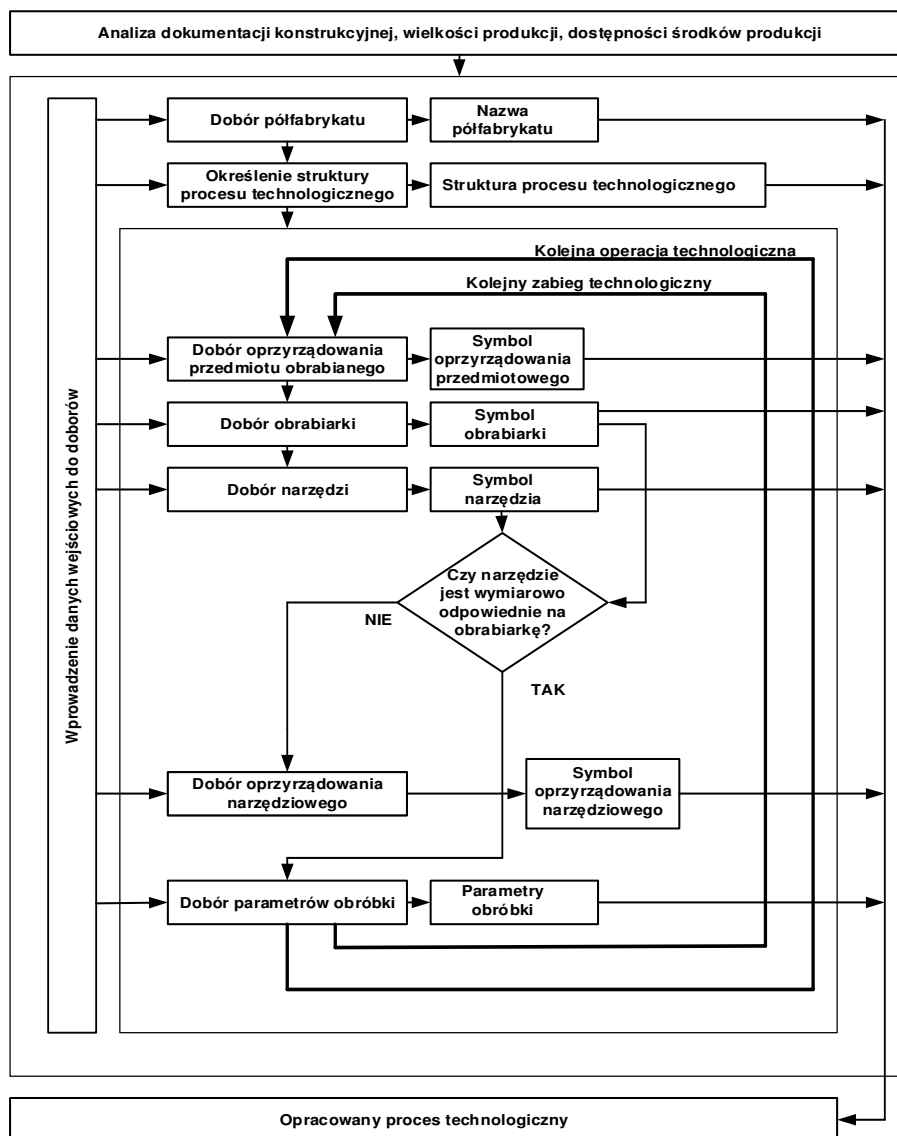
Dane zostały zebrane w przedsiębiorstwie BOHAMET S.A., które oferuje szeroki asortyment produktów. Rozpoznanie struktury organizacyjnej przedsiębiorstwa oraz przebiegu produkcji wyrobów było pierwszym etapem pozyskiwania danych na potrzeby inteligentnego systemu CAPP. Sposób projektowania procesu technologicznego oraz zakres zbieranych danych zależy również od typu produkcji przedsiębiorstwa. W zależności od produkowanych części jest to produkcja jednostkowa, małoseryjna, średnioseryjna i wielkoseryjna. Charakterystyczną cechą produkcji jest duża liczba wariantów wyrobów produkowanych w seriach lub jednostkowo. Ich różnorodność powoduje, że stosowany jest niewielki stopień standaryzacji. Na potrzeby badań została przeanalizowana szczegółowo obróbka metali. Niektóre części wykonywane są jako

elementy jednostkowe, inne natomiast można zaliczyć do produkcji mało lub średnioseryjnej. Podczas produkcji wyrobów wykonywane są podstawowe operacje technologiczne, takie jak: cięcie, cięcie laserem, wiercenie, frezowanie, toczenie, szlifowanie, gwintowanie i inne. Przeanalizowano wykonywane wyroby, park maszynowy, narzędzia, oprzyrządowanie oraz stosowane półfabrykaty. Zapoznano się z gotowymi procesami technologicznymi produkowanych wyrobów. Przeprowadzono szereg rozmów z technologami z przedsiębiorstwa oraz obserwowano ich pracę.

Zebrano dane o półfabrykatach, strukturach procesów technologicznych, obrabiarkach konwencjonalnych oraz sterowanych numerycznie, narzędziach skrawających oraz oprzyrządowaniu przedmiotu obrabianego i narzędziowym. Zebrano wiedzę technologiczną w postaci opracowanych procesów technologicznych oraz we współpracy z technologami ustalono zawartość plików uczących sieci neuronowych. Pliki uczące zawierają przykłady doborów półfabrykatów, oprzyrządowania przedmiotu obrabianego, obrabiarek, narzędzi, oprzyrządowania narzędziowego oraz parametrów obróbki. Przykłady opracowanych elementów procesu technologicznego zawierają bardzo duży udział wiedzy, doświadczenia i intuicji technologów.

### **3.2. Algorytm działania systemu ekspertowego**

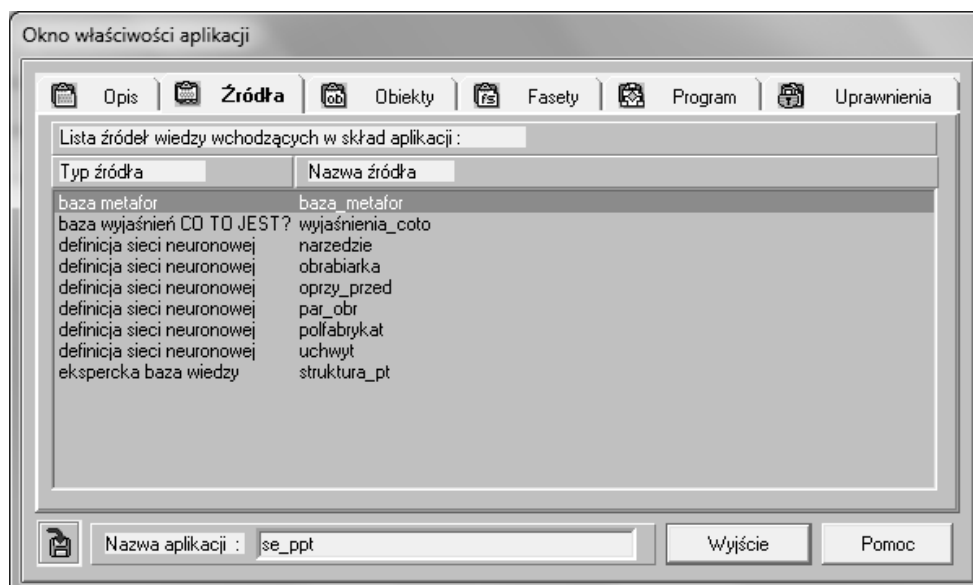
Po analizie dokumentacji konstrukcyjnej, wielkości produkcji oraz dostępności środków produkcji, projektowanie procesu technologicznego rozpoczyna się od doboru półfabrykatu (rys. 1). Na wejściu należy podać dane. Model w postaci sieci neuronowej przetwarza je i podaje wynik – dobrany półfabrykat. Następnie określa się strukturę procesu technologicznego, czyli kolejność operacji i zabiegów technologicznych z użyciem reguł decyzyjnych. W przypadku każdej operacji i zabiegu technologicznego wprowadza się dane wejściowe w celu doboru oprzyrządowania przedmiotu obrabianego za pomocą modelu sieci neuronowej. W efekcie otrzymuje się symbol oprzyrządowania mocującego obrabiany przedmiot. Następnie na podstawie wprowadzonych danych wejściowych i zgodnie z modelem sieci neuronowej dobierane są kolejno obrabiarka i narzędzie. Kolejnym etapem jest sprawdzenie dopasowania narzędzia do obrabiarki (na podstawie wymiarów narzędzia). W przypadku niezgodności wymiarów należy dobrać oprzyrządowanie narzędziowe: po wprowadzeniu symbolu obrabiarki i narzędzia model w postaci sieci neuronowej dobiera odpowiedni symbol oprzyrządowania narzędziowego. Ostatnim etapem jest dobór parametrów obróbki: symbol obrabiarki i narzędzia z pozostałymi danymi wprowadzane są na wejście sieci neuronowej i na tej podstawie dobierane są parametry obróbki. Projektowanie procesu technologicznego kończy się wraz z wykonaniem doborów dla operacji i zabiegów zawartych w opracowanej wcześniej strukturze tego procesu technologicznego.



Rys. 1. Algorytm działania systemu ekspertowego

### 3.3. Źródła wiedzy systemu ekspertowego

Wspomaganie projektowania procesu technologicznego zostało opracowane z zastosowaniem metod sztucznej inteligencji. Na rysunku 2 przedstawiono źródła wiedzy zawarte w systemie ekspertowym. Poza źródłami wiedzy w postaci definicji sieci neuronowych oraz eksperckiej bazy wiedzy w postaci reguł decyzyjnych do określania struktury procesu technologicznego system zawiera bazę *metafor*, która zawiera wyjaśnienia rozwiązań podanych przez system oraz bazę wyjaśnień typu *coto*, służącą do wyjaśniania pojęć w trakcie działania systemu.



Rys. 2. Źródła wiedzy technologicznej  
Źródło: [3]

Przykład definicji sieci neuronowej doboru obrabiarki został pokazany w postaci kodu programu w języku Sphinx:

Deklarowane są dwie tablice *We* i *Wy* typu rekordowego

```
record NeuralNet We[14];
```

```
record NeuralNet Wy[1];
```

Poprzez interfejs użytkownik wprowadza dane wejściowe do doboru, które są wprowadzane do tablicy *We*. Następuje zainicjowanie, uruchomienie i usunięcie sieci neuronowej. Podczas uruchomienia sieci neuronowej do tablicy *Wy* zostaje wpisany symbol dobranej obrabiarki:

```
initNetwork(obrabiarka);
```

```
runNetwork(obrabiarka, We, Wy);
```

```
delNetwork(obrabiarka);
```

```
char Sym_obrabiarki;
```

```
Sym_obrabiarki:=Wy[0].Symbol;
```

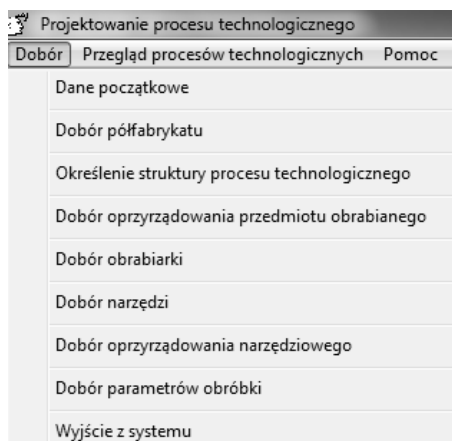
Podobnie zdefiniowane są sieci neuronowe doboru półfabrykatów, oprzyrządowania przedmiotu obrabianego, narzędzi, oprzyrządowania narzędziowego i parametrów obróbki.

Ekspercka baza wiedzy służąca do określania struktur procesów technologicznych została utworzona przy użyciu faktów (nazw operacji i zabiegów technologicznych) i reguł. Wybór operacji technologicznej określa wybór kolejnych ze zbioru możliwych. Tak samo w przypadku zabiegów technologicznych. Poszczególne operacje i zabiegi technologiczne określone przez technologa tworzą strukturę całego procesu technologicznego.

### 3.4. Przykład działania systemu ekspertowego

Prototyp systemu ekspertowego wspomagającego projektowanie procesu technologicznego został utworzony przy użyciu pakietu sztucznej inteligencji AITECH SPHINX. Działanie systemu pokazano na rzeczywistym przykładzie z przedsiębiorstwa BOHAMET S.A. dotyczącego wyrobu *Korpus blokady*, który został wykonany z *plaskownika* z naddatkiem 1,5mm. Operację *cięcia* wykonano na *pile taśmowej*. Do zamocowania półfabrykatu wybrano *imadło maszynowe* obrabiarki. Prototyp systemu umożliwia dobór półfabrykatu, określenie struktury procesu technologicznego oraz dobór oprzyrządowania przedmiotu obrabianego, obrabiarki, narzędzi, oprzyrządowania narzędziowego i parametrów obróbki dla operacji i zabiegów technologicznych. Rysunek 3 pokazuje menu systemu wspomagania projektowania procesu technologicznego.

Opcja *Dane początkowe* pozwala na wprowadzenie danych ogólnych dotyczących np. nazwy wyrobu, wielkości produkcji. Opcja *Dobór półfabrykatu* przy użyciu sieci neuronowej określa półfabrykat, z którego zostanie wykonany wyrób. Opcja *Określenie struktury procesu technologicznego* pozwala ustalić kolejność operacji technologicznych do wykonania na podstawie zbioru operacji technologicznych i reguł. Opcja *Dobór oprzyrządowania przedmiotu obrabianego* określa oprzyrządowanie do zamocowania przedmiotu na obrabiarce przy użyciu sieci neuronowych. Opcja *Dobór obrabiarki* przy użyciu sieci neuronowych określa obrabiarkę, na której zostanie wykonana operacja technologiczna. Opcja *Dobór narzędzi* określa narzędzie do obróbki przy użyciu sieci neuronowych. Jeśli nie można zamocować narzędzia na obrabierkę ze względu na różnice wymiarów, to można zastosować opcję *Dobór oprzyrządowania narzędziowego* w celu wybrania oprzyrządowania narzędziowego. Dobór również następuje przez sieć neuronową. Na końcu stosowana jest opcja *Dobór parametrów obróbki* przy użyciu sieci neuronowych.



Rys. 3. Menu systemu ekspertowego

Źródło: [3]

Technolog wprowadza dane początkowe: nazwę wyrobu oraz wielkość produkcji. Następnie dokonuje on doboru półfabrykatu. Na rysunku 4 pokazany został dobór półfabrykatu. Po wprowadzeniu danych wejściowych: klasy części (korpus), wielkości

produkcji (jednostkowa), dostępności (tak), kształtu części (kostka) oraz gatunku materiału (EN-AW 5754 aluminium) sieć neuronowa jako półwyrob dobrała *plaskownik*.

DOBÓR PÓLFABRYKATÓW	
<b>WEJŚCIE - WPROWADŹ DANE</b>	
Klasa części	<input type="text" value="korpus"/>
Wielkość produkcji	<input type="text" value="jednostkowa"/>
Dostępność	<input type="text" value="tak"/>
Kształt części	<input type="text" value="kostka"/>
Gatunek materiału	<input type="text" value="EN-AW 5754 aluminium"/>
<b>WYJŚCIE SIECI NEURONOWEJ- DOBRANY PÓLFABRYKAT</b>	
<b>PÓLFABRYKAT</b>	<input type="text" value="plaskownik"/>

Rys. 4. Dobór półfabrykatu

Źródło: [3]

Następnie technolog określa strukturę procesu technologicznego, wykorzystując operacje i zabiegi technologiczne wprowadzone do bazy wiedzy. Technolog na podstawie zbioru wielu operacji i zabiegów technologicznych oraz reguł zawartych w systemie ekspertowym tworzy strukturę procesu technologicznego. Na rysunku 5. została pokazana struktura procesu technologicznego dla części *korpus blokady*, czyli zbiorcze zestawienie operacji, zabiegów i zamocowań.

Dla zabiegu technologicznego *frezowanie gabarytu* został przedstawiony dobór oprzyrządowania przedmiotu obrabianego, obrabiarki, narzędzia, oprzyrządowania narzędziowego i parametrów obróbki.

*Dobór oprzyrządowania przedmiotu obrabianego* został przedstawiony na rysunku 6. Po wprowadzeniu danych wejściowych: półfabrykatu (plaskownik), wielkości produkcji (jednostkowa), kształtu części (kostka), szybkości mocowania (tak), powtarzalności obróbki (nie) oraz sposobu obróbki (frezowanie) sieć neuronowa jako oprzyrządowanie przedmiotu obrabianego dobrała *imadło maszynowe*.





**Dobór obrabiarki.** Użytkownik podaje dane wejściowe do sieci neuronowej, tzn. rodzaj obróbki (kształtująca), X – długość półfabrykatu (65mm), Y - szerokość półfabrykatu/średnica (30mm), Z - wysokość półfabrykatu/średnica (30mm), X - długość przestrzeni roboczej (800mm), Y - szerokość przestrzeni roboczej (500mm), Z - wysokość przestrzeni roboczej (500mm), max. średnica freza (50mm), Długość narzędzia (250mm), koszt eksploatacji obrabiarki (120PLN/h), min. prędkość obrotowa (50obr/min), max. prędkość obrotowa (8000obr/min), max. posuw  $f$  (10000mm/min) oraz moc obrabiarki (7,5KW). Po podaniu danych wejściowych *sieć neuronowa dobiera obrabiarkę (LG800)*.

**Kolejno system dobiera narzędzie.** Użytkownik podaje dane wejściowe do doboru: rodzaj obróbki (kształtująca), rodzaj powierzchni obrabianej (frezowanie gabarytu), rodzaj materiału obrabianego (EN-AW 5754 aluminium), chropowatość (6,3), rodzaj freza (monolit), rodzaj mocowania freza (trzcień), średnica freza (16mm), kształt freza (walcowy weldon), liczba ostrzy (3), długość całkowita freza (32mm), min. prędkość skrawania  $v_c$  (250m/min), max. prędkość skrawania  $v_c$  (500m/min), głębokość skrawania  $a_p$  (9mm), posuw  $f$  (796mm/min), koszt eksploatacji (120PLN), szerokość frezowania  $a_e$  (1mm). Po podaniu danych wejściowych *sieć neuronowa dobiera frez (Fi16W)*.

Po dobraniu narzędzia *system pyta: Czy dobrać uchwyt narzędziowy?* Jeśli TAK to następuje dobór oprzyrządowania narzędziowego. Użytkownik podaje dane wejściowe do doboru: symbol obrabiarki (LG800) i symbol narzędzia (Fi16W). Po podaniu danych wejściowych *sieć neuronowa dobiera uchwyt narzędziowy (7624 BT40.A63.WE16)*. Uchwyty narzędziowe są skojarzone z konkretnymi narzędziami i obrabiarkami.

**Następnie system dobiera parametry obróbki.** Użytkownik podaje dane wejściowe do doboru: rodzaj obróbki (kształtująca), rodzaj materiału obrabianego (EN-AW 5754 aluminium), symbol wybranego narzędzia (Fi16W), chropowatość (6,3), głębokość skrawania  $a_p$  (9mm), szerokość frezowania  $a_e$  (1mm), docelowa głębokość (18mm), symbol obrabiarki (LG800). Po podaniu danych wejściowych *sieć neuronowa dobiera parametry obróbki: posuw  $f$  (796mm/min), prędkość skrawania  $v_c$  (400m/min), czas trwania (31s), trwałość ostrza (30min)*.

Podsumowanie dla zabiegu *frezowanie gabarytu* pokazano na rysunku 7.

PODSUMOWANIE	
Operacja technologiczna	frezowanie
Zabieg technologiczny	frezowanie gabarytu
Symbol obrabiarki	LG800
Symbol narzędzia	Fi16W
Symbol oprzyrządowania narzędziowego	7624 BT40.A63.WE16
Posuw	796 [mm/min]
Prędkość skrawania	400 [m/min]
Czas trwania zabiegu	31 [s]
Trwałość ostrza	30 [min]

Rys. 7. Podsumowanie dla zabiegu *frezowanie gabarytu*

Źródło: [3]

Wszystkie wyniki otrzymane z systemu ekspertowego zostały zweryfikowane i uznane za poprawne przez technologów z przedsiębiorstwa BOHAMET, co należy uznać za potwierdzenie przydatności tego typu narzędzi informatycznych w praktyce przemysłowej.

## 6. Podsumowanie

Ideą badań było opracowanie systemu wspomagania projektowania procesu technologicznego, którego funkcjonowanie przypominałoby sposób działania człowieka będącego ekspertem w danej dziedzinie, mającego zdolność gromadzenia niezbędnej wiedzy, analizowania danych i wyciągania wniosków służących do rozwiązywania problemów. To właśnie jest możliwe poprzez zastosowanie metod AI w tych systemach. Przeprowadzone badania wykazały użyteczność metod AI (sieci neuronowych i reguł decyzyjnych) oraz ich dużą skuteczność do wspomagania wybranych elementów projektowania procesu technologicznego. Zastosowane metody AI dały duże możliwości korzystania z danych zawartych w technologicznych bazach danych.

System ekspertowy dedykowany jest technologom, którzy jeszcze nie posiadają wystarczającego doświadczenia w projektowaniu procesów technologicznych lub dopiero rozpoczynają pracę w określonym przedsiębiorstwie produkcyjnym oraz nie znają dobrze parku maszynowego, czy innych środków produkcji danego przedsiębiorstwa. Należy podkreślić, że taki system pełni rolę doradczą, a decyzja zawsze należy do technologa. Działanie systemu ekspertowego pokazano na rzeczywistym przykładzie z przedsiębiorstwa.

## Literatura

1. Feld M.: Podstawy projektowania procesów technologicznych typowych części maszyn, WNT, Warszawa, 2009.
2. Wodecki J.: Podstawy projektowania procesów technologicznych części maszyn, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2011.
3. Rojek I.: Zastosowania metod sztucznej inteligencji w projektowaniu i nadzorowaniu procesów technologicznych obróbki skrawaniem, Wydawnictwo Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego, Bydgoszcz, 2017.
4. Weiss Z.: Techniki komputerowe w przedsiębiorstwie, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań, 2002.
5. Duda J.: Wspomagane komputerowo generowanie procesu obróbki w technologii mechanicznej, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków, 2003.
6. Gawlik J., Plichta J., Świć A.: Procesy produkcyjne, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa, 2013.
7. Chlebus E., Krot K., Kuliberda M.: Planowanie procesów technologicznych obróbki z zastosowaniem systemów ekspertowych, *Archiwum Technologii Maszyn i Automatyzacji*, 31, 4, 2011, 115-123.
8. Xu X., Wang L., Newman S.T.: Computer-aided process planning – A critical review of recent developments and future trends, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 24, 1, 2011, 1–31.
9. Tan C.F., Kher V.K., Ismail N.: An expert system carbide cutting tools selection system for CNC lathe machine, *International Review of Mechanical Engineering*, 6, 7, 2012, 1402-1405.

10. Rojek I.: Technological Process Planning by the Use of Neural Networks, *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*, 31, 1, 2017, 1-15.
11. Yusof Y., Latif K.: Survey on computer-aided process planning, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 75, 1, 2014, 77-89.
12. Bubeník P., Horák F.: Knowledge-based systems to support production planning, *Journal Tehnički vjesnik – Technical Gazette*, 21, 3, 2014, 505-509.
13. Rojek I.: Wspomaganie projektowania procesu technologicznego przy użyciu drzew klasyfikacyjnych, red. Ryszard Knosala, *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji, II*, Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole, 2015, 182-191.
14. Liu L., Qiao L. H.: Operation Sequencing Using Genetic Algorithm, *Applied Mechanics and Materials*, 163, 2012, 57-61.
15. Hazarika M., Deb S., Dixit U.S., Davim J.P.: Fuzzy set-based set-up planning system with the ability for online learning, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 225, 2, 2011, 247-263.
16. Wang Z., Tan Ch., Li Q., Chen Y.: Research on Intelligent CAPP System Based on Multi-agent System, *Proceedings of 9<sup>th</sup> International Conference on Hybrid Intelligent Systems*, Shenyang, China, 2009.

Dr hab. inż. Izabela ROJEK  
 Instytut Mechaniki i Informatyki Stosowanej,  
 Uniwersytet Kazimierza Wielkiego  
 85-064 Bydgoszcz, ul. Chodkiewicza 30  
 tel./fax: (0-52) 325 76 30/ (0-52) 325 76 44  
 e-mail: izarojek@ukw.edu.pl