

ZASTOSOWANIE LOGIKI ROZMYTEJ W DOBORZE PRACOWNIKÓW DO ZLECEŃ PRODUKCYJNYCH

Grzegorz KŁOSOWSKI

Streszczenie: W artykule zaprezentowano koncepcję zastosowania wielopoziomowego, rozmytego systemu wnioskowania, którego celem była automatyczna selekcja i klasyfikacja pracowników zatrudnionych w przedsiębiorstwie produkcyjnym, do realizacji zróżnicowanych zadań produkcyjnych. Opracowano symulacyjny model systemu produkcyjnego, zawierającego sterownik rozmyty oraz linię produkcyjną. Zrealizowano eksperyment symulacyjny, którego rezultaty potwierdziły możliwość zastosowania omawianego rozwiązania w problematyce doboru i optymalnego wykorzystania kadry produkcyjnej.

Słowa kluczowe: symulacja, modelowanie, klasyfikacja, logika rozmyta, niezawodność

1. Wprowadzenie

Niezawodność systemów produkcyjnych zależy od poziomu niezawodności najniższych elementów tych systemów. Rozpatrując systemy produkcyjne, często wyróżnia się spośród jego składników środki techniczne i zasoby ludzkie. Zakładając, że celem każdego przedsiębiorstwa jest kreowanie wartości, należy stwierdzić, że odbywa się to poprzez maksymalizację przychodów i minimalizację kosztów. W gospodarkach konkurencyjnych, możliwości redukcji kosztów bezpośrednich poprzez zawieranie korzystnych umów z dostawcami materiałów i surowców niezbędnych do produkcji, zazwyczaj można uznać za wyczerpane. Stąd powód aby zwrócić się w stronę poszukiwania innych grup kosztów, które mają potencjał do ich minimalizacji. W wyniku obserwacji wielu systemów produkcyjnych oraz wywiadów przeprowadzonych z menedżerami stwierdzono, że istnieje potencjał do redukcji kosztów błędów natury ludzkiej. Chodzi tu o przypadkowe błędy popełniane przez pracowników w trakcie realizacji procesów produkcyjnych, których skutki powodują określone straty, a więc także koszty. Stwierdzono, że odpowiednie przypisanie pracowników niższych szczebli do stanowisk i zadań skutkuje redukcją poziomu ryzyka zakłóceń w odniesieniu do operacyjnych i pomocniczych procesów biznesowych. W konsekwencji, dobór ten wpływa także na realizację procesów głównych, od których zależy sukces całego przedsiębiorstwa [1].

Procesy zachodzące w dyskretnych systemach produkcyjnych sprawiają, że problemy związane z ich funkcjonowaniem mają charakter optymalizacyjny. Zwłaszcza znaczny stopień złożoności tego typu systemów uzasadnia potrzebę użycia odpowiednich metod [2, 3]. Często stosuje się programy komputerowe wykorzystujące wiedzę ekspercką [4]. Systemy zawierające logikę rozmytą także są dość powszechnie stosowanymi metodami rozwiązywania problemów produkcyjnych [5].

Przy obecnym, wysokim stanie techniki, w wielu zautomatyzowanych przedsiębiorstwach produkcyjnych, najczęstszym źródłem nieprzewidywalnych problemów stanowi czynnik ludzki. Pomimo tego, że wraz z postępem technicznym, coraz więcej

pojedynczych zadań i całych procesów produkcyjnych może być realizowanych bez aktywnego udziału pracowników, nie da się ich całkowicie wyeliminować. Istnieją systemy produkcyjne, które z uwagi na jednostkowy i zróżnicowany charakter zleceń wymagają znacznego udziału ludzi. W tej sytuacji, głównym problemem staje się opracowanie metody na zredukowanie kosztów wynikających z błędów popełnianych przez pracowników.

Dobór pracowników do zadań produkcyjnych wymaga wcześniejszego przeprowadzenia indywidualnych i szczegółowych ocen (tzw. profilowania) zatrudnionych pracowników. Profilowanie umożliwia klasyfikację i wieloprzekrojową analizę zatrudnionej kadry, dzięki czemu można ją efektywnie rozporządzać, a także kierować na odpowiednie szkolenia. W kontekście doboru pracowników do zadań produkcyjnych profilowanie wydaje się koniecznością. Z uwagi na wysoką pracochłonność i znaczne koszty, profilowanie staje się ekonomicznie uzasadnione jedynie w średnich i dużych organizacjach. Jednocześnie, duża ilość informacji o zatrudnionej w przedsiębiorstwie kadrze sprawia, że procesy selekcji i doboru pracowników powinny być zautomatyzowane. W przeciwnym razie procesy te trwają zbyt długo przez co tracą na wartości w oczach kierownictwa.

W niniejszym artykule zaprezentowano wielokryterialny sterownik decyzyjny, umożliwiający zautomatyzowaną klasyfikację pracowników pod względem ich przydatności do realizacji zadań produkcyjnych o zróżnicowanej randze. Rolą sterownika jest wspomaganie decyzji odnośnie optymalnego doboru pracowników produkcyjnych do stanowisk roboczych (maszyn i urządzeń) w kontekście realizacji osobno rozpatrywanych zleceń. Opiswany proces dotyczy jedynie pracowników zatrudnionych w konkretnym przedsiębiorstwie, nie uwzględniając rekrutacji nowych kadr spoza firmy.

2. Obiekt i cel badań

Obiektem badań jest dyskretny system produkcyjny średniego lub dużego przedsiębiorstwa, składający się z wielu stanowisk roboczych, w skład których wchodzi maszyny i urządzenia wymagające profesjonalnej obsługi wyszkolonych pracowników produkcyjnych. Stanowiska robocze można pogrupować ze względu na kryterium podobieństwa technologicznego. Dzięki temu, każdemu operatorowi obrabiarek można przypisać określoną grupę maszyn. Każdy z zatrudnionych w przedsiębiorstwie produkcyjnym operatorów obrabiarek, posiada odpowiednie kwalifikacje aby obsługiwać jedną lub więcej maszyn. Umożliwia to tworzenie wielu dopasowań pracowników do stanowisk roboczych, uwzględniających charakter konkretnych zleceń produkcyjnych [6].

Celem badań jest profilowany dobór pracowników produkcyjnych do konkretnych operacji w odniesieniu do określonych zleceń, spośród kadry zatrudnionej w przedsiębiorstwie.

Przedsiębiorstwo realizuje zlecenia produkcyjne, w ramach których poszczególni pracownicy produkcyjni realizują operacje przy użyciu określonych maszyn technologicznych. Każde zlecenie produkcyjne charakteryzuje się pewnymi parametrami, za pomocą których można określić jego priorytet w hierarchii ważności, z punktu widzenia interesów przedsiębiorstwa. W tabeli 1 zaprezentowano przykładowe cechy mogące posłużyć do ustalenia rangi konkretnego zlecenia produkcyjnego.

Tab.1. Sposób pomiaru cech zlecenia produkcyjnego

| L.p. | Cecha zlecenia | Sposób pomiaru |
|------|--|--------------------------------|
| 1. | Stopień pilności (termin realizacji) | Klasyfikacja w skali od 1 do 5 |
| 2. | Prestiż zlecenia | |
| 3. | Stopień złożoności | |
| 4. | Wymogi w zakresie karty produkcyjnej (poziom komunikacji, kreatywność, inwencja, sumiennosc) | |
| 5. | Wartość zlecenia | [zł] |
| 6. | Wielkość zlecenia | [szt.] |
| 7. | Koszt jednostkowy zakupu materiałów | [zł/szt.] |
| 8. | Cykl produkcyjny | [godz.] |
| 9. | Marża brutto w odniesieniu do całego zleceniu | [%] |
| 10. | Dopuszczalny poziom braków | [%] |

Jak widać, ocena rangi zlecenia nie jest łatwa, przede wszystkim z uwagi na jej relatywizm, zależność od kontekstu (subiektywizm) i wielowymiarowość. Ocenę trudno sprowadzić do postaci ilościowej, choćby z uwagi na fakt, że wpływ na nią mają między innymi kryteria jakościowe. W tabeli 1 pierwsze cztery cechy mają charakter jakościowy. Z tego powodu do ich oceny można użyć pięciostopniowej skali Likerta, która jest często stosowana przy sporządzaniu różnego rodzaju badań ankietowych. Warto zauważyć, że w przypadku określania prestiżu zlecenia (cecha nr 2 w tabeli 1) można brać pod uwagę wiele czynników, do których należy między innymi zleceniodawca oraz przedmiot zlecenia. Przykładowo, jeśli zleceniodawca jest wieloletnim klientem przedsiębiorstwa, który rokrocznie generuje znaczący procent obrotów – to z pewnością każde zlecenie od tego klienta będzie miało wysoki priorytet - nawet w przypadku zleceń kwotowo niewielkich. Skutkiem niezgodnej z oczekiwaniami realizacji zlecenia, byłoby pogorszenie relacji z ważnym klientem, czego konsekwencją mogłoby być pogorszenie warunków współpracy (niższe marże), utrata części przyszłych zleceń, a nawet całkowita utrata klienta.

Inny przykład dotyczy pozyskania nowego klienta. Kierownictwu firm rozwijających się zależy na pozyskiwaniu dużych odbiorców. Ci z kolei poddają swoich dostawców rygorystycznej weryfikacji. Proces pozyskiwania dużego, znanego na rynku odbiorcy może trwać wiele lat. Na ogół, ostatnim etapem audytowania dostawcy jest zlecenie na realizację serii próbnej określonych wyrobów. Może to być zlecenie o stosunkowo niskiej wartości finansowej ale z uwagi na wielkość i potencjał zleceniodawcy, z którym przedsiębiorstwo wiąże duże nadzieje na przyszłość, tego rodzaju zlecenie powinno otrzymać bardzo wysoki status.

Prócz kwestii związanych z trudnością oceny jakościowej, także zmienne ilościowe określające zlecenie mogą stanowić problem, choćby z uwagi na sposób ich wykorzystania w celu ustalenia statusu zlecenia. Gdyby podczas oceny skupić się jedynie na wartości zlecenia, wtedy można by pominąć fakt jego liczności i złożoności. Są zlecenia w ramach których należy wykonać kilka tysięcy prostych części, wymagających kilku nieskomplikowanych operacji. Z drugiej strony może się zdarzyć zlecenie, które kwotowo będzie zbliżone do poprzedniego, jednak mające charakter jednostkowy. Na cenę zaś będzie się głównie składać wysoki koszt zakupu materiału do tego zlecenia oraz robocizna bezpośrednia, na którą z kolei będzie miała wpływ konieczność zatrudnienia wysoko wykwalifikowanej kadry.

Kwalifikacje pracowników określone są poprzez pryzmat: wiedzy, umiejętności, doświadczenia i kompetencji. Odzwierciedleniem kwalifikacji jest poziom płac określany

stawką godzinową. Z punktu widzenia oceny skutków błędów natury ludzkiej, w przypadku wolumenowo dużych zleceń, nie ma konieczności angażowania kadry o wysokich kwalifikacjach merytorycznych. Wystarczy wtedy, aby pracownik był sumienny i nie popełniał błędów wynikających z braku koncentracji czy nieuwagi.

Inaczej jest w przypadku zleceń jednostkowych o dużej wartości. Wysoki koszt realizacji tego rodzaju zlecenia jest wynikiem konieczności dokonania zakupu drogich materiałów skoncentrowanych w niewielkiej ilości części, a także znacznego kosztu robocizny wysoko wykwalifikowanych pracowników inżynieryjno-technicznych.

Na szczególną uwagę zasługuje zagadnienie kosztu popełnionego błędu natury ludzkiej. W przypadku zleceń polegających na obróbce dużej liczby prostych (pod względem technologiczno-konstrukcyjnym) części, skutkiem błędu pracownika może być zniszczenie części lub koszt jej naprawy. Ponieważ są to części o stosunkowo niewielkiej wartości – ważne jest aby błędów nie było wiele – jednak pojedyncze przypadki błędów nie mają dużego znaczenia. W przypadku zleceń jednostkowych sytuacja jest inna. Tutaj każdy pojedynczy błąd – skutkujący uszkodzeniem lub koniecznością naprawy części – jest kosztowny. W interesie przedsiębiorstwa jest więc podjęcie wysiłku nie tyle w celu całkowitego wyeliminowania błędów natury ludzkiej, ale w celu redukcji skutków tych błędów, które prawdopodobnie i tak się zdarzą.

3. Metoda badawcza

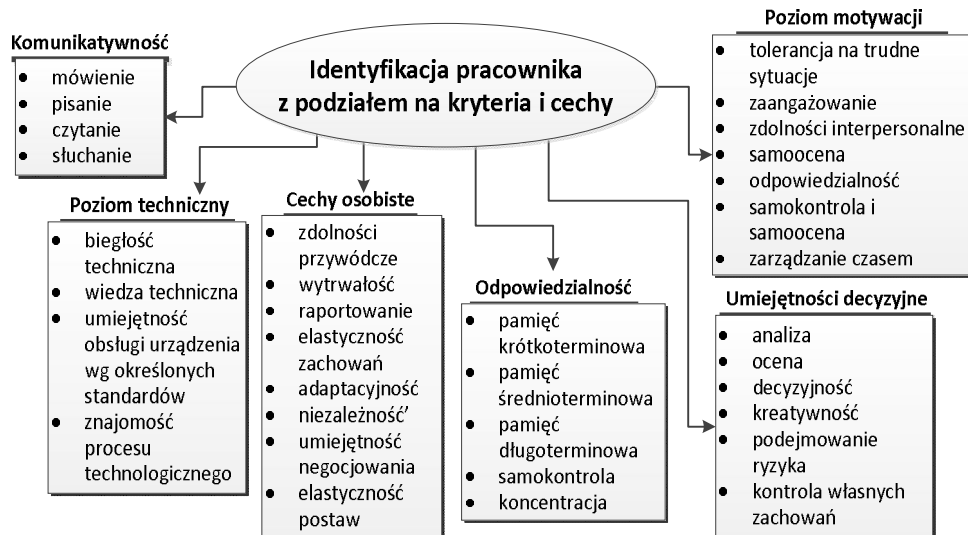
Do rozwiązania problemu doboru pracowników produkcyjnych zastosowano metodę symulacji komputerowej. W tym celu opracowano dwupoziomowy sterownik bazujący na logice rozmytej [7, 8, 9], którego zadaniem było przekształcenie zebranych drogą ankietową informacji na temat pracowników, na jeden syntetyczny parametr liczbowy.

Prócz tego, opracowano model symulacyjny systemu produkcyjnego, zawierającego cztery obrabiarki i czterech pracowników produkcyjnych (operatorów obrabiarek). Założono, że kwalifikacje każdego z operatorów pozwalają mu obsługiwać każdą z czterech obrabiarek. Do systemu produkcyjnego trafiają co pewien czas kolejne zadania produkcyjne w postaci części do obróbki. Każda część otrzymuje rangę, która jest liczbą naturalną z przedziału od 1 do 10. Ranga może być ustalana w oparciu o szereg cech wymienionych w tabeli 1.

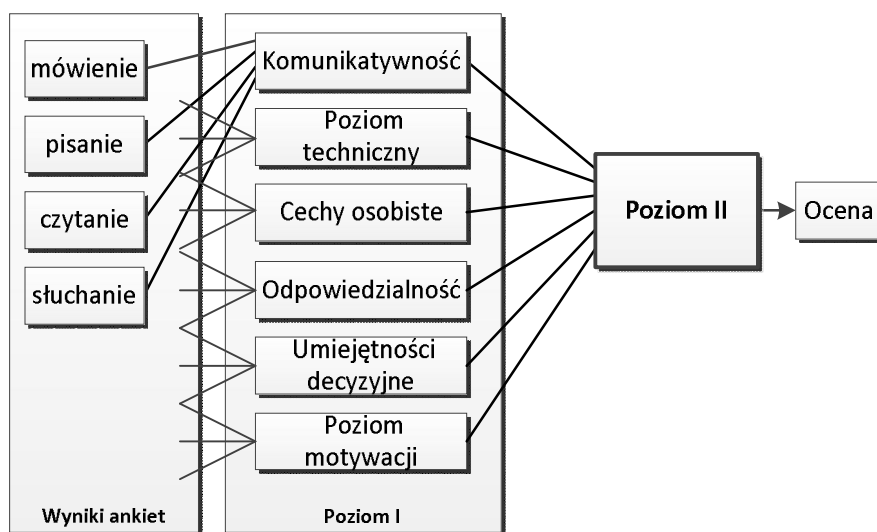
Każdy pracownik powinien być poddany ocenie ankietowej. Ocena ma na celu opracowanie indywidualnego profilu, uwzględniającego takie główne cechy osobowe jak: komunikatywność, poziom techniczny, cechy osobiste, odpowiedzialność, umiejętności decyzyjne oraz poziom motywacji. Każda cecha główna składa się z kilku cech szczegółowych, co zostało zaprezentowane na rys. 1.

Na pełny profil pracownika produkcyjnego składają się 34 cechy szczegółowe i 6 cech głównych. Cechy te określane są wg pięciostopniowej skali Likerta. Aby można było wykorzystać informacje zawarte w profilu pracownika, należało sprowadzić informacje w nim zawarte do poziomu liczbowego.

Zarys procesu transformacji danych o pracownikach prezentuje rys. 2. Pierwszym etapem procesu jest określenie poziomu wszystkich 34 cech szczegółowych. Ta czynność może być dokonana przez specjalistę do spraw oceny osobowości. Każda z cech zostaje określona liczbą z przedziału od 1 do 5. Kolejnym etapem jest zastosowanie rozmytego systemu wnioskowania opartego na tzw. modelu Mamdaniego.



Rys. 1. Struktura procesu profilowania pracownika
 Źródło: opracowanie własne na podstawie [10]



Rys. 2. Schemat systemu wnioskowania

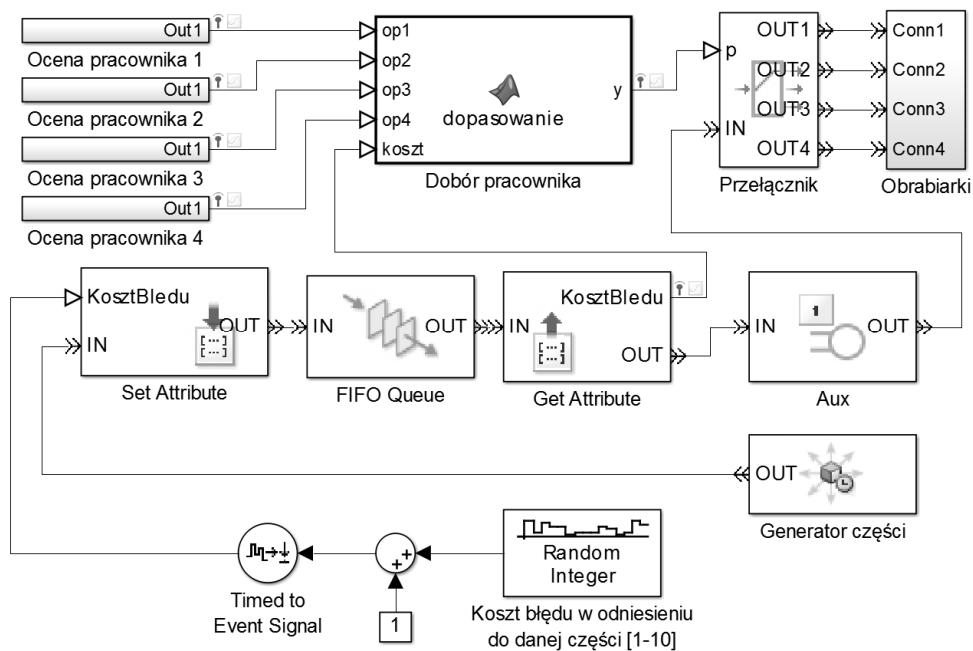
System jest dwustopniowy. Pierwszy stopień obejmuje określenie wartości sześciu głównych cech osobowych. W tym celu opracowano sześć osobnych sterowników rozmytych, po jednym dla każdej cechy głównej. Każdy sterownik pierwszego poziomu zawiera tyle wejść, ile przypada cech szczegółowych na daną cechę główną. Przykładowo, cecha główna o nazwie „komunikatywność” składa się z czterech cech szczegółowych: mówienie, pisanie, czytanie i słuchanie. W związku z powyższym, sterownik pierwszego poziomu określający poziom komunikatywności posiada cztery wejścia i jedno wyjście. Na wyjściu każdego sterownika pierwszego poziomu generowana jest liczba rzeczywista z

przedziału (0,1). Im wyższa liczba tym wyższy jest poziom ocenianej cechy głównej. Po zakończeniu tego etapu procesu oceny, system oceniający dysponuje sześcioma parametrami liczbowymi, które jednoznacznie identyfikują sześć głównych cech osobowości pracownika.

Rezultaty pierwszego etapu oceny stanowią dane wejściowe dla sterownika rozmytego poziomu drugiego (rys. 2). Po przetworzeniu sygnałów wejściowych sterownik generuje na wyjściu liczbę rzeczywistą z przedziału (0,1), która jest oceną zdolności pracownika w kontekście realizacji zleceń produkcyjnych.

Jak już wcześniej wspomniano, zlecenia produkcyjne są klasyfikowane w skali od 1 do 10. Zatem, jeżeli pomnożymy ocenę pracownika przez 10, otrzymamy dwie porównywalne oceny, które umożliwiają pomiar dopasowania pracowników do zleceń produkcyjnych. Tak też funkcjonuje opisywany system wspomagania decyzji. W końcowej fazie procesu przypisywania pracowników do stanowisk i zleceń system oblicza różnice pomiędzy ocenami pracowników, a oceną (kosztem błędów) zlecenia. Następnie system wybiera parę „pracownik-zlecenie” o najmniejszej różnicy ocen.

W prezentowanym modelu systemu produkcyjnego poczyniono pewne założenia, które upraszczają modelowanie lecz nie zacierają zasadniczych zagadnień problemowych, warunkujących zasadność proponowanego rozwiązania. Przede wszystkim ustalono, że w każdy z czterech pracowników ma przypisaną na stałe obrabiarkę. W ten sposób wybór pracownika jednocześnie oznacza wybór maszyny. Kolejnym założeniem jest pełna zamienność obrabiarek, które mogą zostać zastosowane do obróbki części w ramach konkretnej operacji produkcyjnej. Model systemu produkcyjnego z zaimplementowanym sterownikiem decyzyjnym został zaprezentowany na rys. 3.



Rys. 3. Model systemu produkcyjnego z zaimplementowanym sterownikiem decyzyjnym

W modelu można wyróżnić dwa główne podsystemy – rzeczowy i informacyjny. Rolą podsystemu rzeczowego jest symulacja łańcucha logistycznego w obrębie wydziału produkcyjnego. Pierwszym ogniwem łańcucha jest generator części. Co dwie jednostki czasu generuje on kolejną część, która trafia do produkcji. Generator części jest odpowiednikiem magazynu materiałów lub półfabrykatów, z którego pobierane są elementy do produkcji.

Następnym obiektem modelu jest element przypisujący pobranej z magazynu części atrybut o nazwie *KosztBledu*. Jest to liczba naturalna z przedziału (1,10). Im wyższy parametr tym wyższy jest koszt ewentualnego błędu popełnionego przez człowieka. W ten sposób oznakowane (sparametryzowane) części trafiają do bufora (obiekt *FIFO Queue*).

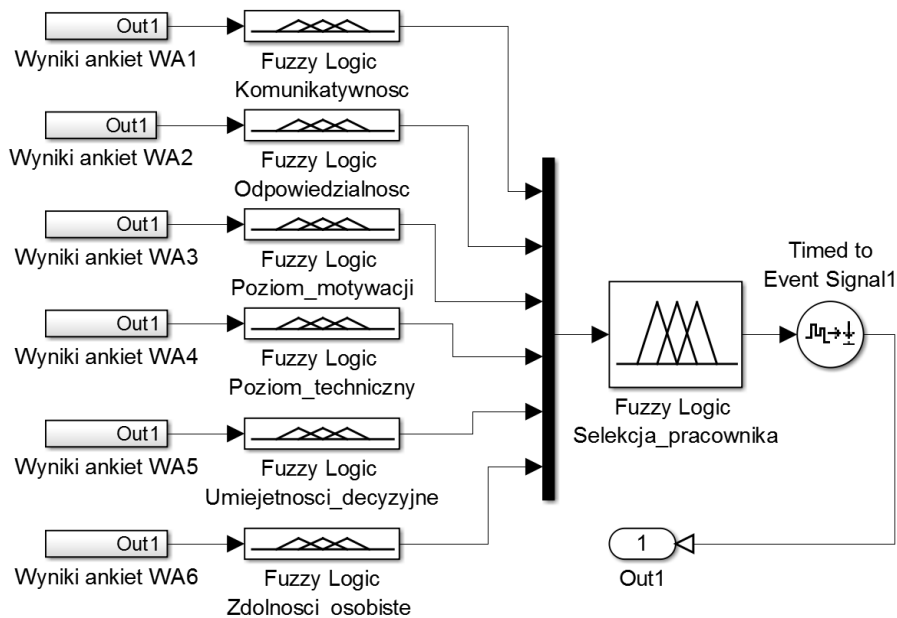
W chwili, gdy części pobierane są z bufora zapasów produkcji w toku, odczytywany jest ich atrybut kosztowy (obiekt *Get Attribute*), który stanowi jeden z argumentów funkcji o nazwie *dopasowanie*. Pozostałe cztery argumenty tej funkcji stanowią wyjścia rozmytych klasyfikatorów poszczególnych pracowników. Poniżej zaprezentowano kod funkcji *dopasowanie* w języku Matlab.

```
function y = dopasowanie(op1, op2, op3, op4, koszt)
% op1, op2, op3, op4 - oceny pracowników od nr 1 do 4.
% koszt - jest kosztem popełnienia błędu podczas
% obróbki danej części.
% Funkcja dopasowuje operacje (koszty błędów)
% do maszyn, a tym samym także do pracowników.

koszt=koszt/10;
wektor_pracownikow = zeros(1,4);
wektor_pracownikow(1) = abs(op1-koszt);
wektor_pracownikow(2) = abs(op2-koszt);
wektor_pracownikow(3) = abs(op3-koszt);
wektor_pracownikow(4) = abs(op4-koszt);
[~, nr_kol] = min(wektor_pracownikow);
y = nr_kol;
```

Opisywana funkcja najpierw wylicza różnice między klasyfikatorami odnoszącymi się do części i ludzi, by ostatecznie wybrać parę argumentów najbardziej do siebie zbliżonych. Ponieważ argumenty określające osoby są liczbami rzeczywistymi z przedziału (0,1), a klasyfikator części jest liczbą naturalną od 1 do 10, należało sprowadzić oba typy argumentów do jednakowego rzędu wielkości. W tym celu zastosowano przeliczenie $\text{koszt}=\text{koszt}/10$, dzięki któremu obie wartości zostały sprowadzone do przedziału (0,1). Dzięki temu wzrosła precyzja obliczania różnic pomiędzy kosztami błędów, a klasyfikatorami profili pracowników.

Na rys. 4 zaprezentowano sposób zamodelowania dwustopniowego sterownika rozmytego. Wyniki ankiet generowane są losowo, jednak w taki sposób aby każdy z obiektów systemu symulacyjnego przypisany do konkretnej cechy głównej generował wektor liczb naturalnych od 1 do 5 (wg skali Likerta). Przykładowo, obiekt „Wyniki ankiet WA1” generuje na wyjściu wektor czterech liczb odpowiadających czterem cechom szczegółowym, a mianowicie: mówienie, pisanie, czytanie, słuchanie (rys. 1). Wektor ten jest tożsamy z danymi wejściowymi do sterownika rozmytego pierwszego poziomu, którego zadaniem jest oszacowanie jednej z sześciu cech głównych – komunikatywności. Na wyjściu każdego z sześciu sterowników pierwszego poziomu, generowana jest liczba rzeczywista (0,1).



Rys. 4. Model dwupoziomowego systemu wnioskowania

Wektor sześciu liczb tworzy wejścia sterownika poziomu drugiego (Selekcja_pracownika), który generuje na wyjściu ostateczną ocenę – również liczbę rzeczywistą z przedziału (0,1). Rys. 4 jest obrazem zawartości obiektu o nazwie „Ocena pracownika 1” z rys. 1.

Jak wiadomo, każdy rozmyty system wnioskowania zbudowany na bazie metody Mamdaniego, zawiera mechanizmy rozmywania i wyostrzania. W opisywanym przypadku założono, że większość wejść będzie rozmywana przy pomocy pięciu lub trzech funkcji przynależności o przebiegu gaussowskim. Wyostrzanie przebiega przy użyciu pięciu funkcji trójkątnych opisanych zależnością (1).

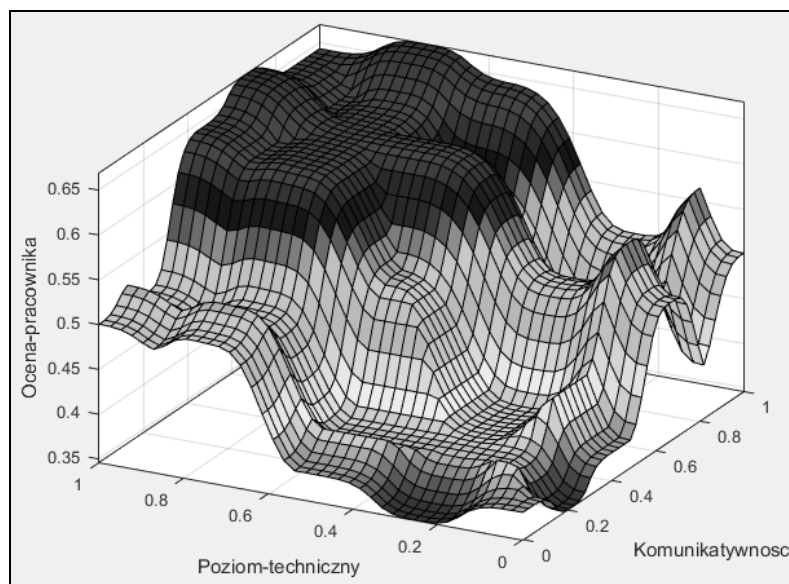
$$f(x; a, b, c) = \max\left(\min\left(\frac{x-a}{b-a}, \frac{c-x}{c-b}\right), 0\right) \quad (1)$$

gdzie:

- x – wartość wejścia,
- a, c – położenie dolnych punktów podstawy trójkąta,
- b – położenie wierzchołka trójkąta.

Na rys. 5 zaprezentowano powierzchnię odpowiedzi określającą wpływ poziomu technicznego i komunikatywności na ocenę pracownika. Widać, że powierzchnia charakteryzuje się dużym stopniem złożoności, co może świadczyć o dopasowaniu sterownika rozmytego do różnorodnych uwarunkowań, których odzwierciedleniem są wartości wejściowe sterownika rozmytego. Próba sformułowania funkcji matematycznej określającej tego rodzaju złożoną powierzchnię odpowiedzi byłaby trudna. Dzięki zastosowaniu prostych reguł lingwistycznych udało się uzyskać funkcję, która z dużą

precyzją odzwierciedla zachodzący proces oceny oraz przypisania pracowników do zleceń i stanowisk.



Rys. 5. Struktura procesu identyfikacji pracownika

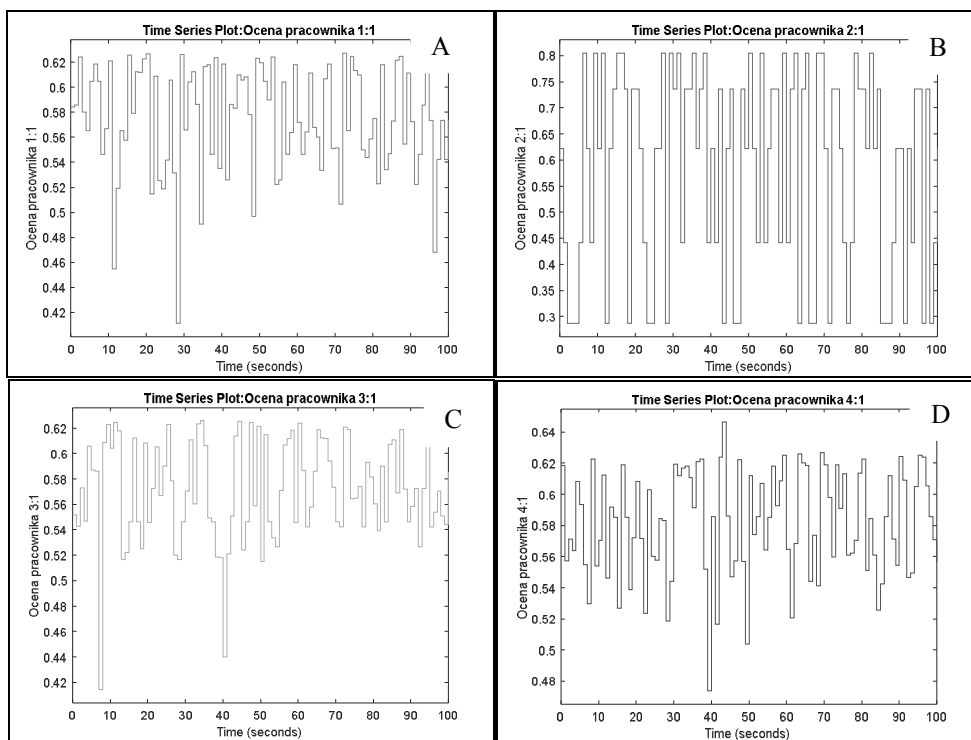
4. Analiza wyników eksperymentu symulacyjnego

Eksperyment polegał na przeprowadzeniu symulacji procesu produkcji części z uwzględnieniem doboru pracownika do określonego zlecenia i operacji. Model opracowano wykorzystując oprogramowanie Matlab Simulink.

Czas trwania modelowanego procesu wynosił 100 sekund, jednak każdą sekundę symulacji należy traktować jako umowną jednostkę czasu. W rozpatrywanym przypadku jest sprawą względną i nieistotną, czy czas będzie liczony w sekundach, minutach czy godzinach. Ważne jest, że losowy generator części przesyła kolejną część średnio co dwie jednostki czasu. Koszt błędu (1-10) w odniesieniu do danej części również był generowany losowo.

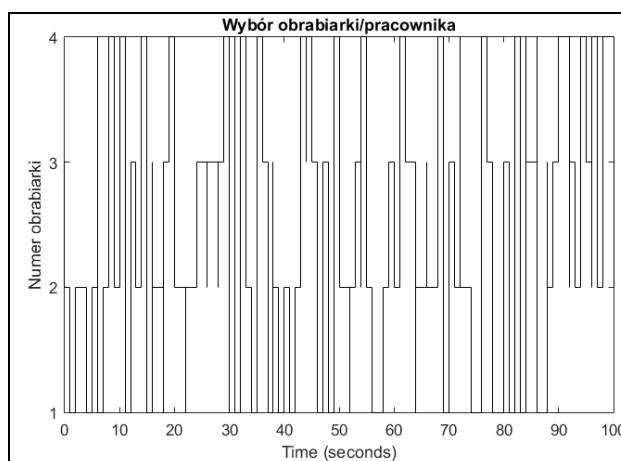
Na rys. 6 zaprezentowano wykresy kształtowania się ocen pracowników w czasie trwania symulacji. Wykres został podzielony na cztery części nazwane A, B, C i D. Poszczególne części wykresu odpowiadają czterem pracownikom produkcyjnym, spośród których dokonywany jest wybór, w celu przypisania pracownika do obrabianej aktualnie części.

Analizując wszystkie cztery wykresy można zauważyć, że wartości oceny nigdy nie ociągają 0 ani 1. Taka sytuacja wynika z trójkątnych przebiegów funkcji przynależności wykorzystanych w fazie wyostrzania (defuzyfikacji) oraz z zastosowanej metody środka ciężkości (ang. centroid). Jest to więc zjawisko normalne, nie świadczące o popełnionym błędzie merytorycznym (logicznym) lub formalnym (programistycznym).



Rys. 6. Wykresy ocen pracowników

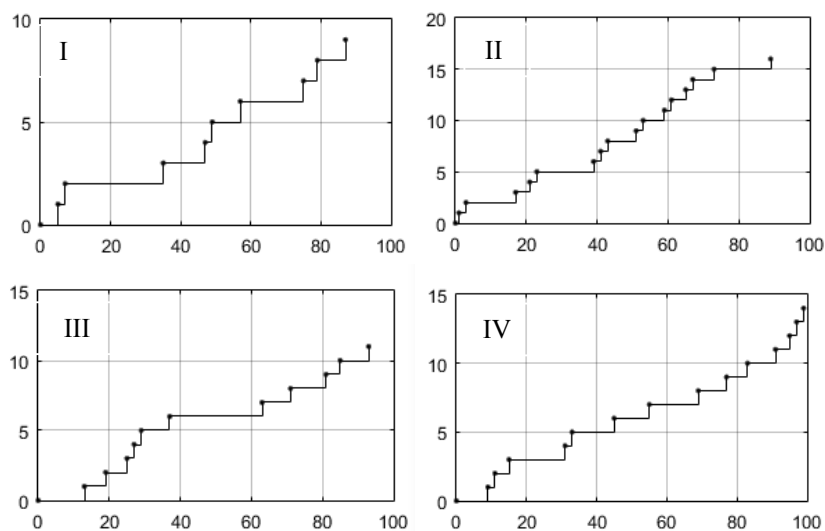
Na rysunku 7 zaprezentowano decyzje, jakie podejmował rozmyty system wnioskowania w zakresie wyborów operatorów i obrabiarek w odniesieniu do poszczególnych części pojawiających się w systemie produkcyjnym. Na osi wartości znajdują się tylko cztery cyfry od 1 do 4, które odpowiadają czterem obrabiarkom.



Rys. 7. Wykres doboru obrabiarki (pracownika) do zadania

Koszty potencjalnie popełnionych błędów, w odniesieniu do poszczególnych części, były efektem działania generatora liczb losowych, skonfigurowanego w taki sposób, aby wartości mieściły się w przedziale (1,10).

Rysunek 8 przedstawia cztery wykresy ilości części, które zostały skierowane na poszczególne maszyny technologiczne w trakcie 100 jednostek czasu trwania symulacji. Z uwagi na fakt, że wszystkie informacje bazowe, stanowiące podstawę przypisania odpowiednich pracowników produkcyjnych do zadań (części), były generowane losowo, należy się spodziewać, że ilości części skierowanych do poszczególnych osób, obrabiarek i zadań produkcyjnych będą zbliżone.



Rys. 8. Ilości części obrabianych na poszczególnych maszynach technologicznych

Analizując cztery wykresy odpowiadające czterem obrabiarkom można stwierdzić, że rozrzut ilości zadań na osobę wahał się w przedziale od 9 (w przypadku maszyny nr 1) do 16 (dla maszyny nr 2).

5. Podsumowanie i wnioski

Celem przeprowadzonych badań było opracowanie rozmytego systemu wnioskowania, który umożliwił dobór pracowników do zadań realizowanych w obrębie systemu produkcyjnego średniego lub dużego przedsiębiorstwa. Opracowano model symulacyjny systemu produkcyjnego, składający się z dwóch zasadniczych podsystemów: linii produkcyjnej i dwupoziomowego klasyfikatora odpowiedzialnego za dobór pracowników. Do opracowania modeli wykorzystano środowisko symulacyjne Matlab Simulink i bibliotekę SimEvents.

W celu rozwiązania problemu badawczego opracowano inteligentny sterownik, którego zasada działania bazuje na modelu rozmytym Mamdaniego. Sterownik ten, w oparciu o dane wejściowe uwzględniające informacje profilowe wszystkich pracowników zatrudnionych do obsługi maszyn technologicznych, dokuje oceny danego pracownika. Zakładając, że każdą maszyną może obsłużyć dwóch lub więcej operatorów, system

automatycznie dokonuje wyboru właściwego (optymalnego) operatora w kontekście realizowanego zadania produkcyjnego.

Wszystkie dane wejściowe dotyczące profilowania pracowników jak i określania potencjalnych kosztów błędów w odniesieniu do obrabianych części były generowane losowo. Celem przeprowadzonego eksperymentu nie było zweryfikowanie prawidłowości działania konkretnego sterownika w oparciu o pozyskane dane. Właściwym celem badań, było zweryfikowanie możliwości implementacji konkretnej metody podniesienia poziomu niezawodności przedsiębiorstwa produkcyjnego, poprzez podniesienie efektywności produkcji. Efektywność rośnie, gdy spadają koszty będące skutkiem, między innymi, błędów popełnianych przez operatorów maszyn technologicznych. Wyniki eksperymentu potwierdziły skuteczność opracowanego sterownika. Uzyskane rezultaty badań wskazują, że poprzez zastosowanie rozwiązań opartych na sterowaniu rozmytym, można rozwiązywać problemy doboru pracowników do zadań produkcyjnych.

Literatura

1. Shahhosseini V., Sebt M. H., Competency-based selection and assignment of human resources to construction projects, „Scientia Iranica” 2011, nr 18(2), s. 163.
2. Kłosowski G., Gola A., Świć A., Human Resource Selection for Manufacturing System Using Petri Nets, [w:] „Applied Mechanics and Materials”. Trans Tech Publications, 2015. p. 132.
3. Saad R. i inni, Some fuzzy techniques for staff selection process: A survey, [w:] “AIP Conference Proceedings” 2013, s. 462.
4. Samuel O. W., Omisore M. O., Atajeromavwo E. J., Online fuzzy based decision support system for human resource performance appraisal, “Measurement” 2014, nr 55, s. 454.
5. Susilawati A. i inni, Fuzzy logic based method to measure degree of lean activity in manufacturing industry, „Journal of Manufacturing Systems” 2015, nr 34, s. 2.
6. Smółka P., Profilowanie osobowości zawodowej i wymagań stanowiska pracy w procesie doboru pracowników oraz kierowania ich karierą, 2014, <http://bit.ly/profilowanie> [dostęp: 21.09.2015].
7. Ezzabadi J. H., Saryazdi M. D., Mostafaiepour A., Implementing Fuzzy Logic and AHP into the EFQM model for performance improvement: A case study, “Applied Soft Computing” 2015, nr 36, s. 165.
8. Goleca A., Kahyab E., A fuzzy model for competency-based employee evaluation and selection, „Computers & Industrial Engineering” 2007, nr 52(1), s. 143.
9. Karatop B., Kubat C., Uygun Ö., Talent management in manufacturing system using fuzzy logic approach, “Computers & Industrial Engineering” 2014, nr 86, s. 127.
10. Taylan O., Alidrisi H., Kabli M., A multi-criteria decision-making approach that combines fuzzy topsis and DEA methodologies, „South African Journal of Industrial Engineering” 2014, nr 25(3), s. 42.

Dr inż. Grzegorz KŁOSOWSKI
Katedra Organizacji Przedsiębiorstwa
Politechnika Lubelska
20-618 Lublin, ul. Nadbystrzycka 38 D
tel./fax: (0-81) 5384567
e-mail: g.klosowski@pollub.pl