

LOGIKA ROZMYTA W OCENIE ALTERNATYWNYCH SYSTEMÓW POMIAROWYCH JAKO JEDEN Z KIERUNKÓW ROZWOJU MSA

Magdalena DIERING, Agnieszka KUJAWIŃSKA,
Krzysztof DYCKOWSKI, Michał ROGALEWICZ

Streszczenie: W pracy przedstawiono przewidywane kierunki rozwoju obszaru analizy systemów pomiarowych dla oceny alternatywnej. Wskazano na możliwość zastosowania w tego typu ocenie elementów logiki rozmytej. W dalszej części pracy zaprezentowano podstawowe metody i procedury stosowane w analizie systemów pomiarowych, a także wskazano na aspekty ich integracji z narzędziami logiki rozmytej.

Słowa kluczowe: kontrola, ocena alternatywna, analiza systemu pomiarowego, logika rozmyta

1. Wprowadzenie

Przedsiębiorstwa produkcyjne gromadzą coraz więcej danych, rzadko wykorzystując je w pełni. Ważnym jest jakimi narzędziami wspomagającymi proces analizy oraz decyzyjny dysponuje inżynier procesu. W zarządzaniu produkcją najczęściej stosowanymi ilościowymi metodami ograniczenia ryzyka podejmowania decyzji są: statystyczne sterowanie procesami (SPC, ang. *Statistical Process Control*), analiza systemów pomiarowych (MSA, ang. *Measurement System Analysis*) oraz planowanie doświadczeń (DoE, ang. *Design of Experiments*).

Kwestia oceny stanu procesów wytwarzania, tj. kontroli jakości – ze względu na kryteria jakościowe – jest szeroko poruszana w literaturze naukowej. W odniesieniu do produkcji części maszyn, wymagania jakościowe sprowadzają się głównie do dokładności wymiarowej i kształtowej wyrobu oraz właściwości warstwy wierzchniej.

Pojęcie kontroli jakości można rozumieć na wiele sposobów. Na potrzeby opracowania przyjęto, że jest **to sprawdzenie zgodności procesu lub wyrobu z wymaganiami wewnętrznego, bądź zewnętrznego klienta**. Kontrola jest najczęściej wykonywana poprzez bezpośredni pomiar (uzyskując na wyjściu liczbową wartość mierzonej charakterystyki/cechy) lub obserwację (na wyjściu uzyskuje się wynik oceny, będący potwierdzeniem zgodności - np. wyrób dobry, lub orzeczeniem o niezgodności - np. brak, wyrób niezgodny z określonym wymaganiem). Ze względu na sposób wykonania pomiaru ocenę jakości podzielić można na:

- ocenę cech mierzalnych (ilościowych),
- ocenę cech niemierzalnych (jakościowych, ocenianych alternatywnie).

Kontrolę jakości dla cech alternatywnych najczęściej wykonuje się poprzez sprawdzenie lub obserwację, przy użyciu urządzeń specjalnych, co w konsekwencji pozwala na zaklasyfikowanie obiektu do jednego z kilku możliwych stanów. Może to być przyporządkowanie jednoznaczne (np. wyrób dobry-wyrób wadliwy) lub jako przypisanie jednostce ocenianej jednej z kilku kategorii określającej pewien stopień spełnienia

wymagania (np. wyrób klasy I, II, III), bazując na informacji nieprecyzyjnej i w oparciu o subiektywną percepcję oceniającego.

Najczęściej stosowane w tym przypadku przyrządy pomiarowe to sprawdziany i szablony, a metody oceny – kontrola organoleptyczna, sensoryczna, z wykorzystaniem wiedzy i zmysłów człowieka, np. kontrola wzrokowa (sprawdzanie barw na wydrukach), dotykowa (ocena płynności ruchu zapadki w narzędziu chirurgicznym), słuchowej, zapachowej czy smakowej (w branży spożywczej).

W procesie kontroli wizualnej wyrobu wykonywanej przez człowieka może on popełnić dwa rodzaje błędów – zaklasyfikować wyrób dobry jako niezgodny oraz niezgodny jako dobry. Prawdopodobieństwo ich popełnienia oraz frakcja wyrobów niezgodnych z wymaganiami po procesie kontroli są podstawowymi wskaźnikami oceny jego skuteczności. Czynniki ludzki w procesie kontroli wizualnej powoduje, że jest ona często zawodna. Bywa, że stu procentowa kontrola nie gwarantuje poprawnej oceny. Pomimo tego, dla wielu procesów istnieją przesłanki, by nie zastępować człowieka maszyną. Są także takie procesy, w których **ocena dokonywana przez człowieka może być bardziej skuteczna niż przez urządzenie pomiarowe** – na przykład przy produkcji narzędzi chirurgicznych (wspomniana już płynność ruchu zapadki) czy podczas końcowej kontroli jakości wałeczków łożyskowych. Poza tym, **stosowanie kontroli wzrokowej może być ekonomicznie uzasadnione** – nie wymaga ona inwestycji w specjalistyczne urządzenia kontrolno-pomiarowe.

Jedną z przyczyn powstawania błędów w ocenie alternatywnej jest nieprecyzyjność opisu wymagań dla produkowanych wyrobów. Przykładem może być ocena jakości blach ocynkowanych [1] – dla powierzchni klasy A dopuszcza się nieznaczny ospowatość, blizny, pory, zróżnicowaną strukturę powierzchni, ciemne punkty, skazy pasemkowe i niewielkie plamy z procesu pasywacji. Ulepszona natomiast powierzchnia klasy B, uzyskiwana w procesie walcowania wygładzającego na zimno, dopuszcza drobne pęknięcia spowodowane prostowaniem naciągowym, odciski z walcowania wygładzającego, drobne rysy, zróżnicowaną strukturę powierzchni, falistość z przebiegu procesu oraz nieznaczne zabarwienia z procesu pasywacji. Bazując na powyższym opisie, trudno jest jednoznacznie zakwalifikować kontrolowaną powierzchnię do jakości A lub B. Sformułowania „nieznacznie” dyskwalifikuje w praktyce wytyczne jako podstawę oceny jakości. Dlatego w takich sytuacjach w kontroli jakości określa się: ile zacieków powłoki cynku, ile nieciągłości powłoki lakierniczej na wyrobie, ile zatem defektów jest dopuszczalnych? Słowo „ile” jest tu kluczowe, gdyż **w celu właściwej oceny charakterystyk związanych z oceną wizualną niezbędne jest ilościowe opisanie problemu.**

Okazuje się, że nieścisłość określeń wymagań w inspekcji wizualnej może sprawiać problemy w jej poprawnym wdrożeniu i stosowaniu w praktyce. Wydaje się, że rozwiązanie tego problemu przyniósł aparat matematyczny – poprzez **zastosowanie w procesie kontroli metod i technik teorii logiki rozmytej.**

Rozwój techniki i technologii, w tym metrologii i systemów pomiarowych, przyczynia się do doskonalenia narzędzi i metod wspomagających podejmowanie decyzji w oparciu o wynik pomiaru czy oceny alternatywnej. Metody te – metody pomiaru / oceny procesów wytwarzania – powinny być odpowiednie, by mogły wykazać zdolność tych procesów do osiągnięcia założonych wyników. Analiza systemów pomiarowych i systemów oceny zgodności zapewnia wiarygodność danych, zatem **rozwój instrumentarium związanego z tą analizą powinien być równoległy z rozwojem techniki pomiarowej i metod wspomagania podejmowania decyzji.**

2. Logika rozmyta – precyzyjny opis zjawisk nieprecyzyjnych

2.1. Pojęcie logiki rozmytej

W otaczającym nas świecie zjawisko nieprecyzyjności informacji ma charakter powszechny i nieusuwalny. Człowiek w naturalny sposób posługuje się pojęciami nieprecyzyjnymi, na przykład: *niska temperatura*, *duża szybkość* itp. Co więcej, potrafi on w skuteczny sposób przy ich pomocy przekazywać wiedzę i wnioskować. Ludzie w naturalny sposób wyrażają swoją wiedzę na temat zjawisk i mechanizmów nimi rządzących przy użyciu nieprecyzyjnie określonych reguł w postaci, przykładowo: „Jeśli obroty silnika są *wysokie*, to zużycie paliwa jest *duże*”. Ten sposób posługiwania się informacją stanowi podstawę ludzkiej inteligencji.

Zadeh zaproponował w [2] teorię zbiorów rozmytych (ang. *Fuzzy sets*), która umożliwia opisywanie w języku matematycznym (a co za tym idzie, zrozumiałym dla komputerów) pojęć nieprecyzyjnych. Umożliwia również skuteczne operowanie nimi oraz podejmowanie decyzji. Określił swoją teorię jako precyzyjny opis zjawisk nieprecyzyjnych. Mamandi [3] opisał metodę wykorzystującą te zbiory do podejmowania decyzji i sterowania procesami. Pierwsze jej zastosowania pojawiły się w l. 80-tych XX w., m.in.: sterowanie piecem cementowni (Dania), oczyszczalnię ścieków (Fuji), sterowanie pociągiem (Hitachi) [4,5,6]. W l. 90-tych XX w. nastąpił japoński „*fuzzy logic boom*” – zaczęto powszechnie stosować sterowniki rozmyte w sprzęcie AGD, przemyśle samochodowym (układ ABS, wtrysk paliwa), w aparatach fotograficznych i kamerach itd., także w systemach wspomaganie decyzji, na przykład w planowaniu produkcji czy szacowaniu ryzyka ubezpieczeniowego.

Wybrane (ze względu na tytuł niniejszej pracy) elementy tej teorii opisano w kolejnym podrozdziale. Więcej na temat teorii zbiorów rozmytych znaleźć można w [7,8,9,10,11], na temat rozmytych systemów decyzyjnych i sterowania w [12,13,14,15], na temat zastosowań w przemyśle, produkcji i systemach rekomendacyjnych – w [11,16,17,18].

2.2. Podstawy teorii zbiorów rozmytych

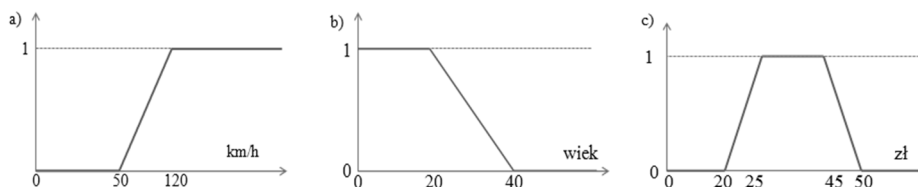
2.2.1. Pojęcie zbioru rozmytego

Dowolną funkcję $U \rightarrow [0,1]$ nazywa się zbiorem rozmytym (nieostrym), gdzie U jest pewnym (skończonym lub nie) uniwersum elementów. Jest to naturalne uogólnienie koncepcji funkcji charakterystycznej opisującej zbiór klasyczny: $D \subset U$, $1_D : U \rightarrow \{0,1\}$. W przypadku klasycznego zbioru każdy element zostaje zaklasyfikowany jako należący do zbioru (wartość prawda, 1) lub nienależący (fałsz, 0). W przypadku zbioru rozmytego przynależność do zbioru może być stopniowalna, częściowa, tzn. dopuszczalny jest stan z przedziału $[0,1] \subset \mathbb{R}$.

Kluczowym elementem dobrego zdefiniowania zbioru rozmytego jest właściwe skonstruowanie opisującej go funkcji przynależności. Funkcja ta jest narzędziem do zakodowania wiedzy eksperta (jego percepcji danego zjawiska). Wyróżnia się trzy podstawowe typy takich funkcji przynależności:

- typu *s* modelująca pojęcia typu *dużo*, *wiele*, *szybko*, np. *duża* prędkość (rys. 1a.),
- typu *z* modelująca pojęcia typu *mało*, *niewiele*, *wolno*, np. *młody* człowiek (rys. 1b.),

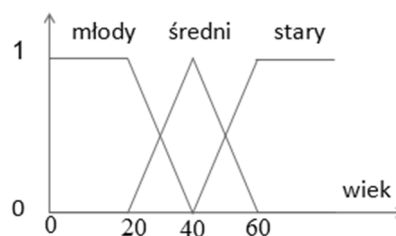
- trapezowa modelująca pojęcia *około, średnio*, np. *średnia* cena (rys. 1c.).



Rys. 1. Funkcje przynależności; a) typu *s*, modelująca pojęcia typu *dużo, wiele, szybko*, np. *duża* prędkość; b) typu *z*, modelująca pojęcia typu *mało, niewiele, wolno*, np. *młody* człowiek; c) trapezowa, modelująca pojęcia *około, średnio*, np. *średnia* cena. Opracowanie własne

2.2.2. Pojęcie zmiennej lingwistycznej

Ważnym elementem przy modelowaniu pojęć nieprecyzyjnych jest zmienna lingwistyczna (ZL). Jest to zmienna przyjmująca wartości lingwistyczne. Wartościami ZL są wyrażenia języka naturalnego, utożsamiane znaczeniowo z pewnymi zbiorami nieostrych. Formalnie ZL jest to czwórka (N, U, W, I) , gdzie: N – nazwa ZL, U – uniwersum, V – zbiór wartości ZL, zwanych terminami, I – zbiór interpretacji terminów. Przykład zmiennej lingwistycznej *wiek* ze zdefiniowanym zbiorem terminów {młody, średni, stary} przedstawia (rys. 2.).



Rys. 2. Zmienna lingwistyczna *wiek*. Opracowanie własne

2.3. Sterowanie za pomocą rozmytych reguł wnioskowania i sterownika rozmytego

2.3.1. Rozmyte reguły wnioskowania

Reguły wnioskowania zawierają wiedzę eksperta na temat procesu czy zjawiska. Zwykle wyrażane są one przez niego w postaci zdań mających nieprecyzyjny, werbalny charakter i odwołują się do pojęć nieostrych. Dokładniej, odwołują się one do zmiennych lingwistycznych, np. „Jeśli *lekko* znosi samochód na pobocze, to *nieznacznie skoryguj* skręt kierownicy.” Reprezentowane są one w postaci rozmytych zdań warunkowych:

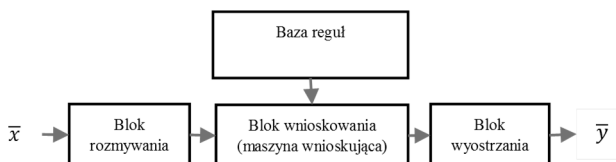
JEŻELI α jest A **TO** β jest B lub inaczej **IF** $\alpha=A$ **THEN** $\beta=B$,

gdzie α, β są zmiennymi lingwistycznym, a A, B są odpowiednimi zbiorami rozmytymi reprezentującymi terminy lingwistyczne tych zmiennych [14].

2.3.2. Rozmyty system regulowy (sterownik rozmyty)

Ogólną ideę sterowania rozmytego można ująć w działania:

- pozyskanie od doświadczonego operatora lub eksperta wiedzy o sterowaniu w postaci prostego zbioru reguł,
- zinterpretowanie tych reguł za pomocą aparatu zbiorów rozmytych i oparcie na nich sterowania.

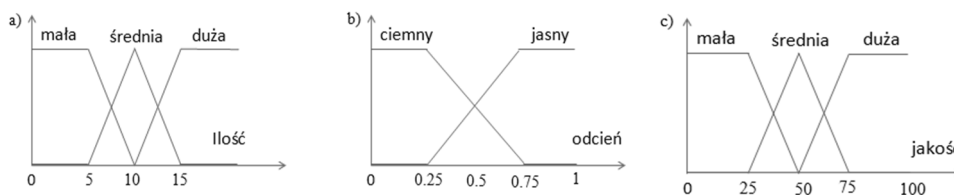


Rys. 3. Ogólny schemat sterownika rozmytego. Oprac. własne

Zakłada się, że skoro reguły te są skuteczne przy sterowaniu ręcznym przez człowieka, powinny być również skuteczne jako podstawa sterowania automatycznego. Na wejściu sterownika znajduje się wektor parametrów wejściowych \bar{x} , następnie w bloku rozmywania parametry te są interpretowane przez zmienne lingwistyczne, które są wejściem do bloku wnioskowania (rys. 3.). W maszynie wnioskującej następuje wnioskowanie z wykorzystaniem bazy reguł, którego wynikiem jest zbiór decyzyjny. W bloku wyostrzania przekształcany jest on na wektor parametrów wyjściowych \bar{y} .

2.3.3. Sterownik rozmyty – zasada działania (przykład zastosowania)

Zasadę działania sterownika przedstawiono na przykładzie maszyny, która produkuje kształtki z tworzywa sztucznego metodą wtryskową. Operator ocenia wyroby ze względu na dwa parametry: *ilość* wpływów oraz uzyskana na wyjściu barwa (*odcień* materiału). Zadaniem sterownika jest klasyfikacja wyrobu do jednej z trzech kategorii jakościowych na podstawie ocen udzielonych przez operatora. Doświadczony ekspert zdefiniował odpowiednio dwie zmienne lingwistyczne wejściowe (dla operatora): *ilość* i *odcień* oraz jedną wyjściową (jako odpowiedź sterownika): *jakość* (rys. 4.).

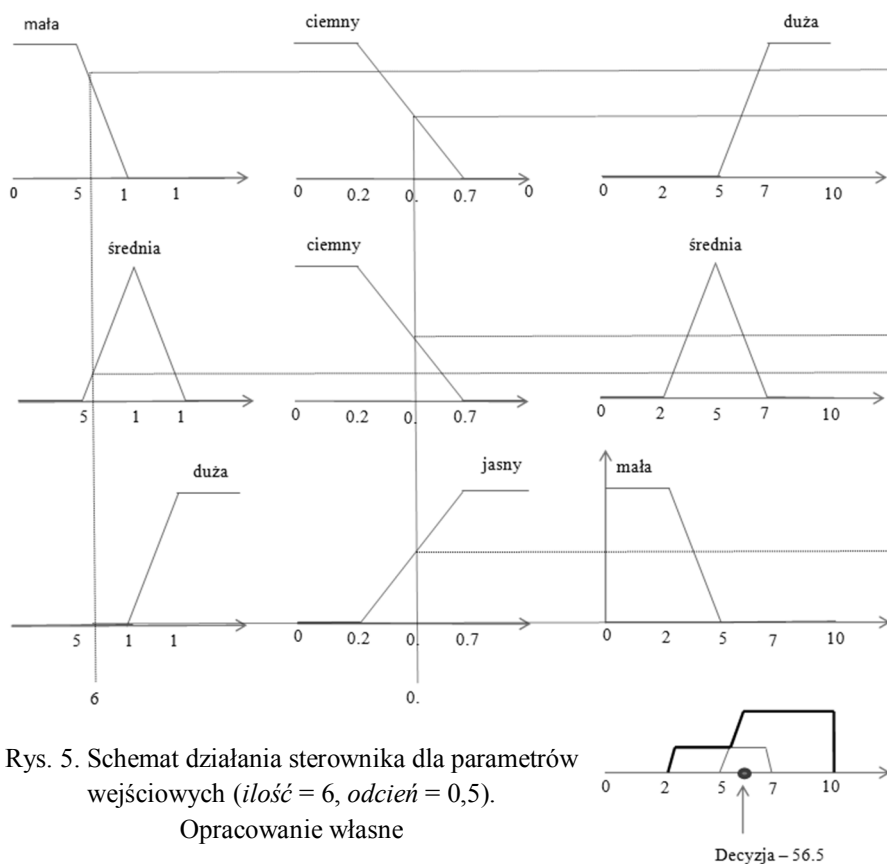


Rys. 4. Zmienna lingwistyczna: a) *ilość*, b) *odcień*, c) *jakość*. Opracowanie własne

Biorąc pod uwagę swoje doświadczenie, ekspert zdefiniował trzy reguły decyzyjne:

- R1: IF ilość jest *mała* AND odcień jest *ciemny* THEN *jakość* jest duża,
- R2: IF ilość jest *średnia* AND odcień jest *ciemny* THEN *jakość* jest średnia,
- R3: IF ilość jest *duża* AND odcień jest *jasny* THEN *jakość* jest mała.

Na rysunku 5 przedstawiono schemat działania tak zdefiniowanego sterownika dla parametrów wejściowych: *ilość* = 6 oraz *odcień* = 0,5. W wyniku obliczeń system zadecydował o jakości na poziomie 56,5, a więc zaklasyfikował dany produkt do kategorii jakościowej *średniej*.



3. Analiza systemów pomiarowych dla oceny alternatywnej – kierunki rozwoju

3.1. Istota i cel analizy systemów pomiarowych

Główną funkcją systemu pomiarowego czy systemu oceny (w dalszej części – gdy mowa o procesie orzekania o zgodności ze specyfikacją – pojęcie system pomiarowy będzie stosowane także dla systemu czy metod takiej oceny, analogicznie także dla procesu pomiarowego i pomiaru) jest realizacja procesu pomiarowego. **Zrozumienie zmienności wynikającej z oddziaływania czynników składowych systemu pomiarowego oraz poznanie ich udziału w całkowitej zmienności obserwowanej ma fundamentalne**

znaczenie dla podejmowanych na podstawie wyników pomiarów decyzji o procesie wytwarzania czy produkowanych wyrobach i w rozwiązywaniu podstawowych problemów w procesie produkcyjnym. W przypadku znacznego rozrzutu procesu pomiarowego, obserwowane wyniki z procesu wytwarzania przestają być wiarygodne. Zmienność systemu może być zatem przyczyną straty czasu i zasobów czy też niezadowolenia klienta (np. poprzez reklamacje). Jednym z elementów systemu oceny – jak już wspomniano – może być człowiek (np. oceniający operator maszyny). Wskazano także, że są takie procesy, w których jest on bardziej skutecznym “narzędziem pomiaru” niż przyrząd, czy urządzenie pomiarowe. W systemach, w których jeden z czynników wpływających na jego zmienność to czynnik ludzki, przede wszystkim właśnie ten powinien być nadzorowany. Służą temu metody i procedury MSA.

3.2. Metody i procedury analizy systemów pomiarowych

W branży motoryzacyjnej wymagania dotyczące jakości pomiarów i wytyczne w zakresie metodyki prowadzenia analiz systemów pomiarowych wyznacza amerykańskie stowarzyszenie AIAG (ang. *Automotive Industry Action Group*). Jest to organizacja non-profit zrzeszająca światowej sławy ekspertów z obszaru nauki, przedstawicieli polityki, przemysłu i biznesu. AIAG tworzy standardy w zakresie dobrych praktyk produkcyjnych, w tym także dla analiz z obszaru MSA, dla największych producentów samochodów na świecie i ich poddostawców, kreując przez to kulturę jakości pomiarów. Poddostawcy w motoryzacji, OEM (ang. *Original Equipment Manufacturer*), czyli producenci oryginalnego/pierwszego wyposażenia dla pojazdu, to przedstawiciele różnych branż. Przykładowo, dla tej branży pracuje przetwórstwo tworzyw sztucznych (wykończenie wnętrza pojazdu, np. deska rozdzielcza), obróbka szkła (szyby pojazdu), przemysł włókienniczy (tapicerka) czy przemysł chemiczny (akumulator) i wiele innych. Stąd, wytyczne zawarte w przewodniku AIAG [19] są uniwersalne (podobnie jak, na przykład, wymagania normy ISO 9001 dla systemów zarządzania jakością [20]). Poddostawcy ci, dostrzegając korzyści płynące ze stosowania MSA, coraz częściej analizują swoje systemy pomiarowe, nie tylko w związku z produkcją dla motoryzacji.

W praktyce przedsiębiorstw produkcyjnych stosowane są różne metody MSA, zarówno w przypadku systemów dla cech mierzalnych, jak i systemów dla cech ocenianych alternatywnie.

Dla cech mierzalnych literatura przedmiotu proponuje wypracowane przez branżę motoryzacyjną procedury i metody szacowania zmienności wybranych jego właściwości, które wykorzystują statystykę i/lub rachunek prawdopodobieństwa do badania miar poprawności (np. *bias*) i precyzji (powtarzalności i odtwarzalności) danego systemu, a także jego liniowości i stabilności. Opierają się one najczęściej na analizie wariancji. Ocena przydatności systemu pomiarowego dokonywana jest najczęściej na podstawie wskaźnika %R&R (1). Wyznaczenie tego wskaźnika jest ostatnim „krokiem” prawie we wszystkich procedurach dla oceny mierzalnej [21].

$$\%R \& R = \frac{R \& R}{RF} \cdot 100\% \quad \text{lub} \quad \%R \& R = \frac{\sqrt{\sigma_e^2 + \sigma_o^2}}{\sqrt{\sigma_p^2 + \sigma_m^2}} \cdot 100\%, \quad \sigma_m = \sqrt{\sigma_e^2 + \sigma_o^2} \quad (1)$$

gdzie:

- %R&R – wskaźnik przydatności systemu pomiarowego,
- σ_m , R&R – odchylenie standardowe opisujące zmienność systemu pomiarowego (łączy wpływ powtarzalności i odtwarzalności),

- RF – przyjęta wartość odniesienia (najczęściej jest to część tolerancji lub TV – całkowita zmienność procesu),
- σ_e, EV , odchylenie standardowe opisujące powtarzalność,
- σ_o, AV , odchylenie standardowe opisujące odtwarzalność,
- σ_p, PV – odchylenie standardowe procesu wytwarzania.

Oceny przydatności systemu pomiarowego dokonuje się w zależności od wartości $\%R\&R$. Przyjmuje się, że system pomiarowy jest akceptowalny (zdolny do zadania, któremu służy), gdy wartość $\%R\&R$ nie przekracza 30%.

Instrumentarium MSA dla cech mierzalnych jest szeroko opisywane i rozwijane w literaturze. Burdick [22] wskazuje na szerokie zastosowanie MSA w przedsiębiorstwach produkcyjnych, dokonując przeglądu procedur, Gorman [23] i de Mast [24] rozwinęli podejście do analizy systemu pomiarowego w przypadku pomiarów niszczących. Autorzy niniejszego referatu także podjęli się prac naukowych w tym obszarze. Przykładowo, zaproponowano metodę online do bieżącej oceny i monitorowania przydatności systemu pomiarowego [25].

Najpowszechniej stosowaną procedurą do analizy systemów pomiarowych dla oceny alternatywnej jest metoda tabel krzyżowych KAPPA (ang. *Cross Tab Method*). Procedura ta nie wymaga znajomości wartości odniesienia uzyskanych drogą pomiaru. Wynikiem procedury jest wartość KAPPA (a nie $\%R\&R$), wskazująca na poziom zgodności między parami operatorów oraz dla par operator-ekspert. Standardowy układ badania dla cechy to: 50 części ($n = 50$), 3 oceniających ($k = 3$) i 3 serie oceny ($r = 3$), czyli 450 ocen, a obliczenia w ramach procedury oparte są na prostym rachunku prawdopodobieństwa [18,20] (wzór 2):

$$KAPPA = \frac{p_o - p_e}{1 - p_e}, \quad (2)$$

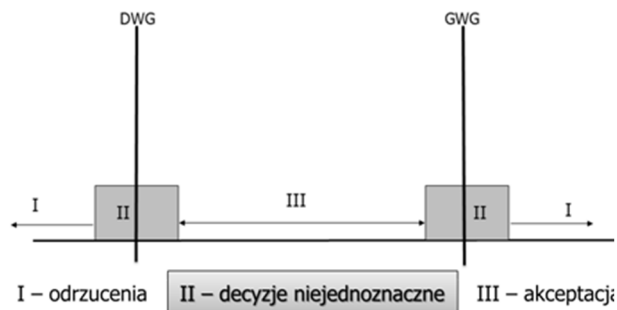
gdzie:

- KAPPA – wskaźnik zgodności par operatorów lub par typu operator-ekspert,
- p_o – suma zaobserwowanych zgodnych decyzji typu 0-0 i 1-1 w odniesieniu do liczby możliwych par decyzji,
- p_e – suma oczekiwanej częstości zgodnych decyzji typu 0-0 i 1-1 w odniesieniu do liczby możliwych par decyzji typu 0-0 i 1-1.

Metoda detekcji sygnałów, jako jedna z metod oceny alternatywnej, znajduje szerokie zastosowanie również dla cech mierzalnych – gdy pomiar cechy jest utrudniony lub ekonomicznie nieuzasadniony (nieopłacalny) lub też gdy pomiar cechy jest bardziej czasochłonny niż ocena wyrobu (przykładowo, pomiaru średnicy wałka można dokonać suwmiarką lub ocenić sprawdzianem). Wówczas, jeśli decyzją eksperta nie jest ocena (dobry/zły) a wartość zmierzona w drodze pomiaru, to w takim przypadku zastosowanie najczęściej znajduje właśnie metoda detekcji sygnałów. Nadrzędnym celem tej metody nie jest – jak w przypadku KAPPA – oszacowanie zgodności pomiędzy operatorami i ekspertem, a wyznaczenie tzw. obszaru decyzji niejednoznacznych (obszaru zakresu wyników, w którym oceniający różnią się ze względu na podejmowane decyzje o stanie badanej cechy) (rys. 6.). Tutaj liczba ocen podejmowanych w ramach badania to również 450 ($n = 50, k = 3$ i $r = 3$ to najczęściej przyjmowany układ badania).

Uporządkowanie wszystkich serii ocen dla każdej z części, ze względu na wartość wskazaną przez eksperta, pozwala na wyznaczenie szerokości przedziałów strefy II, oznaczanych jako d_{GWG} i d_{DWG} (szerokości te wyznaczają części, dla których przynajmniej jedna z ocen operatorów różni się od pozostałych). Znając zakres strefy II, wyznaczyć można wartość $R\&R$ i następnie – na podstawie wskaźnika przydatności tego systemu – dokonać oceny systemu pomiarowego (wzór 3).

$$\%R \& R = \frac{(d_{GWG} + d_{DWG})}{2 \cdot RF} \cdot 100\%$$



Rys. 6. Obszary decyzyjne przy badaniu systemów pomiarowych dla cech ocenianych metodami alternatywnymi: DWG/GWG – dolny/górny wymiar graniczny, I – obszar decyzji: „wyrób zły” (poza specyfikacją), II – obszar decyzji niejednoznacznych (trudności z oceną wyrobu), III – obszar decyzji: „wyrób dobry” (w granicach specyfikacji). Źródło: [20]

(3)

Na praktyczne ujęcie analizy systemów dla oceny alternatywnej i możliwości jej prowadzenia z zastosowaniem wspomaganie komputerowego wskazuje w [26] i [27] Bower.

3.3. Analiza systemów pomiarowych dla oceny alternatywnej – wyzwania i kierunki rozwoju

W wyniku przeglądu literatury, dyskusji i badań prowadzonych w wielu przedsiębiorstwach, a także na podstawie własnych przemyśleń i doświadczeń wskazano na kilka zagadnień, które – zdaniem autorów – wyznaczać mogą kierunki rozwoju analizy systemów pomiarowych dla oceny alternatywnej.

W literaturze (także w wytycznych [20]) znaleźć można wskazówki, jak prowadzić analizę systemu orzekania o zgodności dla cechy, której ocena jest atrybutowa, tj. wyróżnić można dwa stany tej cechy. Można przyjąć, że jest to ujęcie klasyczne dla oceny alternatywnej. Nie wskazano jednak czy słusznym jest prowadzenie analizy w ten sam sposób, gdy oceniający uwzględnia jednocześnie kilka cech danego wyrobu. Przykładowo – w sytuacji, gdy ocenie podlegają trzy cechy wyrobu (np. podczas kontroli wyrobu sprawdza się występowanie zadziorów, liczbę rys na powierzchni wyrobu i kolor), brak jest wskazówki, czy analiza takiego systemu orzekania o zgodności powinna obejmować trzy analizy (dla każdej z cech osobno), czy jedną, traktując ostateczną decyzję oceniającego (czyli jego subiektywne uznanie wyrobu za dobry lub jako niezgodny w sytuacji, gdy, na przykład, wymaganie dla chociaż jednej z cech uznane zostanie przez niego za niespełnione) jako pojedynczy wynik oceny w analizie tego systemu. Oba rozwiązania wydają się niesłuszne – pierwsze ze względu na liczbę koniecznych ocen do takiej analizy (badanie dla jednej cechy wymaga kilkuset ocen), a drugi – ze względu na utratę wielu

informacji (niemożność rozdzielenia skuteczności oceniających na poszczególne cechy wyrobu).

Znane w literaturze i praktyce przemysłowej metody – KAPPA i detekcji sygnałów – znajdują zastosowanie dla systemów oceny alternatywnej właśnie w ujęciu klasycznym (prezentowanym także przez [20]), w którym wynik oceny wspomaga decyzję o akceptacji (wyrób dobry, 1) bądź odrzuceniu (wyrób niezgodny, 0) wyrobu, jednakże nie dostarcza informacji o stopniu spełnienia (lub jego braku) wymagań w stosunku do badanej cechy. Brak jest procedur dedykowanych procesom pomiaru, których wynikiem jest przyporządkowanie oceny cechy do jednego z wielu stanów. Taka ocena procesu wytwarzania jest coraz bardziej powszechna. Jest to jeszcze bardziej złożone (i dotąd nierozwiązane) zagadnienie – oceniający musi podjąć jednoznaczną decyzję o wyrobie na podstawie wielu cech niemierzalnych, oceną których jest przyporządkowanie do jednego z więcej niż dwóch stanów (nie tylko “dobry” lub “zły”, ale także wartości pośrednie, jak na przykład “średni”), w oparciu o informację nieprecyzyjną.

Zdaniem autorów ważnym zagadnieniem wydaje się być także opracowanie metodyki dla systemów, w których ocena o stopniu spełnienia przez wyrób określonego wymagania dokonywana jest przy użyciu języka naturalnego, tzn. przy ocenie operuje się terminami lingwistycznymi (np. bardzo mało, mało, średnio, dużo, bardzo dużo). W ramach kierunków rozwoju MSA dla systemów alternatywnych należy więc uwzględnić coraz szerzej stosowane w ocenie procesów wytwarzania i ocenie jakości wyrobów metody wspomagania podejmowania decyzji w oparciu o narzędzia logiki rozmytej. Przeprowadzone przez autorów studia literatury przedmiotu wskazują, że zagadnienie fuzzy MSA jak dotąd prawie nie jest poruszane w piśmiennictwie naukowym – dla cech ocenianych alternatywnie w ogóle, a dla cech mierzalnych znaleziono tylko nieliczne prace. Możliwość zastosowania podejścia rozmytego w MSA dla cech mierzalnych zauważyli Hajipour [28] i Kazemi [29]. Autorzy ci opisują studium przypadku z branży motoryzacyjnej, dla którego w analizie systemu pomiarowego zastosowano koncepcję liczb rozmytych (ang. *Fuzzy numbers*). W pracach tych wyznaczono wskaźniki – średni rozstęp dla części R , rozstęp średnich części dla operatorów X_{Diff} , wartość miary powtarzalności – EV , wartość miary odtwarzalności – AV oraz wartość łącznej miary powtarzalności i odtwarzalności, czyli $R\&R$. Wyniki przedstawiono jako wartości rozmyte. Podejście to jednak wydaje się być „sztuczne” – Hajipour [28] i Kazemi [29] zaproponowali zapis klasycznych miar wskaźników zmienności systemu pomiarowego za pomocą liczb rozmytych, bez podania metodyki ich wyznaczania i bez przeprowadzenia analizy korzyści z takiego modelu. Autorzy ci także wskazują, że w literaturze prawie brak jest prac podejmujących tematykę koncepcji fuzzy MSA.

Ponieważ metody monitorowania i nadzorowania systemów oceny powinny być odpowiednie, by mogły wykazać zdolność tych systemów do realizacji założonych zadań, to powyższe stanowią jedną z przesłanek wskazujących na kierunek rozwoju MSA, by decyzje o procesie i wyrobie mogły być rzetelne, podejmowane w oparciu o wiarygodne dane.

4. Podsumowanie i kierunek dalszych prac

Autorzy referatu pracują obecnie nad koncepcją metodyki dla systemów, w których ocena o stopniu spełnienia przez wyrób określonego wymagania dokonywana jest przy użyciu języka naturalnego i przy zastosowaniu w tej ocenie terminów lingwistycznych (np. mało, średnio, dużo). Koncepcja uwzględnić będzie podejście rozmyte przy

podejmowaniu decyzji o stanie wyrobu (procedura fuzzy MSA z zastosowaniem rozmytych metod regulowych).

Poza tym, zamiarem zespołu jest także rozwijać inne zagadnienia z obszaru MSA. Autorzy pracują nad propozycją procedury nadzorowania procesu kontroli wielu cech niemierzalnych wyrobu jednocześnie.

Bibliografia

1. Nawrat R.: Wizualna ocena jakości wyrobu. *Stal, metale i nowe technologie*, 5-6/2012, s. 165-166.
2. Zadeh L.A.: Fuzzy sets. *Information and Control*, vol. 8, 1965, s. 338-353.
3. Mamandi E.: Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant, *Proceedings IEEE*, 121, vol. 12, 1974, s. 1585-1588.
4. Larsen P. M.: Industrial applications of fuzzy logic control, *Int. J. Man. Mach. Studies*. vol. 12, no. 1, 1980, s. 3-10.
5. Takagi T., Sugeno M.: Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control. *Systems, Man and Cybernetics*, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1, 1985, s. 116-132.
6. Yasunobu S., Miyamoto S.: Automatic train operation system by predictive fuzzy control. [in *Industrial Applications of Fuzzy Control*], s. 1-18, North Holland, Amsterdam 1985.
7. Wygralak M.: *Intelligent Counting under Information Imprecision, Applications to Intelligent Systems and Decision Support. Studies in Fuzziness and Soft Computing*. Springer, New York 2013.
8. Kacprzyk J.: *Zbiory rozmyte w analizie systemowej*. PWN, Warszawa 1986.
9. Kacprzyk J.: *Wieloetapowe sterowanie rozmyte*. WNT, Warszawa 2006.
10. Klir G., Yuan B.: *Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications*. Prentice-Hall, New York 1994.
11. Pedrycz W., Gomide F.: *Fuzzy systems engineering: toward human-centric computing*. Wiley, New Jersey 2007.
12. Driankov D., Hellendoorn H., Reinfrank M., *Wprowadzenie do sterowania rozmytego*. WNT, Warszawa 1996.
13. Piegat A.: *Modelowanie i sterowanie rozmyte*. Exit, Warszawa 1999.
14. Łachwa A.: *Rozmyty świat zbiorów, liczb, relacji, faktów, reguł i decyzji*. EXIT, Warszawa 2001.
15. Tanaka K.: *An introduction to fuzzy logic for practical applications*. Springer, New York 1985.
16. Ross T.: *Fuzzy Logic with Engineering Applications*, Wiley, UK 2010.
17. Grzegorzewski P.: *Wspomaganie decyzji w warunkach niepewności. Metody statystyczne dla nieprecyzyjnych danych*. EXIT, Warszawa 2006.
18. Dyczkowski K., Stachowiak A., *A Recommender System with Uncertainty on the Example of Political Elections*, *Advances in Computational Intelligence, Communications in Computer and Information Science*, vol 298, Springer, 2012, pp. 441- 449
19. *Measurement Systems Analysis, 4th ed., Reference manual*, AIAG-Work Group, Daimler Chrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation, 2010.
20. EN ISO 9001:2008 *Quality management systems – Requirements*.

21. Diering M., Kujawińska A.: MSA – Analiza Systemów Pomiarowych. Przewodnik po procedurach., AR COMPRINT, Poznań 2012.
22. Burdick R. K., Borrer C. M., Montgomery D. C.: A review of methods for measurement systems capability analysis, *Journal of Quality Technology*, vol. 35, no. 4, 2002, pp. 342-354.
23. Gorman D., Keith M.: Measurement Systems Analysis and Destructive Testing, *Six Sigma Forum Magazine*, vol. 1, nr 4, 2002, s. 16-19.
24. de Mast J., Trip A.: Gauge R&R studies for destructive measurements. *Journal of Quality Technology*, vol. 37, no. 1, 2005, pp. 40-49.
25. Diering M., Hamrol A., Kujawińska A.: Measurement system analysis combined with Shewhart's Approach. materiały konferencyjne z: 11th International Symposium on Measurement and Quality Control 2013, Kraków-Kielce, Polska, 11-13.09.2013: Abstracts of the ISMQC 2013, str. 50 (wydruk tylko w książce abstraktów; cały referat – materiały elektroniczne CD).
26. Bower Keith M.: Measurement system analysis with attribute data, *Trainer's Corner*, Minitab Inc., 2002, pp. 10-11.
27. Bower Keith M.: Non-Traditional MSA with Continuous Data, *American Society for Quality*, www.sixsigmaforum.com, 2003.
28. Hajipour V., Kazemi A., Mousavi S. M.: A fuzzy expert system to increase accuracy and precision in measurement system analysis, *Measurement*, Volume 46, Issue 8, October 2013, pp. 2770–2780.
29. Kazemi A., Haleh H., Hajipour V., Rahmati S.A.A.: Developing a Method for Increasing Accuracy and Precision in Measurement System Analysis: A Fuzzy Approach, *Journal of Industrial Engineering* 6(2010), pp. 25-32.

Dr inż. Magdalena DIERING¹

Dr inż. Agnieszka KUJAWIŃSKA¹

Dr Krzysztof DYCZKOWSKI²

Dr inż. Michał ROGALEWICZ¹

¹ Katedra Zarządzania i Inżynierii Produkcji
Wydział Budowy Maszyn i Zarządzania
Politechnika Poznańska
Pl. M. Skłodowskiej-Curie 5, 60-965 Poznań
Tel./fax.: (061) 665 2738 / (061) 665 2774

² Zakład Metod Przetwarzania Informacji
Nieprecyzyjnej
Wydział Matematyki i Informatyki
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza
ul. Umultowska 87, 61-614 Poznań

e-mail: magdalena.diering@put.poznan.pl