

doi:10.15199/48.2022.08.19

## Diagnozowanie statystyczne pary antropotechnicznej

**Streszczenie.** Diagnozowanie pary antropotechnicznej może być realizowane na wiele sposobów. Na ogół jednak stosowane metody i narzędzia diagnostyczne adresowane są do jednego tylko rodzaju obiektu np. tylko do określonego obiektu technicznego lub tylko do określonego typu operatorów. W niniejszym artykule przedstawiono wyniki badań popartych konkretnymi aplikacjami dowodzącymi użyteczności odpowiednio zmodyfikowanej metody badania jakości wyrobów w odniesieniu zarówno do diagnozowania wiedzy operatorów jak i stanu funkcjonalnego obiektów. Uniwersalność i jednolitość interpretacyjna zaproponowanego podejścia do problemu oceny stanu pary antropotechnicznej jest – zdaniem autorów – nowatorska.

**Abstract.** Diagnosing an anthropotechnical pair can be carried out in many ways. However - in general - the methods and diagnostic tools used are addressed to only one type of object, e.g. only to a specific technical object or only to a specific type of operators. This article presents the results of tests supported by dedicated applications proving the usefulness of an appropriately modified method of testing the quality of products in relation to both the diagnosis of operators' knowledge and the functional state of the objects. The universality and uniformity of interpretation of the proposed approach to the problem of assessing the state of an anthropotechnical pair is - according to the authors - innovative. **(Statistical Diagnosing of the Anthropotechnical Pair).**

**Słowa kluczowe:** diagnozowanie, testowanie, system SCADA, sterownik przemysłowy.

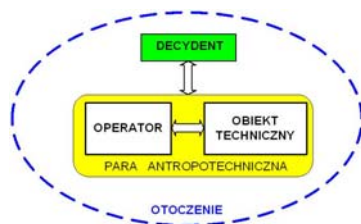
**Keywords:** diagnosing, testing, SCADA system, industrial controller.

### Wprowadzenie

Dominującą strukturą w warstwie materialnej naszego otoczenia jest struktura nazywana systemem antropotechnicznym (SAT). Pod tym pojęciem rozumie się układ zawierający decydenta systemu, operatora obiektu oraz obiektu, którym steruje operator. Całości dopełnia szeroko rozumiane otoczenie (rys. 1) [1,2].

Przedmiotem diagnozowania w SAT mogą być (a w zasadzie powinny być): właściwości operatora, właściwości decydenta, właściwości obiektu i właściwości otoczenia, a ponadto relacje: obiekt-operator, obiekt-otoczenie, operator-decydent i operator-otoczenie.

Większość z dotychczas opracowanych i stosowanych metod diagnozowania nakierowanych jest na diagnozowanie właściwości obiektu technicznego przy założeniu, że właściwości pozostałych elementów SAT oraz relacje pomiędzy nimi są prawidłowe [3-5]. Systemowe podejście do tego zagadnienia wymaga by procesami diagnozowania obejmować wszystkie elementy i relacje istniejące w systemie antropotechnicznym. Spośród wielu możliwych ujęć tego problemu na szczególną uwagę zasługuje proces diagnozowania pary antropotechnicznej czyli struktury złożonej z operatora i obiektu technicznego (rys.1).



Rys.1. Ogólna struktura systemu antropotechnicznego (oprac. wł.)

Poszukiwanie w miarę uniwersalnego (bo dającego się stosować zarówno do obiektu technicznego jak i do operatora-człowieka) sposobu diagnozowania użytkowego prowadzi do wniosku, że sposobem takim może być **testowanie**.

W praktyce spotykamy liczne przykłady testowania jako specyficznego sposobu diagnozowania [6-10]. Ta specyficzność polega głównie na tym, że badanie diagnostyczne sprowadza się do pobudzania obiektu określonymi sygnałami generowanymi przez tester i rejestrowania odpowiedzi generowanych przez obiekt.

W przypadku operatora takimi pobudzeniami są pytania lub polecenia wykonania określonych czynności. W przypadku obiektu technicznego pobudzenia testowe to na ogół określone wartości sygnałów sterujących, obciążeniowych lub zakłócających.

Zaletą diagnozowania-testowania jest przejrzystość postępowania i na ogół prosta techniczna realizacja testu oraz stosunkowo prosty algorytm wnioskowania diagnostycznego opartego na pozyskanych odpowiedziach.

Zauważmy, że testowanie doskonale wpisuje się w definicję dozoru (monitorowania) stanu [11-14].

Techniczna realizacja pobudzeń testowych oraz rejestracja odpowiedzi jest stosunkowo prosta gdy stosuje się ich binarną tj. zero-jedynkową postać. Taka postać sygnałów symptomowych (tj. odpowiedzi testowanego obiektu) jest z łatwością uzyskiwana gdy stosuje się odpowiednie układy progowe.

Niniejsze opracowanie zawiera oprócz rozważań teoretycznych także opis praktycznych aplikacji testowania progowego. Przywołanym tu przykładem pary antropotechnicznej jest operator systemu sterowania (operator systemu SCADA) oraz urządzenie techniczne w postaci sterownika przemysłowego prowadzącego dozoru wartości zmiennej procesowej.

W ostatnich latach znacząco wzrosło zapotrzebowanie na metody i procedury informatyczne realizujące zdalne usługi. Należy wspomnieć, iż także ze względu na rozwijającą się pandemię, od początku 2020 roku, wzrosło znaczenie pracy na odległość [15]. Proponowane rozwiązania techniczne progowego diagnozowania stanu zmiennych procesowych oraz wiedzy operatora systemów związanych z automatyką (rozproszonych systemów sterowania, systemów kontroli operatorskiej i wizualizacji SCADA [16,17]) nie są trudne do przeniesienia na grunt zdalnej komunikacji. Według najnowszych badań, przeważająca większość respondentów uważa zdalne środowiska testowe za satysfakcjonujące (80%). Różnica w wynikach zdawalności testów wiedzy operatorów, czyli antropogenicznej części pary antropotechnicznej, przeprowadzanych zdalnie i stacjonarnie - nie przewyższa kilku procent [18]. Proponowana przez autorów progowa metoda testowania oraz jej implementacja komputerowa jest przydatna nie tylko do testów operatora w formie tradycyjnej, lecz także (a nawet zwłaszcza) bezproblemowo można ją zastosować w formie testów komputerowych (CBT – ang. *Computer-Based Testing*) [19].

Wśród technik stosowanych w CBT, oprócz klasycznego podejścia do testowania, gdzie pytania ułożone są w standardowe stopy, spore zainteresowanie ukierunkowuje się na komputerowe testowanie adaptacyjne (CAT - ang. *Computer Adaptive Testing*) [20,21]. Nie przeszkadza to jednak w zastosowaniu proponowanej metody do oceny wyniku testów pary antropotechnicznej. Zastosowanie mechanizmów CAT zwiększa dodatkowo wiarygodność diagnozy poprzez zastosowanie dobieranych indywidualnie pytań, w zależności od cząstkowych, etapowych wyników diagnoz testowania wiedzy operatora. Osobnym zagadnieniem zwiększającym wiarygodność testowania jest także specjalny, prawidłowy dobór pytań-stosów. W literaturze zwraca się uwagę na dobranie odpowiedniej bazy pytań testowych, które pokrywałyby obszar testowanej dziedziny wiedzy lub zakres umiejętności w możliwie całościowy sposób [22].

Dla uzupełnienia, wspomnieć należy także o alternatywnych, złożonych metodach, wybiegających znacznie poza zastosowanie statystycznej kontroli jakości do testowania pary antropotechnicznej (a więc i poza obszar opisywanych w artykule procedur), dotyczących IRT (ang. *Item Response Theory*) [23] takich, jak np. wykorzystanie technik generatywnych do opracowania szerokiego zestawu testów zadaniowych oraz testów opartych na pytaniach. Trzeba jednak zauważyć, że ww. metody doboru i selekcji pytań są bardzo kosztowne i zasobochłonne. Warto je stosować tylko wtedy, kiedy koszt następujących po fazie testów szkoleń pozytywnie przetestowanego operatora jest znaczący [24].

Stosując proponowane testowanie progowe w systemach rozproszonych (zarówno DCS, jak i zdalnym testowaniu operatora) [25] jest jeden istotny - z punktu widzenia wiarygodności diagnozy – aspekt. Dotyczy on zapewnienia odpowiedniego bezpieczeństwa i niezawodności procesu komunikacji w rozproszonym systemie testowym. Na ww. aspekt bezpieczeństwa zwrócono uwagę między innymi w pracach [26,27]. Zastosowanie zdalnego testowania progowego, gdzie wykorzystuje się cały szereg programowo-sprzętowych rozwiązań (np. aplikacje testowe, bezpieczne tunelowanie ruchu sieciowego, zdalny pulpit, maszyny wirtualne) przypomina - pod kątem zabezpieczeń – zagadnienia związane z internetem rzeczy (IoT), gdzie także bardzo ważne są aspekty zabezpieczenia transmitowanych pomiędzy stacjami systemu danych [28].

### Progowa metoda testowania – wybrane objaśnienia

Dozorowanie stanu obiektu z wykorzystaniem progowych układów pomiarowych opiera się na testowaniu z określoną częstotliwością zakłóconej wielkości diagnostycznej w celu rejestracji ewentualnych przekroczeń przez tę wielkość założonych wartości progowych.

Sygnał diagnostyczny to wielkość fizyczna skojarzona z funkcjonowaniem obiektu diagnozowania. Może mieć formę analogową lub cyfrową. Podlega naturalnym zakłóceniom.

Sygnał symptomowy ma formę binarną (tj.: 0-1, zdatny-niezdatny, dopuszczalny-niedopuszczalny). Pozyskiwany jest z układu progowego, na którego wejście podawany jest sygnał diagnostyczny.

W przypadku obiektu technicznego wartość sygnału na wyjściu układu progowego może być „w normie” (1) lub „poza normą” (0, tj. za wysoka lub za niska).

W przypadku operatora wartość sygnału (tj. odpowiedzi) może być poprawna (1) lub niepoprawna (0).

Podstawą wnioskowania diagnostycznego jest przyjęte kryterium klasyfikacyjne w postaci dopuszczalnej liczby zarejestrowanych odpowiedzi niepoprawnych (0) – w określonym oknie obserwacji.

Okno obserwacji (przedział aktywnego testowania) to:

- w przypadku operatora założony czas wypełnienia testu;
- w przypadku obiektu technicznego założony czas rejestracji sygnału symptomowego na wyjściu układu progowego.

Diagnoza pozytywna jest formułowana gdy:

- w przypadku operatora liczba niepoprawnych odpowiedzi nie przekracza minimalnej przyjętej wartości krytycznej;
- przypadku obiektu technicznego liczba przekroczeń wartości progowej nie przekracza maksymalnej przyjętej wartości krytycznej.

### Testowanie w ujęciu statystycznym

Stan obiektu (obojętnie: biologicznego czy technicznego) zależy od wielu czynników, których proces diagnozowania nie jest w stanie w pełni uwzględnić. Dlatego diagnoza ma na ogół ograniczoną wiarygodność. Diagnosta musi liczyć się z tym, że w procesie testowania sprawdza tylko pewną, ograniczoną liczbę elementów wpływających na stan obiektu i na tej podstawie formułuje hipotetyczną diagnozę. W praktyce sytuacja ta jest analogiczna do przypadku statystycznej kontroli jakości zbioru obiektów na podstawie badania wadliwości wybranej losowo partii elementów tworzących te obiekty.

Rozpatrzmy tu dwa przypadki:

Przypadek 1. Testowanie stanu obiektu technicznego.

Przypadek 2. Testowanie wiedzy i umiejętności operatora.

#### Przypadek 1. Testowanie obiektu technicznego

Zagadnienie to opisali przed laty K. Wiśniewski i E. Fidelis pod nazwą „statystyczna kontrola jakości”. Czytamy tam co następuje:

„Na podstawie diagnozowania wszystkich elementów losowo wybranej próbki (przy założeniu całkowitej pewności wszystkich diagnoz elementarnych), wyznacza się liczbę elementów niezdatnych. Stanowi to tzw. wadliwość próbki, którą uważa się za oszacowanie wadliwości całej partii diagnozowanych elementów. W ten sposób szacuje się liczbę elementów niezdatnych (tj. nie spełniających wymagań) w całej partii. Wynik tego typu diagnozy statystycznej jest niepewny”.

Wspomniani powyżej autorzy opracowali wzory pozwalające, na podstawie wyniku badania próbki, wyznaczyć prawdopodobieństwo tego, że wadliwość partii elementów jest nie większa od pewnej wartości granicznej (wymaganej przez odbiorcę).

Jeśli rozkład wadliwości partii elementów a priori nie jest znany, czyli odbiorca nie ma żadnej informacji o jakości elementów dostarczonych przez wytwórcę, to może przyjąć postulat Bayes'a, w którym zakłada się, że wszystkie wadliwości „w” a priori są jednakowo możliwe. Zakłada się więc równomierny rozkład a priori, co odpowiada założeniu, że rozkład  $f(w) = 1$ .

Wzór wyznaczający wartość prawdopodobieństwa wadliwości partii elementów pod warunkiem, że w próbce n-elementowej stwierdzono z elementów nie spełniających wymagań (tzn. wadliwych) ma postać:

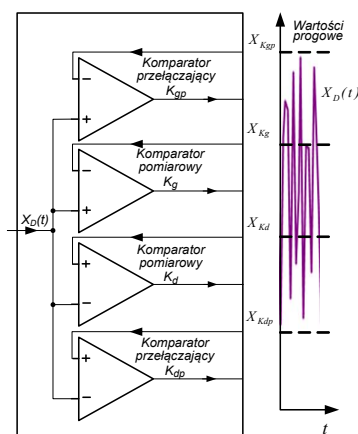
$$(1) \quad P(w \leq \gamma | n, z) = \frac{\int_0^{\gamma} w^z (1-w)^{n-z} dw}{\int_0^1 w^z (1-w)^{n-z} dw}$$

gdzie: w – wadliwość elementu,  $\gamma$  – dopuszczalna wartość wadliwości, n – liczba wszystkich elementów w próbce, z - liczba wadliwych elementów w próbce.

Opierając się na powyższym rozumowaniu możemy przyjąć, że w przypadku systemu transmisji sygnałów (o dowolnym przeznaczeniu i charakterze) przesyłane komunikaty są analogiem partii elementów. Odpowiedź na pytanie czy transmitowany komunikat jest bezbłędny (tj. zdatny) czy zafałszowany (tj. niezdatny) należy do diagnosty.

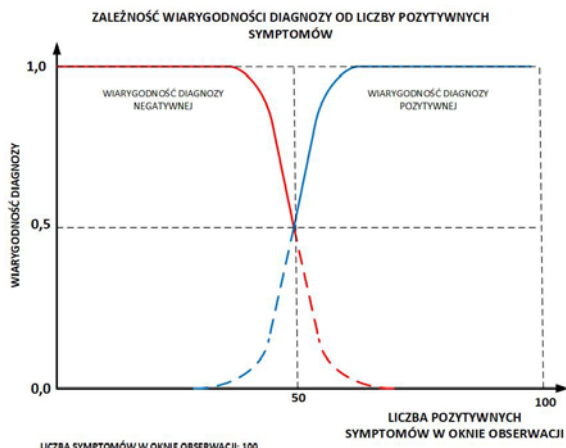
Przyjmijmy zatem następujące założenia:

- sygnał diagnostyczny (nośnik informacji, treści komunikatu) ma na ogół postać analogową i może być nawet silnie zakłócony;
- sygnał diagnostyczny przekształcany jest na binarny sygnał symptomowy w układzie progowo-komparacyjnym (rys. 2);
- sygnał symptomowy przyjmuje wartość binarną „1” gdy sygnał diagnostyczny ma wartość dopuszczalną; w przeciwnym przypadku przyjmuje wartość „0”;
- zbiór pozyskanych wartości symptomów stanowi analog partii elementów poddawanych badaniu wadliwości;
- o zdatności (lub niezdatności) transmitowanego komunikatu diagnosta wnioskuje na podstawie zbadania pewnego podzbioru  $n$  symptomów, wśród których z symptomów jest negatywnych (patrz wzór 1).



Rys.2. Schemat progowo-komparacyjnego układu przekształcającego sygnał diagnostyczny w binarny ciąg symptomów (oprac. wł.)

Przykładowy rezultat omówionego powyżej sposobu wnioskowania diagnostycznego przedstawia rysunek 3.



Rys.3. Funkcje wiarygodności diagnozy przy klasyfikacji 2 wartościowej (tj.: pozytywna, negatywna) – przy większościowym kryterium klasyfikacji diagnoz (oprac. wł.)

Zauważmy, że progowo-komparacyjny sposób testowania sygnału diagnostycznego [29] jest szczególnie efektywny w przypadku silnych zakłóceń oraz gdy trend zmiany sygnału jest bliski granicznej wartości stanu zdatności.

Przytoczone tu – w bardzo skrótowym ujęciu – podstawy statystycznego badania niezawodności obiektów znajduje efektywne zastosowanie w testowaniu progowym na przykład komunikatów przesyłanych w sterowniku przemysłowym.

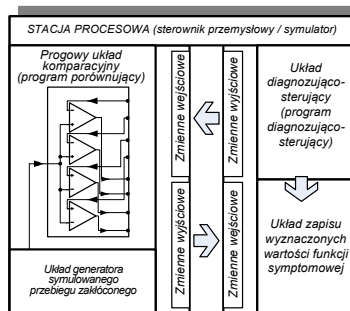
### Przykład implementacji testowania progowego w sterowniku przemysłowym

Implementacji metody progowo-komparacyjnej dokonano w sterowniku przemysłowym AC800F (rys. 4) [30]. Sterownik pełni rolę stacji procesowej (PS – ang. process station), w której realizowany jest program sterowania. Ze względu na wypełnianie funkcje – realizację programu pomiarów progowych oraz wyznaczanie wartości funkcji symptomowej – nazywany stacją diagnostyczną [31]. Jest to sterownik przemysłowy o budowie modułowej. Każdy moduł - kasetka odpowiada za realizację określonych zadań. Sterownik jest wyposażony w oddzielne moduły wejść i wyjść binarnych oraz wejść i wyjść analogowych.



Rys.4. Widok stacji procesowej AC800F (oprac. wł.)

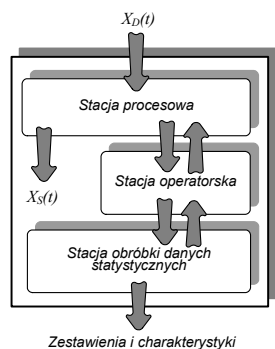
Przystosowanie programu sterownika do progowego testowania wymaga uzupełnienia jego struktury o generator sygnału zakłóconego składową o rozkładzie pseudonormalnym (rys. 5). Ze względu na programowy sposób implementacji generatora sygnału zakłóconego, w dowolnej chwili może on być zastąpiony innym o wymaganych – w danej sytuacji - właściwościach. Umożliwia to bezproblemową wielokrotną symulację działania układu pomiarowo-diagnosto-sterującego. Testowanie działania tak skonstruowanego układu można przeprowadzać zarówno za pomocą rzeczywistego sterownika obiektowego, jak i komputerowego symulatora sterownika. Komunikacja pomiędzy układem pomiarowym a układem diagnosto-sterującym odbywa się za pomocą odpowiednich zmiennych wejściowych/wyjściowych. Nie stanowi problemu także przeniesienie układu symulatora do rzeczywistego sterownika i, w zależności od woli decydenta systemu, podanie rzeczywistego sygnału zakłóconego lub korzystanie z dowolnie zaprogramowanego generatora programowego.



Rys.5. Ilustracja implementacji progowej metody tworzenia funkcji symptomowej w sterowniku przemysłowym (oprac. wł.)

Weryfikacja metody pomiaru zakłóconego sygnału diagnostycznego wymagała też uzupełnienia progowego układu pomiarowo- diagnostycznego o funkcjonalność generowania przebiegów zmian wartości wybranych wielkości diagnostycznych w funkcji czasu (tzn. obrazów trendu). W tym celu wykorzystano progowy system diagnostyczny na bazie trzech stacji (rys. 6):

1. Stacji procesowej, w której realizowane są:
  - właściwy proces pomiarów progowych (progowy układ komparacyjny);
  - sterowanie procesem pomiarów progowych (program diagnozująco-sterujący);
  - fragment procesu archiwizacji (układ archiwizacji) polegający na przyłączeniu linii sygnałowych parametrów procesu do bloku akwizycji sygnałów (archiwizacji).
2. Stacji operatorskiej, w której tworzy się:
  - obraz trendu, przyporządkowany do użytego bloku akwizycji, ilustrujący charakterystyki przebiegu żądanych przez operatora wielkości w funkcji czasu (są to np.: kolejny krok iteracji  $j$ , wartość funkcji symptomowej  $X_S(j)$ ; wartości sygnału diagnostycznego  $X_D(j)$ );
  - proces klienta FTP (ang. *File Transfer Protocol* – protokół transmisji plików) służącego do przesyłania do odległej stacji (serwera FTP) plików zarchiwizowanych trendów;
3. Stacji obróbki danych statystycznych, która oferuje:
  - serwer FTP zbierający zarchiwizowane pliki z danymi niezbędnymi do tworzenia obrazów trendu zmiennych diagnostycznych;
  - oprogramowanie dedykowane, pozwalające na konwersję standardu plików do formatu powszechnie akceptowanego przez arkusze kalkulacyjne;
  - arkusz kalkulacyjny lub inny dowolny program do obróbki statystycznej oraz wkreślenia charakterystyk przebiegu wartości zmiennej w funkcji czasu.



Rys.6. Poglądowy schemat progowego systemu diagnostycznego z rozbudowaną funkcją generowania przebiegów trendu (oprac. wł.)

Przeprowadzone eksperymenty dowiodły, że wyznaczana za pomocą tak uzupełnionego programu sterującego funkcja symptomowa jest dostatecznie wiarygodnym nośnikiem informacji o stanie realizowanych w sterowniku procesów.

### Przypadek 2. Testowanie operatora

Operator jest zdalny jeśli jego działanie jest zgodne z celami decydenta i właściwościami obiektu technicznego (lub obiektów), którym steruje.

Działanie operatora jest przede wszystkim pochodną jego kwalifikacji i motywacji.

Zadaniem procesu diagnozowania jest rozpoznanie i ocena tych właściwości.

Forma ta polega na zastąpieniu subiektywnych ocen (tj. diagnoz) odpowiedzi uzyskanych na pytania opisowe na

obiektywne oceny uzyskanych odpowiedzi na pytania testowe. Zapewnia to obiektywną diagnozę-ocenę każdej odpowiedzi oraz ułatwia zwiększenie liczby zadawanych pytań – czyli zwiększenie liczności badanej próbki wiedzy.

Zatem niezawodność diagnoz opartych na formie testowej wzrasta wskutek:

- wyeliminowania subiektywnej oceny odpowiedzi,
- zwiększenia liczności próbki badanych elementów wiedzy.

Należy jednak przy tym pamiętać, że forma testowa utrudnia ocenę poziomu umiejętności kojarzenia przez kursanta-operatora elementów wiedzy. Tego rodzaju niekorzystną właściwość formy testowej można zmniejszyć przez specjalny dobór pytań. Odpowiedniego przygotowania wymaga też reguła „punktowania” odpowiedzi, zniechęcająca do przypadkowych wyborów odpowiedzi.

Zgodnie z interpretacją metody badania stanu elementów losowej próbki (por. p. *Przypadek 1. Testowanie obiektu technicznego*) pobranej z populacji generalnej badanych obiektów, odpowiedzi na pytania testowe należy traktować jako rezultat badania wadliwości populacji generalnej. Każdą odpowiedź oceniać można dwuwartościowo (0 lub 1). Suma punktów  $Q$  za wszystkie oceniane odpowiedzi stanowi wypadkową ocenę punktową.

Jest oczywiste, że liczba  $Q$  określa poziom wiedzy w zakresie badanego obszaru. Jeśli na tej podstawie przyznamy testowanemu operatorowi ocenę  $S_j$ , to możemy zapytać jakie jest prawdopodobieństwo, że poziom opanowania całej wiedzy mieści się w przedziale:  $[\Omega_{j-1}, \Omega_j]$  czyli jakie jest prawdopodobieństwo, że testowany operator zasługuje na ocenę  $S_j$  przy liczbie uzyskanych punktów  $Q$  i przy maksymalnej (tj. możliwej) liczbie punktów  $Q_{max}$ . Inaczej mówiąc pytamy o prawdopodobieństwo trafności oceny czyli o wiarygodność diagnozy:

$$(2) \quad P((\Omega_{j-1} \leq \Omega < \Omega_j) | Q, Q_{max}) = P(S_j | Q, Q_{max})$$

Prawdopodobieństwo tego, że operator zasługuje na ocenę  $S_j$ , wyznaczyć można z wyrażenia (dla dyskretnego rozkładu wiedzy):

$$(3) \quad P(S_j | Q, Q_{max}) = \frac{\sum_{\Omega_{j-1}}^{\Omega_j} P(\Omega)(1-\Omega)^{(Q_{max}-Q)} \Omega^Q}{\sum_0^1 P(\Omega)(1-\Omega)^{(Q_{max}-Q)} \Omega^Q}$$

Na podstawie wyrażenia (3) stawiana jest egzaminowanemu ocena  $S_j$ , która jest najbardziej prawdopodobna, tj.:

$$(4) \quad S_j : P(S_j | Q, Q_{max}) = \max_{i=1, \dots, I} P(S_i | Q, Q_{max})$$

gdzie:  $I$  – licznosc zbioru stosowanych ocen.

Ilustracją przykładowych wyników zastosowania testowej formy diagnozowania wiedzy są wykresy na rysunku 7.

Jak łatwo zauważyć, wiarygodność oceny (4), czyli diagnozy, zależy od:

- maksymalnej liczby punktów ocenowych;
- reguły ocenowej, tj. przede wszystkim od układu granic przedziałów ocenowych wiedzy diagnozowanego operatora - np. systemu SCADA.





Rys.7. Funkcje wiarygodności ocen przy klasyfikacji 7-wartościowej (tj.: 2, 3, 3.5, 4, 4.5, 5, 6) (oprac. wł.)

### Przykład implementacji testowania progowego operatora systemu SCADA

Praktycznym narzędziem przeznaczonym do testowania wiedzy i umiejętności jest aplikacja testująca operatora systemu SCADA. Kolejny raz należy podkreślić, że jest ona zrealizowana w środowisku graficznym pakietu SCADA Intouch, wykorzystywanym przez operatora w codziennej pracy. Jest to bardzo ważny aspekt, bowiem od operatora nie jest wymagane zapoznanie się z dodatkowym pakietem testującym. Realizuje on test z wykorzystaniem pakietu wizualizacji systemu SCADA, który wykorzystuje w pracy zawodowej podczas dozoru procesu sterowania na stacji operatorskiej. Kursant może więc – w przypadku doświadczonego operatora – skupić się na procesie diagnozowania własnej wiedzy. Z kolei w przypadku diagnozowania kandydata na stanowisko operatora systemu, biegłość kursanta w posługiwaniu się pakietem SCADA, jest dodatkową wskazówką dla egzaminatora, świadcząca o opanowaniu praktycznych umiejętności. Możliwe jest jednostanowiskowe lub wielostanowiskowe działanie aplikacji.

Aplikacja ma strukturę modułową. Oznacza to, że w zależności od rodzaju użytkownika, może pracować w trybie egzaminatora i/lub kursanta. W celu rozróżnienia użytkowników wymagane jest uwierzytelnienie za pomocą identyfikatora i hasła. Identyfikator i hasło kursanta jest wspólne dla danego stanowiska. Rozróżnienie zdającego następuje po imieniu, nazwisku, numerze służbowym i stanowisku.

Struktura interfejsu użytkownika pozwala na wywoływanie kolejnych okien wizualizacji w zależności od wyboru dokonanego w poprzednim kroku.

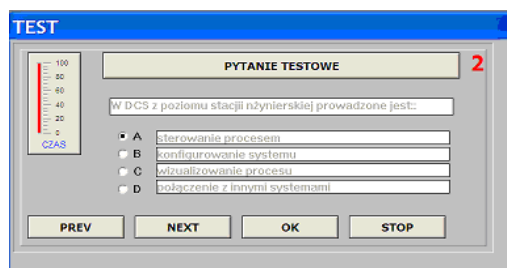
W celu umożliwienia ustawienia parametrów testu wyświetlane jest wspólne okno dla modułu kursanta i egzaminatora. Dla każdego z tych dwu typów użytkowników dostępne do edycji są wybrane przyciski wirtualne, spośród widocznych w oknie „settings”. Na rysunku 8 przedstawione jest okno modułu egzaminatora z możliwością edycji wszystkich dostępnych na ekranie synoptycznym parametrów.



Rys.8. Widok interfejsu modułu egzaminatora – okno ustawień (oprac. wł.)

Zarówno w przypadku pracy jednostanowiskowej, jak i wielostanowiskowej należy przeprowadzić pewne czynności przygotowawcze. Są nimi między innymi:

- wstępna konfiguracja aplikacji obejmująca ustawienie sposobu pracy (jedno- lub wielostanowiskowo);
- w przypadku wielostanowiskowej pracy z poziomu stacji nadrzędnej (egzaminatora) ustawienie m.in.: liczby stacji uczestniczących w teście, danych i identyfikatorów użytkowników, liczby pytań w teście, czasu aktywności, miejsca źródłowego i pliku z pytaniami;
- konfiguracja aplikacji klienckich, łączących się z aplikacją egzaminatora poprzez wskazanie m.in. odpowiedniego tematu (topic) do komunikacji. Temat jest ustawieniem systemowym pozwalającym zdefiniować sposób komunikacji stacji operatorskiej;
- wprowadzenie danych kursanta (tj. testowanego operatora);
- uruchomienie testu (zezwoenia) z poziomu stacji nadrzędnej lub jednostanowiskowo.



Rys.9. Widok interfejsu modułu kursanta – okno pytania testowego (oprac. wł.)

Proces diagnozowania poziomu wiedzy kursanta-operatora systemu SCADA przebiega następująco:

- uruchamiany jest test na stacji kursanta;
- kursant realizuje test, poprzez zaznaczenie odpowiednich odpowiedzi dla kolejnych pytań, aż do ich wyczerpania lub upływu ustawionego czasu (rys. 9);
- test kończy się automatycznie po upływie zadanego czasu lub możliwe jest ręczne wcześniejsze zakończenie. Ze względu na problemowy charakter niektórych pytań można, zgodnie z wcześniejszymi rozważaniami, nie ustawiać maksymalnego czasu na rozwiązanie testu. Dzięki temu testowany kursant może skupić się na merytorycznych aspektach pytania bez stresującego wpływu czynnika czasu. Tym samym wyniki testu wydają się bardziej wiarygodne;
- automatyczne zapisanie wyników testu do pliku archiwizacyjnego (arkusza kalkulacyjnego lub tekstowego w zależności od wybranej opcji).

### Podsumowanie

Przeprowadzone przez Autorów badania, poparte praktycznymi rozwiązaniami dowodzą, że teoria „statystycznego badania jakości wyrobów” ma wartość użyteczną nie tylko w odniesieniu do obiektów technicznych ale także biologicznych.

Na podstawie przytoczonych, w niniejszym opracowaniu, rozważań – w odniesieniu do analizy niezawodności efektu kształcenia operatorów - można sformułować następujące spostrzeżenia:

1. Zwiększanie maksymalnej liczby punktów  $Q_{max}$ , które może egzaminowany uzyskać za udzielane odpowiedzi, podnosi wiarygodność diagnozy stanu wiedzy.
2. Zwiększanie liczby ocen (tj. liczby przedziałów klasyfikacyjnych) zwiększa dokładność klasyfikacji stanu wiedzy, ale obniża wiarygodność oceny.

3. Aplikacja testująca umożliwia zastosowanie obiektywnego wzorca odpowiedzi, eliminuje ewentualne błędy oceny, uwalnia od dość żmudnego procesu zliczania punktów ocenowych.
4. Aplikacja testująca wiedzę kandydata na operatora systemu SCADA, wykonana w rzeczywistym środowisku wizualizacyjnym, dodatkowo umożliwia ćwiczenie umiejętności praktycznych obsługi pakietu SCADA.
5. Zaproponowane rozwiązanie techniczne aplikacji testującej może być także wykorzystywane w testowaniu zdalnym, co niewątpliwie jest obecnie atutem (nie należy jednak zapominać o dodatkowych sposobach zabezpieczenia przed niesamodzielnym wyborem odpowiedzi).
6. Głębokość i szczerogółowość diagnozy stanu wiedzy kursanta-operatora zależy od dociekliwości stosowanego zestawu pytań.
7. Wpływ losowości udzielanych odpowiedzi można zredukować przyjmując odpowiednie, zniechęcające do takich praktyk, zasady punktacji.

W odniesieniu do niezawodności (a tym samym i wiarygodności) testowania progowego obiektów technicznych bezdyskusyjnie są następujące wnioski:

1. Progowy sposób dozoru wartości sygnału diagnostycznego pozwala uprościć układ pomiarowy, a także zmniejszyć obciążenie magistrali komunikacyjnej systemu diagnostycznego.
2. System progowo-komparacyjny umożliwia pracę systemu diagnostycznego nawet w przypadku niepełnej informacji diagnostycznej, np. w przypadku braku wiedzy dotyczącej wartości odniesienia diagnozowanej wielkości. Umożliwia też pewne działania interwencyjne, minimalizujące wpływ błędów transmisji na proces syntezy diagnozy.

**Autorzy:** prof. dr hab. inż. Tadeusz Dąbrowski, Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Elektroniki, Instytut Systemów Elektronicznych, ul. Kaliskiego 2, 01-476 Warszawa, E-mail: [tadeusz.dabrowski@wat.edu.pl](mailto:tadeusz.dabrowski@wat.edu.pl); dr inż. Marcin Bednarek, Politechnika Rzeszowska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, Katedra Informatyki i Automatyki, ul. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów, E-mail: [bednarek@prz.edu.pl](mailto:bednarek@prz.edu.pl).

#### LITERATURA

- [1] Bednarek, M., Dąbrowski, T., Selected tools increasing human reliability in the antropotechnical system. Wybrane narzędzia zwiększające niezawodność człowieka w systemie antropotechnicznym, *Journal of KONBiN*, 50 (2020), Issue 2, 243-264
- [2] Dąbrowski, T., Będkowski, L., Bednarek, M., Diagnozowanie statystyczne efektu wytwarzanego w systemie antropotechnicznym, *Biuletyn WAT*, (2009), nr 3, 223-238
- [3] Siergiejczyk M., Rosiński A., The concept of monitoring a teletransmission track of the highway emergency, *Diagnostyka*, Vol. 16 (2015), No. 4, 49-54.
- [4] Perlicki K., Siergiejczyk M, Measurement procedures for railway telecommunications network based on synchronus digital hierarchy and wavelength division multiplexing transmission techniques, *Przegląd Elektrotechniczny*, 89 (2013), nr 9, 148-151.
- [5] Sumila M., Selected aspects of message transmission management in ITS systems. In Mikulski J. (Ed.) *Telematics in the transport environment*, (2012), Vol. 329, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg
- [6] Bednarek M., Dąbrowski T., Bezpieczeństwo komunikacji w rozproszonym systemie sterowania, *Przegląd Elektrotechniczny*, 89 (2013), nr 9, 72-74.
- [7] Bednarek M., Dąbrowski T., Wiśnios M., Dozorowanie stanu w przemysłowym systemie sterowania, *Biuletyn WAT*, (2013), nr 4, 145-154
- [8] Bednarek M., Dąbrowski T., Wybrane aspekty diagnozowania komunikacji w sieciach przemysłowych, *Przegląd Elektrotechniczny*, 95 (2019), nr 11, 166-169
- [9] Duer S., Examination of the reliability of a technical object after its regeneration in a maintenance system with an artificial neural network. *Neural Computing & Applications*, 21 (2012), 3, 523-534
- [10] Stawowy M., Duer S., Paś J., Wawrzyński W., Determining Information Quality in ICT Systems. *Energies*, 14 (2021), 17, 5549
- [11] Klimczak T., Paś J., Selected issues of the reliability and operational assessment of a fire alarm system, *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*, 21 (2019), No 4, 553-561
- [12] Stawowy M., Rosiński A., Paś J., Klimczak T., Method of Estimating Uncertainty as a Way to Evaluate Continuity Quality of Power Supply in Hospital Devices, *Energies*, (2021), 14, 486.
- [13] Becerra M. A., Tobón C., Castro-Ospina A. E., Peluffo-Ordóñez D. H., (2021), Information Quality Assessment for Data Fusion Systems, *Data*, (MDPI), 6 (2021), 60
- [14] Kaniewski P., Gil R., Konatowski, S., Estimation of UAV position with use of smoothing algorithms, *Metrology and Measurement Systems*, 24 (2017), 1, 127-142
- [15] Oladele J.I, Ndlovu M., A Review of Standardised Assessment Development Procedure and Algorithms for Computer Adaptive Testing: Applications and Relevance for Fourth Industrial Revolution, *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research*, 20 (2021), No. 5, 1-17
- [16] Ackerman P., *Industrial Cybersecurity - Second Edition: Efficiently monitor the cybersecurity posture of your ICS environment*, (2021), Pact Publishing, Birmingham-Mumbai
- [17] Flaus J.-M., *Cybersecurity of Industrial Systems*, (2019), Wiley & Sons
- [18] Jaap, A., Dewar, A., Effect of remote online exam delivery on student experience and performance in applied knowledge tests, *BMC Medical Education (Part of Springer Nature)*, (2021), Article No. 86
- [19] Bartram D., Coyne I., ITC's International Guidelines on Computer-Based and Internet-Delivered Testing, *Testing International*, 13 (2003), 1
- [20] Özalp-Yaman Ş., Çağiltay N. E., Paper-based versus computer-based testing in engineering education, *Proceedings of IEEE EDUCON 2010 Conference*, (2010), 1631-1637
- [21] Danieliene R., Telesius E., Analysis of computer-based testing systems, *Proceedings of the 2008 Conference on Human System Interactions (IEEE Publisher)*, (2008), 954-958
- [22] Goeters, K-M., Lorenz B., On the implementation of item-generation principles for the design of aptitude testing in aviation. In Irvine S. H., Kyllonen P. (Eds.) *Item generation for test development*, (2002), 339-360
- [23] Bartram D., Hambleton R. K., *Computer-based testing and the Internet. Issues and advances*, (2006), John Wiley & Sons, Chichester
- [24] Bartram D., The Micropat pilot selection battery: Applications of generativetechniques for item-based and task-based tests. In Irvine S. H., Kyllonen P. (Eds.) *Item generation for test development*, (2002), 317-338
- [25] De Blecker I., Okoroji R., *Remote usability testing*, (2014), Packt Publishing Ltd.
- [26] Gamage K.A.A., Silva E.K., Gunawardhana N., *Online Delivery and Assessment during COVID-19: Safeguarding Academic Integrity*, *Education Sciences*, 10 (2020), No. 11, 301
- [27] Jacques S., Ouahabi A., Lequeu T., *Remote Knowledge Acquisition and Assessment During the COVID-19 Pandemic*, *International Journal of Engineering Pedagogy*, 10 (2020), Iss. 6, 120-138
- [28] Macaulay, T., *RIoT Control. Understanding and Managing Risks and the Internet of Things*, (2017), Elsevier
- [29] Bednarek M., Będkowski L., Dąbrowski T., *Komparacyjno-progowe diagnozowanie w systemie transmisji komunikatów*, *Przegląd Elektrotechniczny*, 84 (2008), nr 5, 320-324
- [30] Bednarek M., Dąbrowski T., *Implementacja metody pomiarów progowych w sterowniku przemysłowym*, *Przegląd Elektrotechniczny*, 87 (2011), nr 9a, 155-159.
- [31] Bednarek, M., Dąbrowski, T., Olchowik, W., Selected practical aspects of communication diagnosis in the industrial network, *Journal of KONBiN*, 49 (2019), Iss. 3, 383-404