

METROLOGICZNO-INFORMACYJNE ASPEKTY BADAŃ DIAGNOSTYCZNYCH

Tadeusz M. DĄBROWSKI

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Elektroniki, Zakład Systemów Diagnostycznych
00-908 Warszawa, ul. Kaliskiego 2, fax (22) 683-9082, e-mail tdabrowski@wel.wat.waw.pl

Streszczenie

Artykuł poświęcony jest krótkiemu przeglądowi tych zagadnień diagnostyki technicznej, które są także elementami miernictwa i teorii informacji. Poruszone zostały m. in. następujące wątki: rola diagnozy w procesie eksploatacji, rodzaje i formy diagnoz, metody i narzędzia stosowane w diagnostyce oraz aspekty metrologiczne wartości granicznych wielkości opisujących stan diagnozowanego obiektu.

Słowa kluczowe: diagnostyka, pomiary diagnostyczne, informacja diagnostyczna.

METROLOGICAL - INFORMATIVE ASPECTS OF DIAGNOSTIC INVESTIGATIONS

Summary

Article is sacrificed to these technical diagnostics problems short review, which are also elements of metrology and information theory. Agitated touched became among other following plots: part of diagnosis in exploitation process, kinds and forms of diagnosis's, methods and tools practical in diagnostics and aspects metrological of value terminal sizes describing the diagnosed object state.

Keywords: diagnostics, measurements diagnostic, diagnostic information.

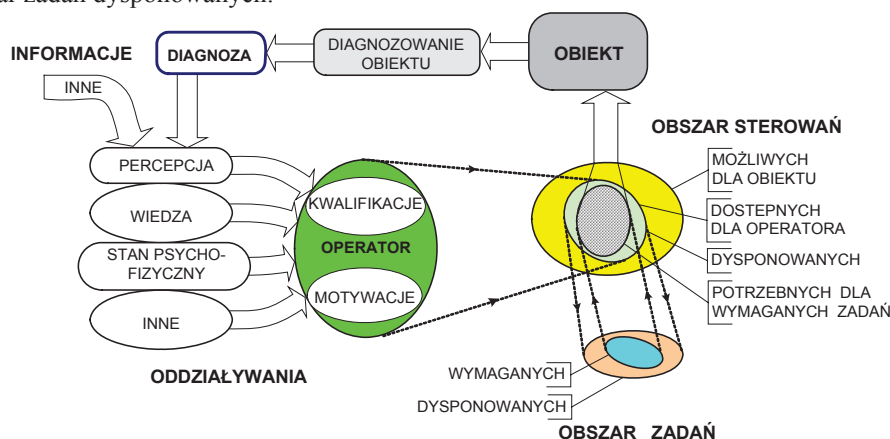
1. ROLA I MIEJSCE DIAGNOZY W PROCESIE EKSPLOATACJI

W ogólnym przypadku – w przestrzeni zadań eksploatacyjnych istnieje pewien obszar wymaganych zadań (Rys.1). Projektacja tego obszaru w przestrzeń sterowań wyznacza obszar potrzebnych sterowań. Projektacja właściwości operatora w przestrzeń sterowań wyznacza obszar dostępnych sterowań. Iloczyn tych dwu obszarów wyznacza obszar sterowań dysponowanych względem wymaganych zadań. Zwrotna projekcja obszaru sterowań dysponowanych w przestrzeń zadań – wyznacza obszar zadań dysponowanych.

System jest w pełni zdalny jeśli obszar zadań wymaganych zawiera się w obszarze zadań dysponowanych. Spełnienie tego warunku zależy - między innymi - od kwalifikacji i motywacji działań operatora.

O właściwościach operatora decyduje przede wszystkim jego:

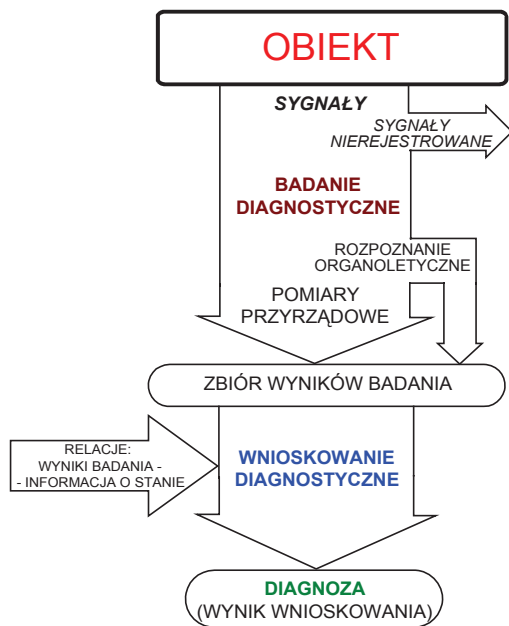
- stan psychofizyczny;
- wiedza (bazowa i aktualna o zadaniach, o otoczeniu, o obiekcie);
- percepcja różnych informacji bieżących (w tym diagnostycznych).



Rys.1. Model relacji informacyjno-działaniowych w systemie antropotechnicznym

Jeśli warunek zdatności nie jest spełniony (tj. obszar zadań wymaganych jest większy od obszaru zadań dysponowanych), to należy dążyć do zmiany właściwości operatora (a tym samym pośrednio do zmiany pobudzeń sterujących), lub zmiany stanu obiektu, lub zakresu i warunków realizacji zadań i w ten sposób dążyć do zwiększenia kompatybilności wewnętrznej systemu antropotechnicznego.

Zgodnie z modelem wewnętrznych relacji informacyjnych w systemie antropotechnicznym – schemat sekwencji przetwarzania informacji (w odniesieniu do eksploatacyjnych faz istnienia obiektu technicznego) można przedstawić tak jak na rys.2 lub tak jak na rys.3.



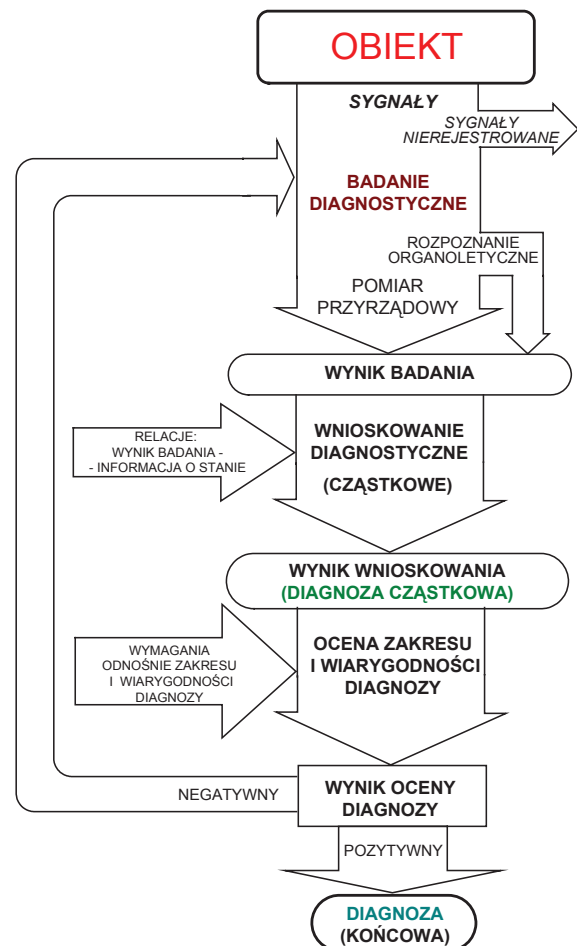
Rys.2. Schemat sekwencji przetwarzania informacji w „skupionym” procesie diagnozowania

Badanie diagnostyczne polega na pomiarze przyrządowym lub rozpoznaniu organoleptycznym wartości sygnałów wytwarzanych przez obiekt. Tworzy się w ten sposób zbiór wyników pomiarów (lub wrażeń organoleptycznych). Stanowi on pierwotną informację o stanie obiektu. Na etapie planowania badania diagnostycznego należy określić warunki badania, naturę fizyczną mierzonych sygnałów, właściwości aparatury pomiarowej, a tym dopuszczalną niepewność pomiarów, wymaganą rozdzielczość wskazań itp.

Należy pamiętać, że uzyskany w czasie badania zbiór wyników jest obciążony błędami, zależnymi od metody pomiarowej, od właściwości użytych przyrządów, od warunków, w których wykonywane są pomiary – a w tym od oddziaływań otoczenia na obiekt i na układ pomiarowy. Zatem zbiór wyników pomiarów stanowi jedynie przybliżony obraz rzeczywistego zbioru wartości sygnałów.

Wnioskowanie diagnostyczne polega na przetwarzaniu pierwotnej informacji o stanie obiektu na informację przydatną operatorowi obiektu przy podejmowaniu decyzji o sposobie i zakresie sterowania obiektem oraz na informację przydatną decydentowi systemu eksploatacji przy podejmowaniu decyzji odnośnie rodzaju i zakresu zadań eksploatacyjnych realizowanych przez system. Wnioskowanie diagnostyczne wymaga znajomości relacji: [wyniki badania diagnostycznego]→[informacja o stanie obiektu]. Relacje te powinny uwzględniać m. in. wiarygodność wnioskowania pomiarowego, rodzaj i liczbę obserwowanych objawów, wrażliwość objawów na zmiany w strukturze konstrukcyjnej i funkcjonalnej obiektu, zależność właściwości eksploatacyjnych obiektu od jego struktury konstrukcyjnej i funkcjonalnej, możliwości eksploatacyjne chwilowe i przedziałowe obiektu w funkcji właściwości eksploatacyjnych.

Wynikiem wnioskowania diagnostycznego jest informacja o stanie obiektu czyli diagnoza (użytkowa lub obsługowa).



Rys.3. Schemat sekwencji przetwarzania informacji w „rozproszonym” procesie diagnozowania

2. RODZAJE I FORMY DIAGNOZ

Diagnoza to wynik procesu diagnozowania, stanowiący zbiór informacji o stanie (lub o zbiorze stanów) obiektu oraz o relacjach zachodzących między obiektem a otoczeniem. Informacje te umożliwiają racjonalne sterowanie eksploatacją obiektu (a pośrednio także systemu, w którym obiekt się znajduje).

Diagnoza jako wynik nie w pełni wiarygodnego procesu badania i wnioskowania ma charakter hipotezy. Z tej przyczyny istnieją różne formy zapisu diagnozy. Do podstawowych należą: forma skrócona, forma częściowo rozwinięta i forma rozwinięta.

Forma skrócona diagnozy:

$$\Delta(E) = E^i \quad (1)$$

gdzie: E^i - najbardziej prawdopodobny stan obiektu (stan o numerze i).

Forma częściowo rozwinięta diagnozy:

$$\Delta(E) = (E^i, P(E^i)) \quad (2)$$

gdzie: $P(E^i)$ - prawdopodobieństwo najbardziej prawdopodobnego stanu obiektu.

Forma rozwinięta diagnozy:

$$\Delta(E) = \langle (E^i, P(E^i)); (E^k, P(E^k)); \dots; (E^n, P(E^n)) \rangle \quad (3)$$

gdzie:

E^i - i-ty stan, charakteryzujący się największym prawdopodobieństwem;

$P(E^i)$ - prawdopodobieństwo i-tego stanu;

E^n - n-ty stan, charakteryzujący się najmniejszym prawdopodobieństwem;

$P(E^n)$ - prawdopodobieństwo n-tego stanu.

Jest oczywiste, że rozwinięta forma diagnozy zawiera więcej informacji o stanie niż forma częściowo rozwinięta czy tym bardziej skrócona, ale jest trudniejsza w opracowaniu i w percepcji.

Każda diagnoza przeznaczona jest dla decydenta określonego rodzaju (tj. decydenta użytku lub obsługi) oraz określonego szczebla hierarchicznego systemu eksploatacji.

Postać diagnozy (a w tym forma, zakres, język itp.) powinna być przystosowana do percepcyjno-decyzyjno-wykonawczych właściwości decydenta. Oznacza to, że postać diagnozy musi być zrozumiała dla przyjmującego ją decydenta oraz zawierać tylko tyle i tylko takie informacje, które decydent jest w stanie przetworzyć na decyzje użytkowe lub obsługowe, leżące w zakresie jego możliwości wykonawczych. Nadmiar informacji może prowadzić do przeciążenia informacyjnego decydenta i odbić się negatywnie na

podejmowanych decyzjach. Z drugiej strony niedomiar informacji może oczywiście także prowadzić do błędnych decyzji.

Należy tu zwrócić uwagę, że w procesach diagnostycznych w systemach antropotechnicznych człowiek występuje zarówno jako podmiot i jako przedmiot diagnozowania.

W najprostszych przypadkach wszystkie szczeble przetwarzania informacji realizowane są w świadomości diagnosty. Jednak w zasadzie jest to możliwe tylko wtedy, gdy wymagana przepustowość informacyjna nie przekracza 6 bit/s (nie dotyczy to percepcji obrazów wizualnych). W każdym innym przypadku konieczne jest zastosowanie przetworników o większej przepustowości, a w konsekwencji niezbędna staje się automatyzacja przynajmniej niektórych operacji pomiarowych i przetwórczych. Człowiek-diagnosta jest „przesuwany” na wyższe szczeble przetwarzania informacji, wymagające zazwyczaj mniejszej przepustowości ale większych możliwości intelektualnych (zdolności kojarzenia).

Nie należy przy tym lekceważyć tzw. metod organoleptycznych (rozumianych jako całość wrażeń zmysłowych). Człowiek-diagnosta, wykorzystywany jako element systemu diagnozującego, okazuje się w wielu przypadkach przyrządem pomiarowym i przetwornikiem informacji wystarczająco dobrym i szybkim. Może też okazać się „przyrządem” tanim, ponieważ jego obecność w czasie diagnozowania jest konieczna jako operatora realizowanego procesu. Należy go więc wykorzystywać (w procesach mierzenia lub wnioskowania) wszędzie tam, gdzie jest to możliwe i opłacalne.

3. METODY I NARZĘDZIA DIAGNOSTYCZNE

Proces diagnozowania realizowany jest – w najogólniejszym ujęciu – przez system diagnozujący. System ten to, przeznaczony do realizacji procesu diagnozowania, zbiór ludzi, metod, programów, narzędzi oraz relacji między nimi.

Spotykane systemy diagnozujące można podzielić m. in. na:

- systemy zewnętrzne (w stosunku do diagnozowanego obiektu);
- systemy wewnętrzne (w stosunku do diagnozowanego obiektu);
- systemy zamknięte (funkcjonujące bez konieczności sterowania z zewnątrz);
- systemy otwarte (wymagające sterowania z zewnątrz).

Charakter diagnozowanego obiektu ma wpływ na rodzaj stosowanego systemu diagnozującego. W przypadku obiektów cyfrowych (np. komputerów, układów elektronicznych) stosowane są głównie systemy diagnozujące wewnętrzne, zamknięte. W przypadku obiektów analogowych

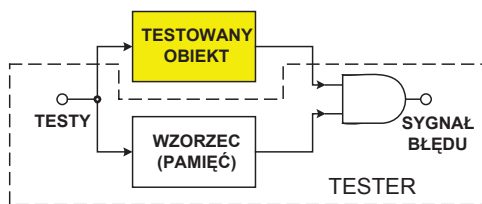
(np. urządzeń mechanicznych, elektrycznych) stosowane są głównie systemy diagnozujące zewnętrzne, otwarte.

Specyfika obiektów i systemów cyfrowych powoduje, że system diagnozujący - zwany na ogół testerem - realizuje głównie diagnozowanie procesu operacyjnego (funkcjonalnego). Diagnozowanie (testowanie) obiektu cyfrowego polega – w uproszczeniu – na generacji przez tester pobudeń diagnostycznych (testów) i na rejestracji odpowiedzi diagnostycznych. Rozróżniane są co najmniej następujące odmiany testowania:

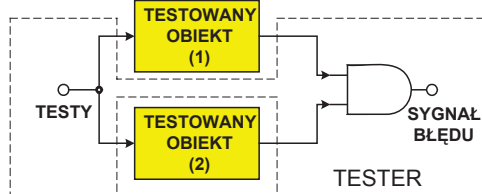
- testowanie w czasie uruchamiania (diagnozowanie aprioryczne);
- testowanie okresowe w czasie użytkowania (diagnozowanie interioryczne);
- diagnozowanie w celu wykrycia przyczyny błędnego funkcjonowania (diagnozowanie obsługowe).

Miarą skuteczności testu jest prawdopodobieństwo wykrycia – przy jego pomocy – zaistniałego błędu logicznego. O skuteczności testu świadczy też *sterowalność* testu (tzn. podatność na pobudzenie źródła błędu przez realizowany test i wywołanie odpowiedniej reakcji funkcjonalnej testowanego toru) oraz *obserwowalność* testu (tzn. podatność na propagację błędu od źródła jego powstania do jednego z wyjść obiektu).

Wnioskowanie diagnostyczne w przypadku testowania realizowane jest na ogół automatycznie w oparciu o wyniki porównania odpowiedzi testowanego układu z odpowiedziami wzorcowymi przechowywanymi w pamięci testera (rys.4) lub przez porównanie odpowiedzi dwu analogicznych obiektów poddanych temu samemu testowi (rys.5).



Rys.4. Schemat systemu diagnostycznego z obiektem cyfrowym. Tester z wzorcem.



Rys.5. Schemat systemu diagnostycznego ze zmultiplikowanym obiektem cyfrowym. Tester bez wzorca.

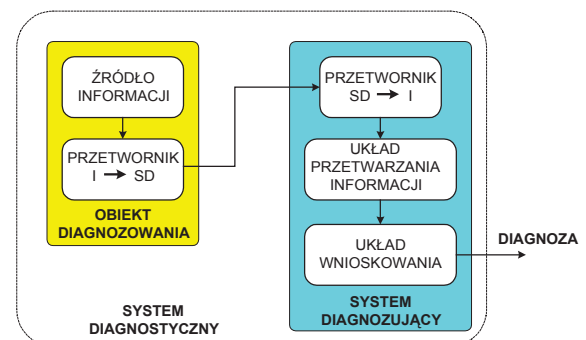
Specyfika obiektów i systemów analogowych (np. mechanicznych) wymaga by system diagnozujący realizował nie tylko diagnozowanie procesu operacyjnego (funkcjonalnego) ale także diagnozował strukturę konstrukcyjną obiektu. Diagnozowanie to polega – w większości przypadków – na obserwacji pobudeń roboczych i rejestracji odpowiedzi roboczych oraz diagnostycznych. Realizacja procesu diagnostycznego odbywa się w systemie diagnozującym – na ogół zewnętrznym i otwartym - pozostającym pod kontrolą człowieka-diagnosy. Wnioskowanie diagnostyczne realizowane jest najczęściej także z udziałem człowieka. System diagnozujący stanowią różnorodne urządzenia i systemy pomiarowe, pomiarowo-kontrolne, niekiedy wspomagane komputerowo.

Do ważniejszych metod badań diagnostycznych, w przypadku obiektów analogowych, należą: badania wizualne, widmowe, termiczne, magnetyczne, wibroakustyczne itp.

4. INFORMACJA DIAGNOSTYCZNA

Proces diagnozowania jest – jak wiadomo – procesem pozyskiwania i przetwarzania informacji. Pojęcie *informacji* ma charakter pojęcia pierwotnego i jako takie nie posiada ścisłej definicji. Na ogół przyjmuje się, że informacją jest to wszystko co może ułatwić podejmowanie decyzji odnośnie działania i samo działanie.

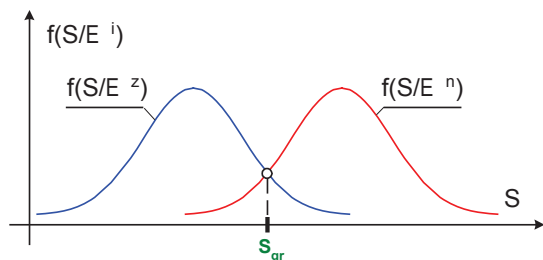
Przenoszenie informacji odbywa się za pośrednictwem sygnału tj. takiej wielkości fizycznej, której niektóre cechy zależą od informacji. Warto zauważyć, że w diagnozowanym obiekcie następuje przekształcanie niedostępnej bezpośrednio informacji (I) o stanie obiektu i o toczącym się w nim procesie funkcjonalnym w dostępny sygnał diagnostyczny (SD). Z kolei w torze pomiarowym systemu diagnozującego musi istnieć przetwornik dokonujący odwrotnego przekształcenia sygnału diagnostycznego (SD) w informację diagnostyczną (I). Informacja ta ulega dalszym przekształceniom (np. selekcji) w układach realizujących proces przetwarzania i wnioskowania diagnostycznego.



Rys.6. Schemat systemu diagnostycznego jako systemu informacyjnego

5. ASPEKTY METROLOGICZNE WARTOŚCI GRANICZNYCH

Pojęcie wartości granicznej miary stanu ma w diagnostyce podstawowe znaczenie. Odnosi się ono do takiej wartości wielkości opisującej stan lub wartości funkcji utworzonej na zbiorze tych wielkości (np. funkcji potencjału), której przekroczenie upoważnia do stwierdzenia, że stan obiektu (lub systemu) istotnie się zmienił np. znalazł się w klasie stanów niezdatności (rys.7).



Rys.7. Ilustracja rozkładów miary stanu S w funkcji stanu zdatności i stanu niezdatności obiektu z zaznaczoną przykładowo wartością graniczną S_{gr} według klasyfikacji dwustanowej

Wartość graniczna ma znaczenie nie tylko w ujęciu informacyjnym (w procesie wnioskowania diagnostycznego) ale także w ujęciu metrologicznym (w procesie badania diagnostycznego).

Wymagania odnośnie pomiarów (i rozpoznania organoleptycznego) wielkości diagnostycznych są funkcją odległości rzeczywistej wartości miary stanu od jej wartości granicznej.

Dokładność i częstość pomiarów, czułość i rozdzielczość urządzeń pomiarowych powinny wzrastać gdy rzeczywista wartość miary stanu zbliża się do wartości granicznej oraz gdy dynamika zmniejszania odległości między tymi wartościami rośnie.

W przypadku znacznej odległości między wartością rzeczywistą a wartością graniczną miary stanu i niewielkiej dynamiki zmian tej odległości układ pomiarowy może być typu progowego (np. ze wskazaniami niosącymi informację typu: wartość dopuszczalna, wartość ostrzegawcza, wartość niedopuszczalna).

Wartość graniczna miary stanu (S_{gr}) może być wyznaczona na podstawie doświadczenia, ale bardziej uzasadnione jest wykorzystanie do tego celu jednej z metod podejmowania decyzji statystycznych. Istnieje kilka metod wyznaczania wartości granicznych i umożliwiających dzięki temu podejmowanie decyzji eksploatacyjnych. Metody te różnią się liczbą czynników uwzględnianych przy ocenie ryzyka oraz wymaganym zakresem znajomości apriorycznych prawdopodobieństw stanów: $p(\mathcal{E}^z)$ i $p(\mathcal{E}^n)$. Do częściej stosowanych

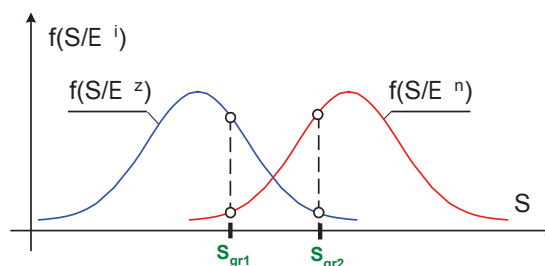
należą: metoda minimalnego ryzyka, metoda „minimaxowa”, metoda Neymana-Pearsona.

Znajomość wartości granicznej miary stanu pozwala na wnioskowanie według klasyfikacji dwustanowej:

$$S < S_{gr} \Rightarrow E = E^z$$

$$S \geq S_{gr} \Rightarrow E = E^n$$

W większości przypadków korzystniej jest realizować wnioskowanie według klasyfikacji wielostanowej np. trójstanowej. W tym celu należy wyznaczyć dwie wartości graniczne miary stanu: jedną przy założeniu maksymalnie dopuszczalnego błędu I rodzaju, a drugą przy założeniu maksymalnie dopuszczalnego błędu II rodzaju (rys.8).



Rys.8. Ilustracja rozkładów miary stanu S w funkcji stanów obiektu z zaznaczonymi przykładowo wartościami granicznymi S_{gr1} i S_{gr2} według klasyfikacji trójstanowej

Wnioskowanie o stanie obiektu ma, w tym przypadku, następujący przebieg:

$$S < S_{gr1} \Rightarrow E = E^z$$

$$S_{gr1} \leq S < S_{gr2} \Rightarrow E = (E^z \cup E^n)$$

$$S \geq S_{gr2} \Rightarrow E = E^n$$

Pojawienie się wartości miary stanu w przedziale pomiędzy wartościami granicznymi oznacza stan niepewności. W celu wyjaśnienia tej sytuacji niezbędne jest na ogół przeprowadzenie dodatkowych badań diagnostycznych.

6. PODSUMOWANIE

Przedstawiony przegląd wybranych zagadnień z zakresu diagnostyki ma na celu zwrócenie uwagi na ścisłe związki zachodzące pomiędzy diagnostyką a innymi obszarami wiedzy jak np. metrologią i teorią informacji. Świadomość tych powiązań może w wielu przypadkach ułatwić znalezienie poprawnego rozwiązania pojawiających się problemów w realizowanym lub planowanym procesie diagnozowania.

LITERATURA

- [1] Będkowski L.: Elementy diagnostyki technicznej. Wyd. WAT, Warszawa 1991.
- [2] Bendat J., Piersol A.: Metody analizy i pomiaru sygnałów losowych. PWN, Warszawa 1976.
- [3] Cempel Cz.: Podstawy wibroakustycznej diagnostyki maszyn. WNT, Warszawa 1982.
- [4] Cholewa W., Moczulski W.: Diagnostyka techniczna maszyn. Pomiar i analiza sygnałów. Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 1993.
- [5] Międzynarodowy słownik podstawowych i ogólnych terminów metrologii. Wyd. GUM, Warszawa 1996.
- [6] Niziński S.: Elementy diagnostyki obiektów technicznych. Zagadnienia ogólne. Wyd. UW-M, Olsztyn 2001.
- [7] Sapiecha K.: Testowanie i diagnostyka systemów cyfrowych. PWN, Warszawa 1987.
- [8] Seidler J.: Nauka o informacji. Tom I. Podstawy, modele źródeł i wstępne przetwarzanie informacji. WNT, Warszawa 1983.
- [9] Seidler J.: Nauka o informacji. Tom II. Sygnały niosące informację i jej odtwarzanie. WNT, Warszawa 1983.
- [10] Żółtowski B.: Podstawy diagnostyki maszyn. Wyd. ATR, Bydgoszcz 1996.
- [11] Żółtowski B., Ćwik Z.: Leksykon diagnostyki technicznej. Wyd. ATR, Bydgoszcz 1996.



Dr inż. **Tadeusz Marian Dąbrowski** urodził się w 1943 r. na Wołyniu w pow. kostopolskim. W roku 1967 ukończył Wojskową Akademię Techniczną i z dyplomem

mgra inż. elektryka o specjalności „Osprzęt samolotów i śmigłowców” został zatrudniony w tej uczelni na etacie dydaktyczno-naukowym. Zajmował kolejno stanowiska: st. asystenta, kierownika laboratorium, kierownika zakładu. Obecnie – po zwolnieniu z zawodowej służby wojskowej w stopniu pułkownika Wojsk Lotniczych - jest adiunktem n-d. w grupie cywilnych nauczycieli akademickich.

Zainteresowania naukowe koncentruje w obszarze teorii eksploatacji – głównie na kierunku diagnostyka techniczna. Do ważniejszych zagadnień, którymi się zajmuje należą: diagnostyka systemów antropotechnicznych (szczególnie w aspekcie użytkowym i bezpieczeństwa) oraz komputerowe wspomaganie procesu diagnostyczno-obslugowego.

Do ważniejszych efektów jego działalności naukowej zaliczyć można:

- autorstwo lub współautorstwo: 21 artykułów, 74 referatów, 6 patentów;
- udział w charakterze wykonawcy lub kierownika w 27 pracach naukowo-badawczych;
- wdrożenie do praktyki wyników 14 prac naukowo-badawczych;
- opublikowanie w 2001 roku rozprawy habilitacyjnej nt. „Diagnozowanie systemów antropotechnicznych w aspekcie potencjałowo-efektowym” (kolokwium habilitacyjne odbyło się w marcu 2002 roku).

Aktywność naukowo-organizacyjną rozwija w stowarzyszeniach naukowych, m. in.:

- w Zespole Diagnostyki Sekcji Podstaw Eksploatacji Komitetu Budowy Maszyn PAN;
- w Polskim Towarzystwie Diagnostyki Technicznej;
- w Polskim Towarzystwie Bezpieczeństwa i Niezawodności.
- Jest m. in. współorganizatorem cyklicznych Krajowych Konferencji DIAG „Diagnostyka Techniczna Urządzeń i Systemów”.