

DOBÓR ZESPOŁU EKSPERTÓW DO DIAGNOZOWANIA STANU MASZYN

Wiktor KUPRASZEWICZ
 Centrum Szkolenia Czołgowo-Samochodowego
 64-920 Piła, ul. Podchorążych 1, wikkup@polbox.com

Bogdan ŻÓŁTOWSKI
 Akademia Techniczno-Rolnicza w Bydgoszczy, KMR i P
 85-763 Bydgoszcz, ul. Prof. S. Kaliskiego 7, bogzol@atr.bydgoszcz.pl

Streszczenie

Podczas diagnozowania maszyn dokonujemy pomiarów wielu parametrów diagnostycznych, na podstawie których podejmowana jest decyzja, co do dalszej eksploatacji obiektu. Często, przy ocenie stanu złożonych obiektów technicznych, odwołujemy się do opinii specjalistów. Posiadając odpowiednie środki, prawie zawsze, odwołujemy się do opinii ekspertów, szczególnie gdy w grę wchodzi wysokie koszty usunięcia awarii lub bezpieczeństwo ludzi. Może jednak okazać się, że poziom zróżnicowania znajomości danego problemu przez ekspertów jest różny, a uzyskanie wysokiej jakości opinii wątpliwe. W artykule przedstawiono metodę doboru ekspertów, z zastosowaniem modelu obiektowego aparatury rejestrującej stan obiektu.

Słowa kluczowe: ekspert, dobór ekspertów, system ekspertowy, diagnostyka, stan maszyn.

THE SELECTION OF THE EXPERTS TEAM TO DIAGNOSE THE CONDITION OF THE MACHINES

Summary

When state of the machines is diagnosed we make measures of many diagnostic parameters which create the base that lets us make the decision, how to operate the object in the future? Often while assessing the state of the complex technical objects, we resort to the specialists' opinion. Having the proper means, almost always, we resort to the experts' opinion, especially when the high cost of repairing or safety of people is involved. However it might appear that the diversity of knowledge of given problem among the experts is different and receiving a high quality opinion is doubtful. This is the reason showing the necessity to determine the number of specialists that can be the candidates to the experts team as well as the necessity of conducting the assessment of the diagnostic parameters recorded during the measurements. This article presents the way of choosing the experts while using the object's model of the recording device which registers the condition of the object.

Keywords: expert, selection of experts, expert system, diagnostic, state of machine.

1. WPROWADZENIE

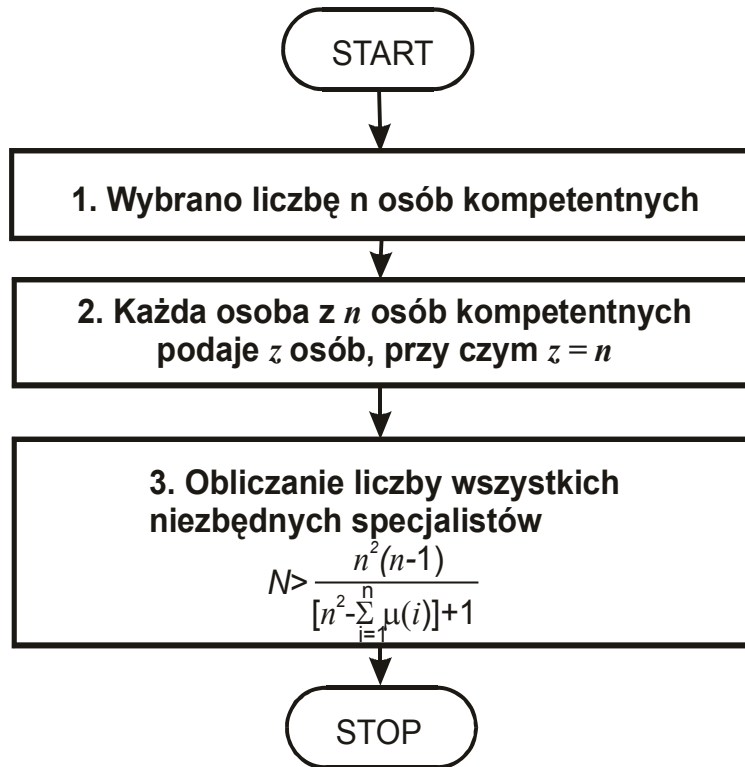
W każdym systemie doradczym jednym z głównych elementów decydującym o jego jakości, jest baza wiedzy. Jakość otrzymanych opinii istotnie zależy od jakości generowanych ocen ekspertów. Dlatego też należy starannie dobierać i badać zespół ekspertów, pod względem jego kompetencji i zgodności opinii. Osoby, których oceny chcemy wykorzystać w systemie doradczym nie mogą być przypadkowe, lecz muszą być specjalistami wysokiej klasy, a ich opinie umiarkowanie zgodne.

2. WSTĘPNY DOBÓR I OCENA EKSPERTÓW

Wstępną liczbę ekspertów ustalono na podstawie niżej podanego algorytmu (rys.1.). Minimalna liczba specjalistów przy założeniu, że każdy z n specjalistów typuje taką samą liczbę $z = n$ specjalistów w swoim gronie, obliczona jest ze wzoru (1):

$$N > \frac{nz(n-1)}{(nz - \sum_{i=1}^n \mu(i)) + 1} \quad (1)$$

gdzie: N – niezbędna liczba specjalistów; z – kompetentni specjaliści podani przez n wytypowanych specjalistów; $\mu(i)$ – liczba nie powtarzających się specjalistów podana przez i -tego specjalistę z n grup.



Rys.1. Algorytm obliczania niezbędnej liczby specjalistów

Przy założeniu, że n specjalistów poda taką samą liczbę specjalistów tj. $z = n$, to przedstawiony wzór się uprości i otrzymamy (2).

$$N > \frac{n^2(n-1)}{\left(n^2 - \sum_{i=1}^n \mu(i)\right) + 1} \quad (2)$$

Aby obliczyć niezbędną, wstępną liczbę specjalistów, kandydujących do grona ekspertów, zapytano w pewnej instytucji specjalistów A, B, C, D, E, F, G, H, aby podali sobie znanych ośmiu specjalistów, w pewnej wąskiej dziedzinie wiedzy (wyniki zestawiono w tabeli nr1). Liczba niepowtarzających się specjalistów (kolumna 4) ustalana jest w odniesieniu do pierwszego zespołu (kolumna 2).

Podstawiając do wzoru (2) dane z tabeli 1., otrzymano niezbędną liczbę specjalistów:

$$N > \frac{8^2(8-1)}{(8^2 - 46) + 1} = \frac{64 \times 7}{(64 - 46) + 1} = \frac{448}{19} = 23,578 \quad (3)$$

Minimalny zespół, w tym przypadku, powinien składać się z 24 specjalistów. Ponieważ wszystkich specjalistów podanych przez $n = 8$ wytypowanych specjalistów jest 24 (A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, R, S, T, U, W, X, Y, Z), a potrzebna, obliczona liczba specjalistów wyniosła 24, co można przyjąć do dalszych rozważań, jako początkowy zespół specjalistów. Do oceny stopnia

kompetencji eksperta zastosowano współczynnik K_k kompetencji eksperta wyrażony wzorem (4):

$$K_k = \frac{k_z + k_a}{2} \quad (4)$$

gdzie: K_k – współczynnik kompetencji eksperta, k_z – współczynnik stopnia znajomości problemu przez eksperta, k_a – współczynnik argumentacji.

Współczynnik k_z i k_a uzyskano na podstawie samooceny wytypowanych specjalistów. Każdy z zastosowanych współczynników przyjmuje wartość z przedziału $<0;1>$; zatem współczynnik K_k również przyjmuje wartości z przedziału $<0;1>$.

Każdy ze specjalistów kandydujący do grona ekspertów, sam określił swoją znajomość danego problemu, podając odpowiednią ilość punktów w jedenastopunktowej skali. Wartości punktów do samooceny zostały przedstawione w tabeli 2.

Podaną przez eksperta liczbę punktów mnoży się przez 0,1 i tak otrzymaną liczbę przyjmuje się jako współczynnik stopnia znajomości problemu przez eksperta k_z . Współczynnik argumentacji k_a uwzględnia strukturę argumentów, będących podstawą do określenia oceny wystawianej przez danego eksperta poszczególnym obiektom.

Wartość tego współczynnika można wyznaczyć poprzez zsumowanie wartości zaznaczonych przez eksperta w polach tabeli 3, stopień źródła argumentacji na opinię eksperta.

Tabela 1. Typowanie szerokiego grona specjalistów

Lp.	Wytypowani specjaliści n	Wytypowani $z = n$ specjalistów przez n specjalistów	Liczba $\mu(i)$ nie powtarzających się specjalistów
1.	2.	3.	4.
1.	A	B;K;L;M;N;R;W	7
2.	B	A;C;J;L;M;P;X;Y	6
3.	C	A;D;G;K;L;N;P;R	5
4.	D	A;E;M;N;P;R;S;X	6
5.	E	B; K;M;N;P;S;T;U	7
6.	F	A;C;E;I;K;N;R;Z	5
7.	G	D;F;I;L;M;N;P;S	6
8.	H	C;D;F;G;R;S;T;U;	4
RAZEM			46

Tabela 2. Wartość punktów do samooceny eksperta (specjalisty)

Wartość punktów	Opis skali
0,1	Ekspert nie zna problemu.
2,3	Ekspert słabo zna problem ale wchodzi on w sferę jego zainteresowań.
4,5,6	Ekspert w stopniu zadawalającym zna problem , ale nie bierze udziału w jego praktycznym rozwiązaniu.
7,8,9	Ekspert dobrze zna problem , uczestniczy w praktycznym jego rozwiązaniu.
10	Ekspert doskonale zna problem . Problem należy do wąskiej specjalizacji eksperta.

Tabela 3. Współczynnik argumentacji k_a

Lp.	Źródło argumentacji	Argumentacja		
		wysoka	średnia	niska
1.	Przeprowadzona przez eksperta analiza teoretyczna	0,2	0,15	0,1
2.	Doświadczenie praktyczne eksperta	0,5	0,35	0,2
3.	Znajomość prac rodzimych autorów	0,05	0,04	0,03
4.	Znajomość prac zagranicznych autorów	0,05	0,04	0,03
5.	Intuicja eksperta	0,2	0,17	0,14

Współczynnik argumentacji nie powinien być większy od 1, natomiast jego wartość $k_a=1$, $k_a=0,75$, $k_a=0,5$, odpowiadają (odpowiednio) za wysoki, średni, niski stopień wpływu wszystkich źródeł argumentacji na opinię eksperta. Wartość

współczynnika k_a zmniejsza się przy przechodzeniu od doświadczenia praktycznego do analizy teoretycznej. W ramach przeprowadzonych badań poszczególni eksperci uzyskali następujące wyniki, które zestawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Wartość współczynnika kompetencji eksperta

Ekspert	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
k_a	0,97	0,93	0,77	0,80	0,82	0,79	0,71	0,83	0,57	0,59	0,53	0,77
k_z	0,9	0,9	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,6	0,7	0,5	0,7
$K_k = \frac{k_a + k_z}{2}$	0,935	0,915	0,735	0,80	0,81	0,795	0,705	0,815	0,585	0,645	0,515	0,735
Ekspert	M	N	O	P	R	S	T	U	W	X	Y	Z
k_a	0,56	0,83	0,76	0,79	0,82	0,71	0,53	0,76	0,56	0,83	0,59	0,77
k_z	0,6	0,9	0,8	0,8	0,9	0,8	0,6	0,7	0,7	0,9	0,7	0,7
$K_k = \frac{k_a + k_z}{2}$	0,580	0,865	0,780	0,795	0,86	0,755	0,565	0,73	0,63	0,865	0,645	0,735

Ustalając wartość progową współczynnika $K_k = \varepsilon$ (ze względu na wstępny dobór zespołu przyjęto: $\varepsilon = 0,6$), na podstawie obliczonych wartości usunięto tych ekspertów, dla których wartość K_k była mniejsza od ε ($K_k < 0,6$). Przy takim założeniu usunięto eksperta I, K, M, T. W tabeli 4. tłustym drukiem zaznaczono ekspertów, którzy nie spełnili warunku osiągnięcia współczynnika $K_k > 0,6$. Do dalszych rozważań ustalono, zespół ekspertów w liczbie 20.

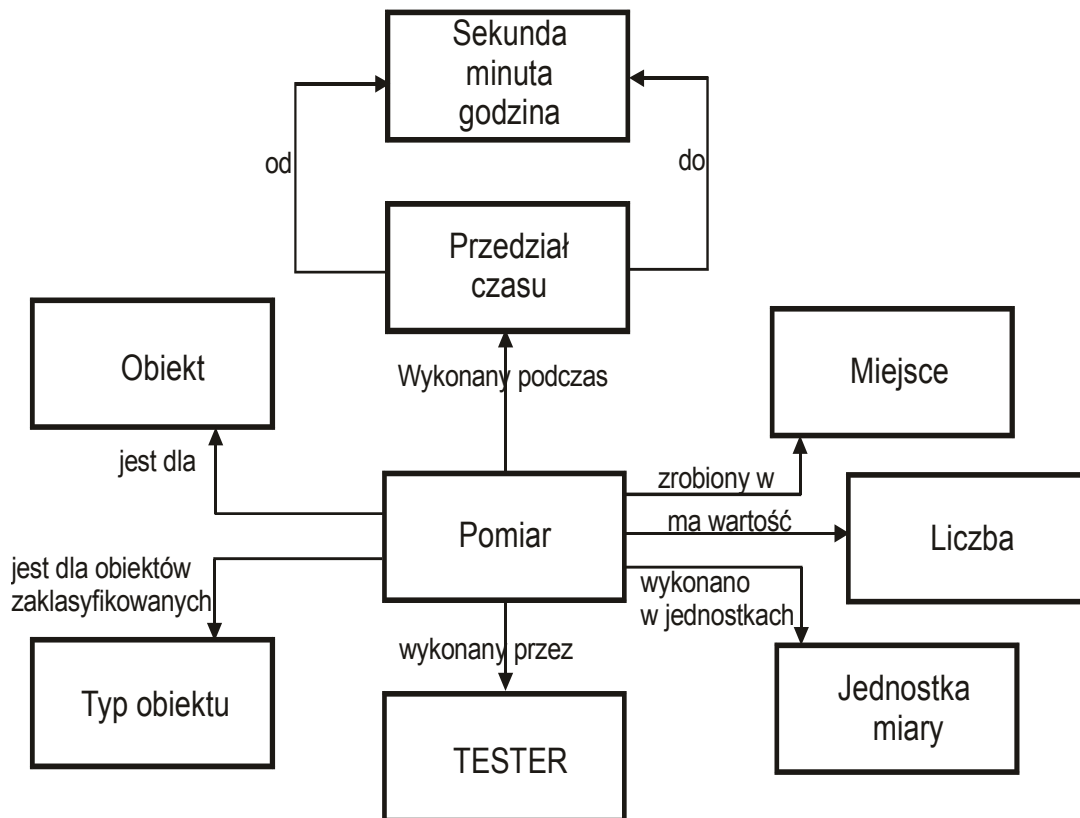
3. WYZNACZENIE WAŻNOŚCI OBIEKTÓW NA PODSTAWIE OPINII EKSPERTÓW

Przyrządy wielofunkcyjne (testery) dokonują pomiarów, co do których mamy wątpliwości, ze względu na różny poziom informacji jaki niosą

z sobą sygnały diagnostyczne. Możemy stwierdzić, że niektóre informacje są więcej, a inne mniej istotne dla operatora takiego przyrządu. Określając poszczególne funkcje testera jako obiekty (jednej funkcji pomiarowej możemy przypisać kilka obiektów), chcemy wiedzieć które niosą ze sobą maksimum informacji o diagnozowanym obiekcie. Oceny takiej często dokonują eksperci, a metodę nazwano, wyznaczaniem ważności obiektów na podstawie opinii ekspertów.

Diagram obiektowy dla pomiarów realizowanych przez TESTER pokazano na rys. 2.

Z funkcji przyrządu wytypowano następujące parametry, którym przypisano poszczególne obiekty, a dla uproszczenia przedstawianych danych w trakcie obliczeń, nadano im symbole od A1 do A14. (tabela 5).



Rys.2 Diagram obiektowy pomiaru testera

Tabela 5. Parametry stanu mierzone przez tester w ujęciu obiektowym

Lp	Parametr stanu mierzony przez TESTER	Jednostka miary	Obiekt	Miejsce	Symbo l
1.	Napięcia akumulatora jałowe	[V]	Akumulator	Zaciski akumulatora	A1
2.	Napięcie akumulatora podczas rozruchu	[V]	Akumulator, opory rozruchu	Zaciski akumulatora	A2
3.	Natężenie prądu rozruchowego	[A]	Akumulator, opory rozruchu	Przewód prądowy	A3
4.	Napięcie akumulatora podczas pracy silnika	[V]	Regulator napięcia prądnicy, prądnica	Zaciski akumulatora	A4
5.	Poziom ciśnienia wtrysku	[%]	Aparatura wtryskowa	Przewód wtryskowy Przy wtryskiwaczu	A5
6.	Temperatura cieczy	[°C]	Układ chłodzenia Aparatura wtryskowa	Miejsce wypływu cieczy chłodzącej z głowicy	A6
7.	Obroty wału korbowego na biegu jałowym	[Obr/min]	Aparatura wtryskowa	Przewód wtryskowy przy wtryskiwaczu	A7
8.	Nierównomierność obrotów wału korbowego.	[%]	Aparatura wtryskowa	Przewód wtryskowy przy wtryskiwaczu	A8
9.	Dynamiczny kąt początku tłoczenia	[°OWK]	Aparatura wtryskowa	Koło zamachowe	A9
10.	Oscylogram ciśnienia w przew. Wtryskowych	Oscylogra m	Aparatura wtryskowa	Przewód wtryskowy przy wtryskiwaczu	A10
11.	Względna dawka paliwa	[%]	Aparatura wtryskowa	Przewód wtryskowy przy wtryskiwaczu	A11
12.	Moc efektywna (char.)	[%]	Aparatura wtryskowa Proces spalania	Przewód wtryskowy przy wtryskiwaczu	A12
13.	Moment obrotowy efektywny (char.)	[%]	Aparatura wtryskowa Proces spalania	Przewód wtryskowy przy wtryskiwaczu	A13
14.	Funkcja KOMPRESJA szczelności cylindrów	[%]	Przestrzeń robocza	Przewód prądowy	A14

Zespół złożony z 20 ekspertów (A, B, C, B, E, F, G, H, J, L, N, O, P, R, S, U, W, X, Y, Z) dokonał oceny 14 obiektów (cech), przy następujących założeniach: m – liczba ekspertów biorących udział w grupowej ocenie, n – liczba ocenianych obiektów, m_j – liczba ekspertów oceniających obiekt A_j , $j = 1, \dots, k$, m^1 – liczba ekspertów oceniających choć jeden obiekt (metoda przewiduje przypadek gdy niektórzy eksperci nie dali ocen pewnym obiektom, gdyż uważają siebie za niedostatecznie kompetentnych), $m_{\max j}$ – liczba ekspertów którzy dali maksymalną liczbę punktów przy ocenie j -tego obiektu, c_{ij} – ocena w punktach względnej ważności obiektów przyznanej j -temu obiektowi przez i -tego eksperta, n^1 – liczba obiektów ocenianych przynajmniej przez jednego eksperta. Ekspert może przyznać od 0 do K punktów, jeśli się uważa za mało kompetentnego stawia „-”. Górna granica skali K jest większa lub równa kilkukrotnej wielokrotności ilości obiektów, aby zapewnić możliwość przyznania różnym obiektom różnych ocen. Zakłada się, że każdy obiekt jest oceniony przynajmniej przez jednego eksperta, a każdy

ekspert ocenił przynajmniej jeden obiekt. Podstawowym wskaźnikiem uogólnionej opinii ekspertów może być, wyznaczona dla każdego j -tego obiektu ($j = 1, 2, \dots, n^1$), średnia wartość jego oceny M_j w punktach dana wzorem (5):

$$M_j = \frac{\sum_{i=1}^{m_j} c_{ji}}{m_j} \quad (5)$$

Wartość M_j równa dolnej granicy skali punktowej odpowiada przypadkowi, gdy wszyscy oceniający j -ty obiekt eksperci dali najmniejszą możliwą ocenę ważności. Wartość M_j równa górnej granicy skali punktowej oznacza, że wszyscy eksperci przyznali największą możliwą ocenę. Im większa wartość M_j , tym znaczenie obiektu jest większe. Uzupełniającym wskaźnikiem charakteryzującym uogólnioną opinię grupy ekspertów o względnej ważności obiektów jest częstość największej możliwej oceny uzyskanej przez j -ty obiekt $K_{\max j}$ dana wzorem (6).

$$K_{\max j} = \frac{m_{\max j}}{m_j} \text{ gdzie } j = 1, \dots, n^l \quad (6)$$

Wskaźnik $K_{\max j}$ przyjmuje wartości z przedziału $<0;1>$. Charakteryzuje on znaczenie obiektu z punktu widzenia przyznania pierwszych miejsc.

Wyniki oceny ekspertów przedstawiono w tabeli 6. Wskaźnik $K_{\max j}$ zapisano w postaci ułamka zwykłego dla uwidocznienia przyznania liczby pierwszych miejsc. Ponieważ niektórzy eksperci nie oceniali pewnych obiektów, dla tych obiektów wyliczono punkty na podstawie średniej pozostałych (te przypadki zaznaczono w tabeli nr 6 odcieniem szarym).

Tabela 6. Wyniki oceny obiektów przez zespół ekspertów

	A	B	C	D	E	F	G	H	J	L	N	O
A1	20	20	10	20	30	40	30	20	10	20	20	20
A2	50	70	90	90	90	90	80	40	70	80	80	80
A3	50	30	70	90	90	80	60	100	80	70	60	70
A4	50	75	60	80	90	70	80	100	90	60	80	80
A5	100	100	89	90	89	89	89	50	80	90	100	80
A6	80	100	79	80	70	80	70	80	90	80	80	80
A7	50	60	64	30	50	60	70	100	50	70	70	70
A8	20	80	63	20	60	60	70	70	70	70	70	70
A9	20	60	57	80	50	80	70	60	70	50	50	60
A10	20	40	64	60	80	80	70	50	70	70	70	60
A11	50	50	53	30	50	70	60	40	60	60	60	40
A12	70	100	82	90	90	70	80	80	90	70	80	80
A13	80	100	79	90	90	80	70	80	80	70	70	80
A14	100	80	93	100	90	80	80	90	100	90	90	100

Tabela 6. Wyniki oceny obiektów przez zespół ekspertów c.d.

	P	R	S	U	W	X	Y	Z	Suma	M_j	$K_{\max j}$
A1	30	10	20	20	10	20	20	20	410	20,5	0/20
A2	70	60	80	80	80	70	80	80	1510	75,5	0/20
A3	80	70	50	70	80	80	60	70	1410	70,5	1/20
A4	70	80	80	60	70	80	80	80	1515	75,75	1/20
A5	90	100	90	80	90	90	90	100	1776	88,8	5/20
A6	80	70	80	70	80	80	80	80	1589	79,45	1/20
A7	50	70	70	70	70	60	70	70	1274	63,7	1/20
A8	70	60	70	60	70	70	70	70	1263	63,15	0/20
A9	50	50	60	50	50	60	50	60	1137	56,85	0/20
A10	70	70	70	70	50	70	70	70	1274	63,7	0/20
A11	60	60	60	60	60	40	60	40	1063	53,15	0/20
A12	80	90	80	90	70	80	70	90	1632	81,6	1/20
A13	70	80	80	80	70	80	70	80	1579	78,95	1/20
A14	90	100	100	90	100	100	90	100	1863	93,15	9/20

4. PODSUMOWANIE

1. Metody grupowej oceny ekspertów stosowane powinny być wszędzie tam, gdy nie dysponujemy danymi uzyskanymi na podstawie obserwacji lub nie istnieje spójna, dobrze uzasadniona, oraz obiektywnie sprawdzona teoria ustalająca, korelacyjne, przyczynowe związki między obserwowanymi zjawiskami.
2. Zastosowanie modelu obiektowego do oceny funkcji pomiarowych przyrządów

diagnostycznych, pozwala na uszeregowanie parametrów pomiarowych realizowanych podczas badania diagnostycznego, w zależności od wiedzy i intuicji eksperta.

3. Przedstawiony metodyka wyboru ekspertów z grona specjalistów, może być stosowana wszędzie tam, gdzie zależy nam na ocenie tych obiektów ze względu na pewną wyróżnioną cechę.

5. LITERATURA

- [1] Cholewa W.: Dynamiczne systemy doradcze w diagnostyce technicznej, Materiały konferencyjne, Kongres Diagnostyki Technicznej KDT'96, Gdańsk 1996.
- [2] Martin J., Odell J.J.: Podstawy metod obiektowych, WNT, Warszawa 1997.
- [3] Mięczyńska A.: Metoda heurystyczna – grupowa ocena ekspertów zastosowaniu do analizy procesów, produktów. Problemy eksploatacji maszyn. Warszawa 1996.
- [4] Steczkowski J., Zeliaś A.: Statystyczne metody analizy cech jakościowych, Wydawnictwo PWE., Warszawa 1981.
- [5] Żółtowski B.: Podstawy diagnostyki maszyn, Wyd. Uczel. ATR Bydgoszcz 1996.



Mgr inż. **Wiktor Kupraszewicz** jest pracownikiem dydaktycznym Centrum Szkolenia Czołgowo-Samochodowego w Pile. Od roku 1996 współpracuje z Katedrą Maszyn Roboczych i Pojazdów, ATR

w Bydgoszczy, gdzie kontynuuje pracę naukową, pod kierownictwem prof. dr hab. inż. Bogdana Żółtowskiego. Interesuje się metodami i środkami diagnozowania silników spalinowych z zastosowaniem techniki komputerowej, w tym sztucznej inteligencji. W czasie wolnym interesuje się sportem, uprawia żeglarstwo i narciarstwo.



Prof. dr hab. inż. **Bogdan Żółtowski** jest pracownikiem naukowym Akademii Techniczno-Rolniczej w Bydgoszczy i kierownikiem Katedry Maszyn Roboczych i Pojazdów, Wydziału Mechanicznego tej uczelni. Działalność

naukową prowadzi w dziedzinie wibroakustyki i diagnostyki technicznej, dynamiki maszyn, metrologii i eksploatacji pojazdów, zarządzania eksploatacją obiektów technicznych. Ma w dorobku ponad 300 publikacji, jest autorem i współautorem 18 opracowań zwartych. Współpracuje z ośrodkami naukowymi w kraju (Politechnika Poznańska, Politechnika Śląska, AGH w Krakowie, WAT w Warszawie) i za granicą (Akademia w Mińsku, UWE Bristol, Birmingham Politechnic, Technion-Hajfa). W swoje dotychczasowej działalności naukowej wypromował wielu doktorów, magistrów i inżynierów. W czasie wolnym zajmuje się techniką motoryzacyjną, uprawia żeglarstwo i narciarstwo.