

**Mariusz ŻÓŁTOWSKI, Bogdan ŻÓŁTOWSKI**  
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Bydgoszcz

## WYBRANE NARZĘDZIA OCENY ZAGROZEŃ MASZYN KRYTYCZNYCH

### Słowa kluczowe

Racjonalna eksploatacja, degradacja stanu, narzędzia jakości.

### Streszczenie

W artykule wskazano na możliwości kształtowania poprawnej eksploatacji maszyn krytycznych, szczególnie z wykorzystaniem informacji diagnostycznej. Pozyskane informacje o ewolucji degradacji stanu maszyn winny być opracowane statystycznie i w przyjazny dla użytkownika sposób dostępne w procesie użytkowania. Służą do tego zebrane w materiale publikacji metody i narzędzia zarządzania jakością, coraz częściej wykorzystywane w praktyce eksploatacji maszyn.

### Wprowadzenie

Osiągnięcie pełnego stanu bezpieczeństwa przy eksploatacji maszyn i urządzeń technicznych nie jest możliwe, gdyż ponad 70% wypadków przy pracy jest związanych z maszynami. Z tego względu wymagane jest, zarówno na etapie projektowania, jak i w trakcie eksploatacji, rozpoznawanie zagrożeń stwarzanych przez maszyny i szukanie rozwiązań minimalizujących ich skutki [1, 2].

W tym opracowaniu zasygnalizowano zagrożenia krytyczne w ujęciu degradacji stanu modułowych konstrukcji nowych i eksploatowanych maszyn. Wskazano na dominującą rolę metod diagnostyki technicznej w ocenie zagrożeń, a główny nacisk położono na statystyczne narzędzia opracowywania da-

nych z badania degradacji stanu. W opracowaniu mowa jest o zasadach, metodach, narzędziach – sposobach i technikach, a także innych instrumentach oddziaływania na jakość. Zarządzanie jakością w przedsiębiorstwie ma gwarantować ciągłe doskonalenie wyrobów i usług (oczekiwania klientów) oraz tworzyć warunki do ciągłego i dynamicznego doskonalenia systemu zarządzania [14].

Norma systemowa ISO 9001 wraz z uzupełniającymi ją normami ISO 9000 oraz ISO 9004 tworzą zestaw norm dotyczących systemu zarządzania jakością, zalecając ogólną zasadę kształtowania bezpiecznego i zdrowego środowiska pracy polegającą na tym, że projektanci, producenci i dostawcy maszyn oraz ich użytkownicy: pracodawcy, nadzór i operatorzy przyczyniający się do realizacji procesów pracy tworzą i odpowiadają za bezpieczeństwo [14].

## 1. Projektowanie eksploatacji maszyn

Wytyczne do projektowania, konstrukcji i wytwarzania maszyn płyną głównie z planowanego sposobu realizacji zadania, które w głównej mierze wynikają z zaprojektowanego cyklu życia (w systemie produkcyjnym). Z jednej strony projekt maszyny winien być dostosowany do możliwości inżynierii materiałowej (dostępność odpowiednich tworzyw) oraz powinien uwzględniać poziom technologiczności wytwarzania zakładu produkcyjnego. Z drugiej strony należy dostosować konstrukcję i sposób wykonania maszyny do struktury systemu produkcyjnego i sposobu eksploatacji, który wynika z wybranego sposobu realizacji zadania [13].

Unia Europejska wprowadziła koncepcję zapewnienia bezpieczeństwa i ochrony zdrowia związanego z maszynami i innymi wyrobami opartą na wzajemnym współdziałaniu projektantów i producentów z eksploatatorami. Uszczegółowione zostały one w normach zharmonizowanych z tymi dyrektywami, co daje możliwość przeprowadzania oceny ryzyka jako podstawy do projektowania i wytwarzania maszyn zapewniających możliwie najwyższy poziom bezpieczeństwa.

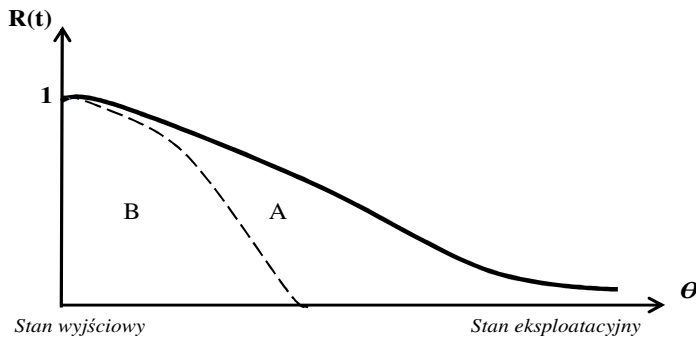
Przedstawione treści są próbą zgromadzenia i wyjaśnienia w możliwie prosty sposób pewnej liczby zasad, metod i wytycznych postępowania – w obszarze projektowania racjonalnej i bezpiecznej eksploatacji maszyn – o wartości uznanej przez wielu badaczy [11, 12, 14].

W fazie eksploatacji obiektów zachodzą różne procesy, a w szczególności: użytkowania obiektów; zużycia obiektów; diagnozowania, genewizowania i prognozowania stanów obiektów; obsługiwanie obiektów; przetwarzania, przechowywania i obrazowania informacji; zarządzania eksploatacją i inne.

Dobry projekt eksploatacji maszyny daje w praktyce przedsiębiorstw możliwość nadzorowania zmian stanu, lokalizacji uszkodzeń i minimalizacji skutków uszkodzeń i zagrożeń bezpieczeństwa ze strony eksploatowanych maszyn [11].

## 2. Degradacja stanu maszyn

Stan początkowy maszyn jako podstawowych środków produkcji i usług ulega procesowi ewolucyjnej destrukcji (rys. 1) wskutek zmęczenia materiałów, nadmiernych obciążeń, zużycia wskutek tarcia (luzy) itp. **Potencjał użytkowy** maszyny może być definiowany jako zasób materiałowo-energetyczny maszyny zapewniający jej zdolność do użytkowania. Ten potencjał maleje w czasie działania maszyny, a jednocześnie rośnie jej potencjał obsługowy. Potencjał obsługowy jest interpretowany jako zasób materiałowo-energetyczny niezbędny do odnowienia potencjału użytkowego maszyny. Oba te rodzaje potencjału tworzą **potencjał eksploatacyjny**, który charakteryzuje właściwości maszyny do zastosowania (wykorzystania) zgodnie z potrzebami, do których została ona przysposobiona w fazach projektowania, konstruowania i wytwarzania [11, 13, 14].



Rys. 1. Krzywe degradacji stanu maszyny (A – poprawna eksploatacja, B – wadliwa eksploatacja)

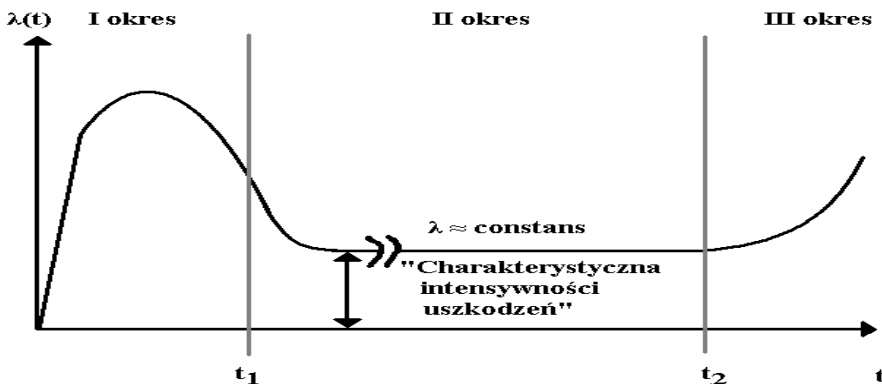
Podczas działania maszyny następuje **zmniejszanie potencjału użytkowego**, a jednocześnie narasta jej potencjał obsługowy. Odnowa potencjału użytkowego maszyny jest celem działania jej użytkownika, natomiast obsługiwane – sposobem odtworzenia potencjału użytkowego. Działanie dowolnej maszyny może być rozumiane dwojako: jako wymagane ( $D_w$ ), które jest niezbędne do wykonania zadania, do którego realizacji została dana maszyna przysposobiona w fazie projektowania i wytwarzania. Także jako możliwe ( $D_M$ ), które może dana maszyna zrealizować, będąc w określonym stanie technicznym i funkcjonując w ustalonych warunkach eksploatacyjnych. Potencjał eksploatacyjny można określić bardziej szczegółowo jako:

- **potencjał użytkowy**: zasób godzin poprawnej pracy maszyny, moc największa możliwa do uzyskania, jego maksymalna prędkość obrotowa, zapas części (elementów podzespołów) wymiennych, maksymalny zasób zakumulowanej energii, maksymalny zasób czynników energetycznych, jakimi trzeba zasilać maszynę itp.;

- **potencjał obsługowy:** zasób pracy niezbędny do odnowienia stanu maszyny, poziom uzupełnienia zapasu części wymiennych, poziom uzupełnienia zasobu energii, poziomy uzupełnień zapasów czynników energetycznych itp.

Do najbardziej obciążonych należą węzłowe elementy maszyny (np. łożyska), zespoły robocze (np. uderowe elementy wykonawcze), elementy układu napędowego (np. przekładnie zębate). Obniżenie ich trwałości może wystąpić w wyniku ewolucyjnego procesu destrukcji lub w wyniku chwilowych przeciążeń. Może to prowadzić do przedwczesnych zużyć, uszkodzeń, a nawet katastrofy.

Właściwości początkowe maszyn i eksploatacyjne czynniki wymuszające mają charakter losowy, więc i intensywność uszkodzeń maszyn ( $\lambda(t)$ ) jako miara degradacji stanu jest losowa. Obserwując większą zbiorowość maszyn, zauważyć można pewne prawidłowości w przebiegu funkcji intensywności uszkodzeń  $\lambda(t)$  – rys. 2.



Rys. 2. Typowy przebieg intensywności uszkodzeń maszyn

Przebieg zmian intensywności uszkodzeń zależy w dużym stopniu od rodzaju i intensywności oddziaływania eksploatacyjnych czynników wymuszających, a ta zależy od sposobu wykorzystania tych obiektów oraz od tego, jak są realizowane procesy eksploatacji. Najsilniej na  $\lambda(t)$  oddziałują procesy użytkowania, a także jakość obsługi maszyn [11, 12].

Zadaniem zaplecza obsługowego jest utrzymywanie zdatności pojazdów poprzez zapobieganie uszkodzeniom, ich usuwanie – czyli przywracanie stanu zdatności. Struktura systemu obsługowo-naprawczego winna obejmować dla poszczególnych rodzajów obiektów następujące informacje: rodzaje realizowanych obsług i napraw, okresy międzyobsługowe i międzynaprawcze, zakres czynności objętych daną obsługą oraz naprawą profilaktyczną, pracochłonność poszczególnych obsługiwania, wymagane środki techniczne potrzebne przy realizacji danej obsługi [11].

### 3. Badania degradacji stanu metodami DT

Rozwijająca się w inżynierii mechanicznej *diagnostyka techniczna* opierająca się głównie na wykorzystaniu informacji o zmieniającym się stanie maszyn potrafi nadzorować postępującą *destrukcję maszyny w całym cyklu* jej życia. Zmiany stanu – nadzorowane miarami diagnozowania – zapobiegają przyczynom i skutkom uszkodzeń. Uszkodzenie jest jednym z istotnych zdarzeń w procesie użytkowania maszyn, determinującym ich niezawodność, efektywność wykorzystania, proces obsługi, a także zakres potrzeb diagnostyki technicznej [10, 11].

Konieczność oceny stanu jest uwarunkowana potrzebą podejmowania decyzji związanych z eksploatacją danego obiektu oraz sposobem dalszego postępowania z obiektem. Ocena stanu realizowana jest na podstawie przeprowadzonych badań diagnostycznych, polegających na dokonaniu pomiarów i przeprowadzeniu analizy statystycznej otrzymanych wyników [8, 9].

Każdy stan maszyny może być wyrażony przez zbiór wartości liczbowych zmiennych fizycznych charakteryzujących jego strukturę oraz intensywność procesów zachodzących podczas funkcjonowania maszyny. Te liczne zbiory pozyskiwane w badaniach degradacji stanu są pozyskiwane i opracowywane zgodnie ze statystyką [10].

### 4. Statystyczne narzędzia oceny zagrożeń

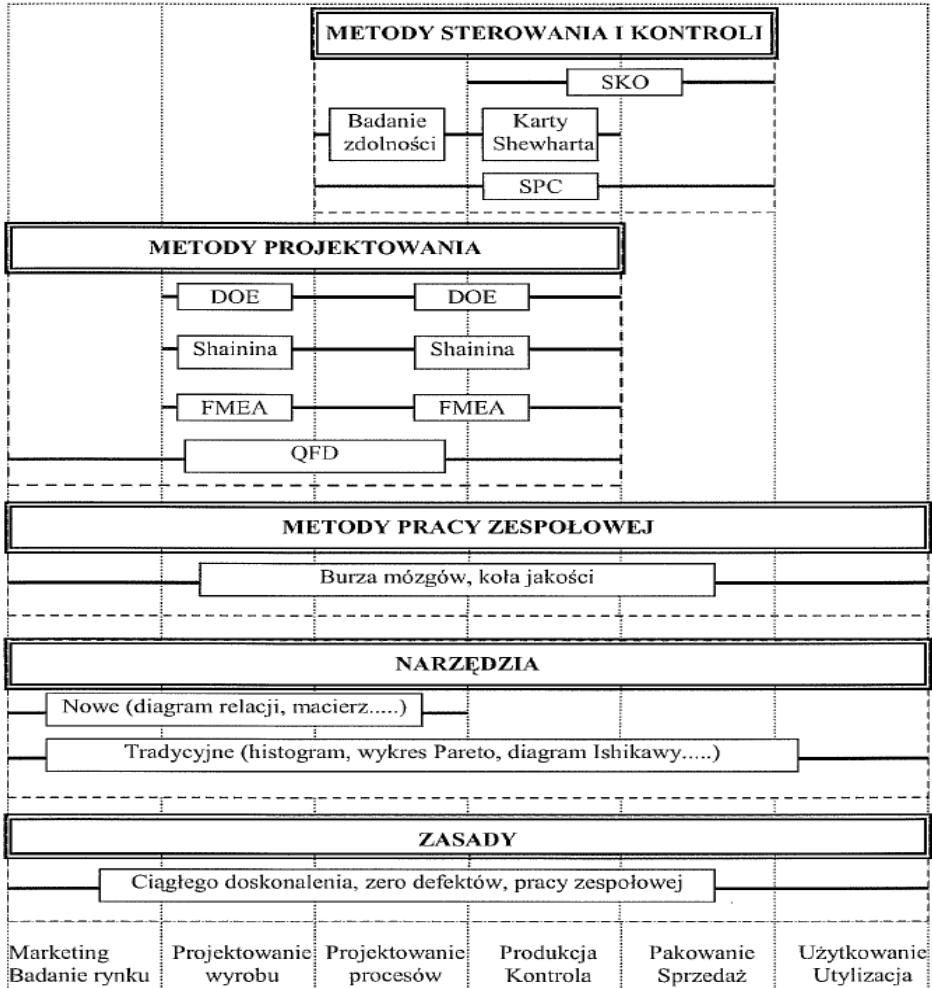
*Zasady, metody i narzędzia* zarządzania jakością są wykorzystywane w statystycznym opracowywaniu danych oceniających stan degradacji maszyn (zagrożeń zdatowności, bezpieczeństwa, środowiska), a można zdefiniować je następująco [3, 15]:

- *zasady* zarządzania jakością – ogólne normy postępowania w oddziaływaniu na jakość,
- *metody* zarządzania jakością – planowe i powtarzalne sposoby postępowania dla osiągnięcia celu realizacji zadań związanych z zapewnieniem jakości,
- *narzędzia* zarządzania jakością – służą do bezpośredniego oddziaływania w różnych procesach zapewnienia jakości.

*Zasady oraz narzędzia* są stosowane w działaniach jakościowych w całym cyklu istnienia wyrobu/usługi, natomiast zastosowanie *metod* jest ograniczone do konkretnych etapów cyklu. Najczęstszym kryterium klasyfikującym instrumenty jakości jest ich przeznaczenie (cel), dla którego są stosowane [5, 6, 15]:

- *zasady* (ZJ) – określają stosunek przedsiębiorstwa i jego pracowników do ogólnie rozumianych problemów jakości,
- *metody* (MJ) – to połączenie koncepcji, modeli i procedur postępowania podczas realizacji zadań związanych z zarządzaniem jakością,
- *narzędzia* (NJ) – służą do zbierania i przetwarzania danych związanych z różnymi aspektami działań projakościowych.

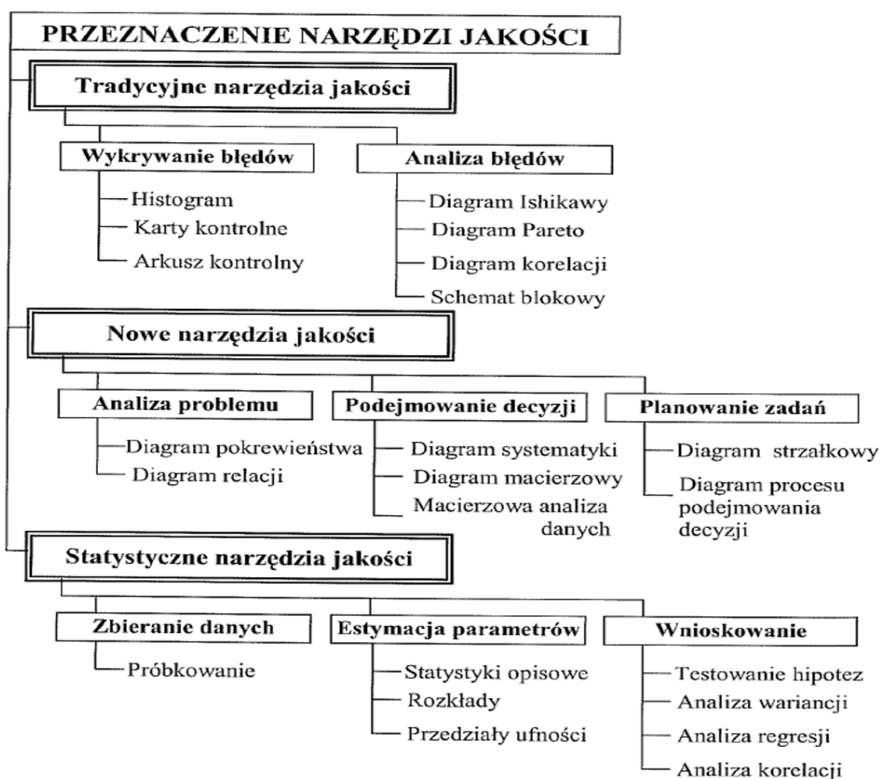
Zasady i narzędzia są wykorzystywane na wszystkich etapach życia wyrobu, a metody w określonych fazach w życiu wyrobu, co przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Instrumentarium jakości w cyklu życia wyrobu [5, 6]

Metody zarządzania jakością, bazując na konkretnych algorytmach postępowania, stanowią szczegółową pomoc w realizacji zadań związanych z zarządzaniem jakością [3]. Poniżej wymieniono przedstawione szczegółowo w pracy [15] popularne i efektywne metody utożsamiane z zarządzaniem jakością, takie jak: metody projektowania jakości QFD, FMEA, Taguchi, metody doskonalenia jakości 5S, JIT, Six Sigma, Servqual, metody kontroli jakości SKO, SPC.

Narzędzia zarządzania jakością służą do zbierania i przetwarzania danych związanych z różnymi aspektami jakości. Są instrumentami nadzorowania (monitorowania) i diagnozowania procesów projektowania, wytwarzania, kontroli, montażu oraz wszelkich innych działań występujących w cyklu istnienia wyrobu. Schemat podziału narzędzi jakości przedstawiono na rys. 4 [6, 15].

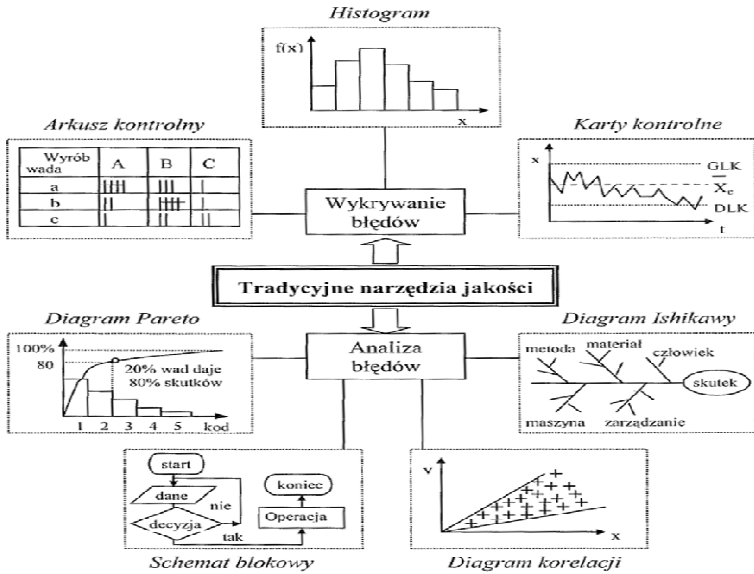


Rys. 4. Trójelementowa klasyfikacja narzędzi jakości [5, 15]

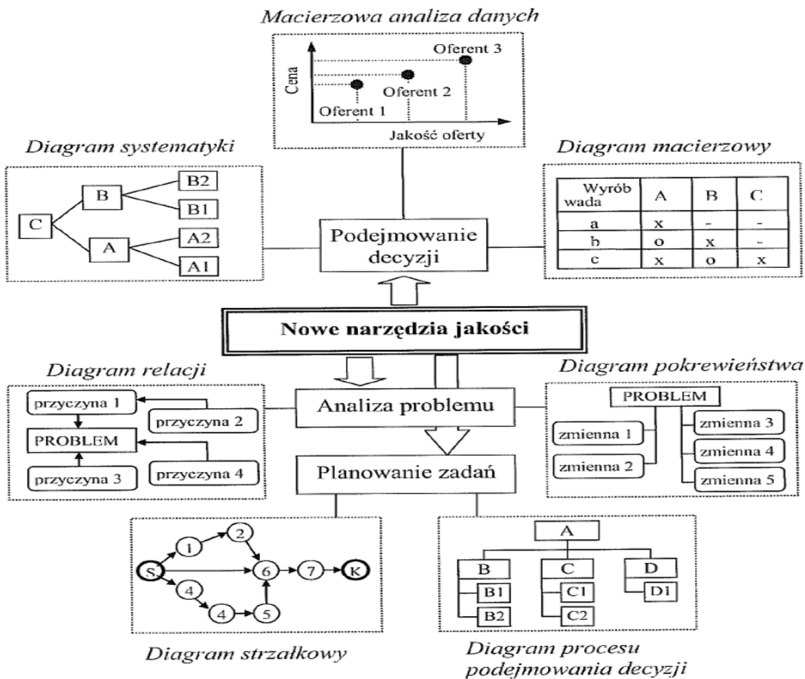
**Tradycyjne narzędzia** jakości tworzą grupę analityczno-graficznego opisu procesu w zakresie wykrywania błędów i ich analizy. Narzędzia te dają elementarną wiedzę o przebiegu procesu i są podstawą do jego usprawnień (rys. 5).

Wraz z rozwojem zarządzania jakością powstało **siedem nowych narzędzi**, które usprawniają oraz porządkują przebieg informacji w przedsiębiorstwie (rys. 6).

Wiele procesów zachodzących w obszarze zagrożeń bezpieczeństwa maszyn i w ich otoczeniu ma charakter stochastyczny, a powstające w nich dane powinny być przetwarzane z użyciem narzędzi statystycznych (rys. 7).

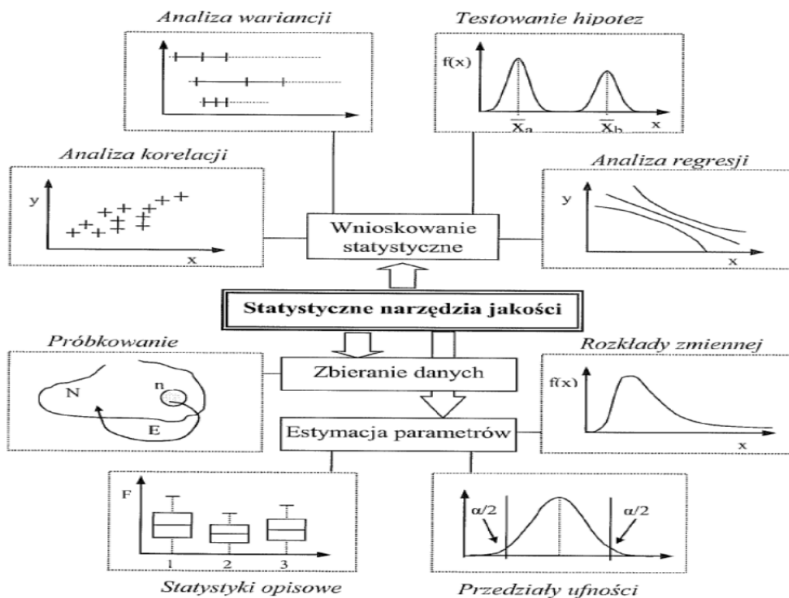


Rys. 5. Schematy tradycyjnych narzędzi jakości [5, 15]

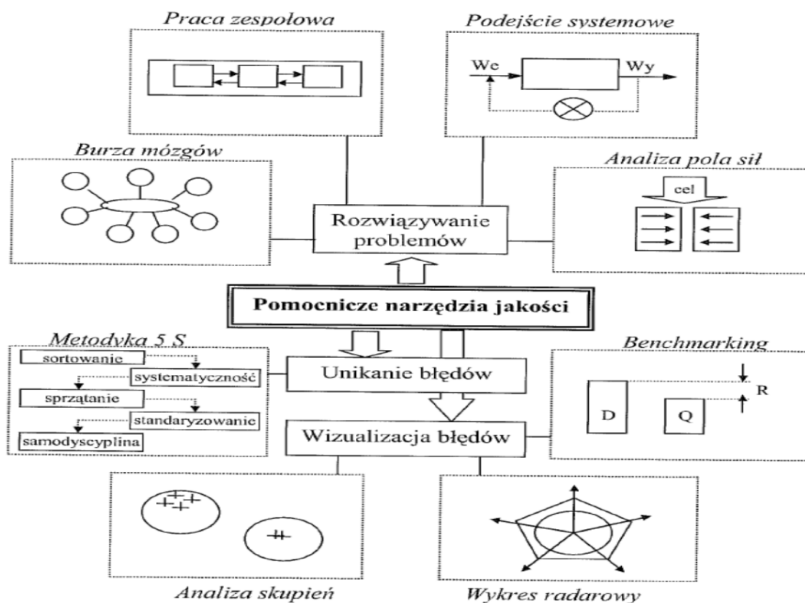


Rys. 6. Schematy nowych narzędzi jakości [3, 6]





Rys. 7. Schematy statystycznych narzędzi jakości [3, 5, 6, 15]



Rys. 8. Schematy pomocniczych narzędzi jakości [6, 15]

Skuteczność przedstawionych narzędzi jakości, zarówno starych, jak i nowych, będzie dopiero właściwa, gdy informacje użyte w analizach staną się pełne i maksymalnie zidentyfikowane. Pomocnymi w realizacji tego celu są narzędzia (metody) pomocnicze, których klasyfikację [7, 11, 12, 15] pokazano na rys. 8.

## Podsumowanie

System eksploatacji obiektów technicznych jest jednym z ważnych obszarów funkcjonowania przedsiębiorstw, często decydującym o uzyskaniu niezbędnego poziomu jakości wyrobów, niskich kosztów, a w rezultacie uzyskanie przewagi konkurencyjnej.

Różnorodność właściwości systemu eksploatacji maszyn i realizowanych zadań implikuje różnorodność metod i środków badawczych, w tym także narzędzi i metod rozwiązań informatycznych systemów obsługi i wspomagania zarządzania. Potrzeba efektywnego gospodarowania w przedsiębiorstwach, szczególnie wymuszona przez reguły reformy gospodarczej, wyznacza konieczność racjonalnego i bezpiecznego wykorzystania środków produkcji.

W tym opracowaniu zwrócono uwagę na problemy oceny zagrożenia bezpieczeństwa maszyn z wykorzystaniem do tego narzędzi statystycznych, ułatwiających opis badań i klasyfikację degradacji stanu – nadzorowanego metodami diagnostyki technicznej.

## Bibliografia

1. Gościński J.: Cykl życia organizacji. PWE, Warszawa, 1998.
2. Griffin R. W.: Podstawy organizacji, PWN, Warszawa 1996.
3. Hamrol A., Mantura W.: Zarządzanie jakością. PWN, Warszawa 1998.
4. Jazdon A.: Doskonalenie zarządzania jakością. Ofic. Wydaw., Bydgoszcz 2002.
5. Słowiński B.: Inżynieria eksploatacji maszyn. Wyd. PK, Koszalin 2011.
6. Słowiński B.: Inżynieria zarządzania procesami logistycznymi. PK, Koszalin 2010.
7. Stefanowicz B.: Informacyjne systemy zarządzania. SGH, Warszawa 1997.
8. Tylicki H., Żółtowski B.: Rozpoznawanie stanu maszyn. ITeE – PIB, Radom 2010.
9. Tylicki H., Żółtowski B.: Genezowanie stanu maszyn. ITeE – PIB, Radom 2012.
10. Żółtowski B., Cempel C.: Inżynieria diagnostyki maszyn. ITeE – PIB, Radom 2004.

11. Żółtowski B., Niziński S.: Modelowanie procesów eksploatacji. ITeE, Radom 2010.
12. Żółtowski B., Wilczarska J.: Mikroekonomia eksploatacji i diagnostyki maszyn. ITeE – PIB, Radom 2010.
13. Żółtowski B., Landowski B., Przybyliński B.: Projektowanie eksploatacji maszyn. ITeE – PIB, Radom – Bydgoszcz 2012.
14. Żółtowski B.: Metody inżynierii wirtualnej w badaniach stanu, zagrożeń bezpieczeństwa i środowiska eksploatowanych maszyn. UTP, Bydgoszcz 2012.
15. Żółtowski M.: Informatyczne systemy zarządzania w inżynierii produkcji. ITeE – PIB, Radom 2011.
16. Żółtowski M.: Komputerowe wspomaganie zarządzania systemem eksploatacji w przedsiębiorstwie produkcyjnym. Zintegrowane Zarządzanie. Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole 2011.
17. Żółtowski M.: Komputerowy system wspomagania zarządzania systemem eksploatacji w przedsiębiorstwie produkcyjnym. UTP, Bydgoszcz 2010.
18. Żółtowski M.: Narzędzia zarządzania jakością wytworów w zakładzie, UTP, Bydgoszcz 2010.

### **The chosen tools the danger assessment of critical machine**

#### **Key words**

Rational exploitation, degradation of the state, tools of quality.

#### **Summary**

The article pointed out the possibility of making the correct operation of critical machines, especially with the use of diagnostic information. The information generated by the evolution of the degradation of equipment shall be subjected to statistical analysis and user-friendly means available for use in the process. Look for the publication of the material collected in the methods and tools of quality management, increasingly used in practice, the operation of machinery.