

Mgr inż. Kazimierz Majdan  
Przemysłowy Instytut Automatyki Pomiarów

## NADZOROWANIE STACJONARNOŚCI MODERNIZOWANYCH PROCESÓW TECHNOLOGICZNYCH

*Inwestycje rozwojowe i modernizacyjne w przemyśle często są podejmowane w celu usprawnienia właściwości użytkowych procesu technologicznego, jednak z warunkiem utrzymania podstaw jego funkcjonalności. Systematyczną ewaluację procesu wspomagają badania poznawcze i testy powiązane z oceną skuteczności rozwiązań cząstkowych. Są to utylitarne badania odporności urządzeń na oddziaływanie różnych czynników wpływających. Próby odpowiednie do oczekiwanej funkcjonalności procesu są zwykle wykonywane podczas projektowania i kompletacji komponentów systemu. Rezultaty tych prób oraz ciągle monitorowanie zdarzeń krytycznych podczas eksploatacji są pomocne przy walidacji wprowadzanych zmian procesu. Do tego prowadzą również badania zagrożeń, pomiary właściwości użytkowych i systematyczna ocena skuteczności wprowadzanych modyfikacji. Pokazano tu pozytywne efekty i implikacje powiązań metod analitycznych z eksperymentalnymi. Takie synergiczne działania przyczyniają się do utrzymania stacjonarności modernizowanego procesu technologicznego, z zapewnieniem trwałości jego kluczowych parametrów.*

## SUPERVISING THE STATIONARY STATE OF MODERNIZED TECHNOLOGICAL PROCESSES

*The development and modernization investments in industry are often undertaken to improve the usable proprieties of technological process, however with the condition of maintenance of bases of its functionality. The cognitive researches and specific tests joined with the assessment of partial solutions effectiveness serve the systematic development of process. These are some utilitarian investigations of resistance of devices on stresses from different influencing factors. The tests, proper for expected functionality of process, usually are executed during projecting and assembling the system components. The results of these tests as well as the continuous monitoring of the critical events during exploitation are helpful in validation of introduced changes of process. To this are leading also: the investigation of threats, the measurements of usable proprieties and the systematic assessment of effectiveness of introduced modifications. The implications and positive effects from the connection of analytic and experimental methods are showed here. Such synergic activities contribute to the maintenance of stationary state of technological process, with assurance of durability its key parameters.*

### 1. WSTĘP

Modernizacja przedsiębiorstw przemysłowych polega głównie na wprowadzaniu tam innowacyjnych rozwiązań technologicznych, w tym zintegrowanych systemów wytwarzania, interaktywnych stanowisk kontroli jakości, systemów nadzorowania: ruchu, transportu, przepływu mediów itp. Problemy wynikające z modernizacji występują na wielu poziomach zarządzania przedsiębiorstwem; dotyczą technologii, procedur pracy, logistyki, konserwacji itd.

Automatyzacja w przemyśle przynosi bezpośredni efekt w postaci zwiększonej wydajności procesu produkcyjnego, ale z warunkiem zachowania wymaganej (a często także poprawy) jakości produktu wyjściowego. Motywacje do decyzji o wdrożeniu nowych technologii lub tylko

usprawnień procesowych wynikają z dążenia do uzyskania korzystnych relacji techniczno-ekonomicznych w odniesieniu do produktu wyjściowego. Jednak równie ważne jest obligatoryjne (Dyrektywy EEC i UE) zapewnienie bezpieczeństwa użytkownika aplikowanego procesu w relacji: *człowiek ↔ maszyna*. W dużym stopniu zależy to od zbioru cech funkcjonalnych i ergonomicznych systemu, charakteryzujących użyte tam komponenty sprzętu i oprogramowania. Właściwości sprzętu powinny być rozpatrywane w aspektach technicznych, ale również prawnych, medycznych, psychologicznych oraz w powiązaniu z wymaganiami i pragmatyką zarządzania, inżynierii środowiskowej i normalizacji.

Poprawne rozwiązania techniczne urządzeń i systemów wynikają z dobrego przygotowania i doświadczenia projektantów, pracowników badawczych oraz weryfikatorów (audytorów) zgodności normatywnej. Występujące przy tym problemy dotyczą: standaryzacji, kompatybilności funkcjonalnej i środowiskowej urządzeń, metod analizy ryzyka, działań prewencyjnych, stosowania środków ochrony itp. Na uwagę zasługują też pozytywne przykłady doskonalenia procesów przemysłowych, z inspiracji lub w wyniku realizacji postulatów pochodzących od bezpośrednich użytkowników (pracowników obsługi). Przesłanki psychospołeczne, a także motywacje natury deontologicznej przynoszą efekty co najmniej równorzędne do tych, jakie dają klasyczne metody „odgórnego” (nagrody i kary) oddziaływania zarządu oraz kadry przedsiębiorstwa.

Obecnie powszechną staje się praktyka stosowania *benchmarking-u* w różnych dziedzinach gospodarki, a dotyczy to także wartościowania uzyskiwanych właściwości procesów technologicznych. Bez względu jednak na ranking ważności poszczególnych cech charakterystycznych procesu, żaden z nimi skorelowany parametr fizyczny nie może być traktowany jako niezmienny w czasie eksploatacji i niezależny od występujących tam różnych oddziaływań, zarówno wewnętrznych jak i zewnętrznych. Wśród tych ostatnich duże znaczenie mają czynniki atmosferyczne otoczenia, parametry mediów zasilających, jakość dostarczanych materiałów, zmienność personelu itp. Tego typu problemy występowały i zostały skutecznie rozwiązane w jednym z projektów aplikacyjnych [1]. Uzyskane tam pozytywne rezultaty oraz inne doświadczenia w tym zakresie uzasadniają celowość upowszechnienia metod działań intencjonalnie ukierunkowanych na:

- kształtowanie pro jakościowej aktywności pracowników takiego przedsiębiorstwa, w którym postępuje modernizacja procesów technologicznych,
- stosowanie znormalizowanych metod badania odporności urządzeń na przewidywane warunki ich użytkowania, w celu zapobiegania zdarzeniom krytycznym,
- analityczne wymiarowanie postępów w rozwoju, z oceną skuteczności podejmowanych przedsięwzięć organizacyjno – technicznych i osiągniętych efektów,
- uzyskanie i utrzymywanie stacjonarności procesu technologicznego, z zapewnieniem wymaganej trwałości kluczowych jego parametrów.

## 2. WPLYW ŚRODOWISKA PRZEMYSŁOWEGO NA EKSPLOATACJĘ URZĄDZEŃ

W przemyśle występują liczne okoliczności, zarówno sprzyjające jak i zagrażające jakości wytwarzanych wyrobów, a także oddziałujące na funkcjonalność i bezpieczeństwo użytkowania (obsługi) urządzeń [2]. Występują też zróżnicowane branżowo implikacje, zależne od poziomu zaawansowania technologicznego i stopnia automatyzacji, a także istotnie zdeterminowane organizacją pracy w danym przedsiębiorstwie. Czynnikiem wpływającymi na stabilność procesu są też różne zdarzenia losowe oraz anomalie wywołujące negatywne skutki, w tym wszelkie naru-

szenia ergonomiczne. Sposób diagnostyki cech ergonomicznych dużego systemu zaprojektowanego dla przemysłu lotniczego i metodę poprawy poziomu bezpieczeństwa jego użytkowania w strefie zagrożenia zaprezentowano w [3]. Iteracyjne podwyższanie kategorii bezpieczeństwa jest możliwe m. in. poprzez odpowiednie ustalenie wskaźników jakości, opracowanie algorytmów ich wyznaczania oraz przez wykonanie reprezentatywnych prób odporności poszczególnych urządzeń i całej linii technologicznej na zmienne warunki otoczenia. Działania badawcze pozwalają na identyfikację różnych cech lub specyficznych atrybutów procesu, zarówno korzystnych jak i szkodliwych. W konsekwencji prowadzi to do eliminacji prawdopodobnych zakłóceń procesu, a tym samym zmniejsza ryzyko zagrożeń eksploatacyjnych, powodowanych m.in. przez:

- usterki i awarie (zawodność) komponentów systemu,
- oddziaływania zewnętrzne, np. zaburzenia mediów zasilania i środowiskowe,
- nieoczekiwane sytuacje losowe, spowodowane wadliwą organizacją pracy lub tzw. „czynnikiem ludzkim”.

Oddziaływania potencjalnie znaczące mogą mieć charakter addytywny (liniowej superpozycji) lub multiplikatywny „wspólnej przyczyny”, o istotnym wpływie na kluczowe właściwości samego procesu, bądź tylko na jakość produktów wyjściowych. Wśród nich są też takie, które oddziałują koniunkcyjnie, zaś automatyzacja sprawia, że te zależności stają się coraz bardziej złożone, a często dopiero nieznaną koincydencją kilku czynników powoduje zagrożenie krytyczne dla funkcjonalności lub bezpieczeństwa użytkowania procesu.

### 3. PRÓBY ŚRODOWISKOWE ODPORNOŚCI I TRWAŁOŚCI URZĄDZEŃ SYSTEMU

W przebiegu procesu technologicznego występują zjawiska fizycznego zużycia części i materiałów, zaliczane do przyczyn wewnętrznych, jak również oddziaływania czynników zewnętrznych, różnej natury. Mogą one powodować obniżenie parametrów jakości produktów, a także tworzyć zagrożenia dot. bezpieczeństwa: funkcjonalnego (zaburzenia i awarie) lub użytkowego (dla obsługi) procesu technologicznego. Działania zapobiegające takim negatywnym efektom polegają na poddaniu poszczególnych urządzeń odpowiednim próbom środowiskowym odporności na narażenia, przewidywane w warunkach ich użytkowania, a to pozwala na doskonalenie rozwiązań konstrukcyjnych i organizacyjnych.

Celem wykonywanych prób i badań środowiskowych jest wykazanie, z dużym poziomem wiarygodności, że wyrób jest zdolny do przetrwania i wypełniania swych funkcji w określonych warunkach środowiskowych. W tych próbach badane są parametry wyrobu w warunkach naśladujących rzeczywiste otoczenie pracy urządzeń, albo przez odtworzenie skutków ich działania. Wykonanie prób środowiskowych w szczególności prowadzi do:

- określenia przydatności wyrobu do składowania, transportu i pracy w określonych warunkach środowiskowych, z uwzględnieniem oczekiwanego czasu użyteczności;
- dostarczenia informacji o jakości konstrukcji lub jakości wykonania wyrobu.

Norma ogólna PN-EN 68000-1 [4] zawiera definicje i określenia podstawowe oraz ogólne wskazówki do wyboru prób i ich ostrości oraz kolejności wykonywania. Norma arkuszowa PN-EN 60068-2 [5] składa się z obszernego zbioru dokumentów opisujących wymagania, rodzaje i gradacje narażeń oraz sposoby przeprowadzania odpowiednich prób środowiskowych. Tam gdzie jest to tylko możliwe, próby są określane przez parametry, a nie przez opis urządzenia probierczego. Pewne trudności może nastęrczać wybór rodzaju i poziomu ostrości w próbie, która odpowiadałaby narażeniom występującym w danym środowisku; nie jest bowiem możliwe poda-

nie ogólnej i ścisłej reguły zależności między warunkami próby, a rzeczywistymi warunkami środowiskowymi. Wskazówki do takiego wyboru można znaleźć w poszczególnych arkuszach normy PN-EN 60068-2-xx. Z punktu widzenia powtarzalności i odtwarzalności prób ważna jest również zgodność normalizacyjna stosowanych metod i parametrów. Znormalizowane próby mogą być stosowane do bardzo zróżnicowanych wyrobów, bowiem zostały one opracowane w sposób maksymalnie uniwersalny po to, aby ich wyniki mogły być ze sobą porównywane. W przyspieszonych badaniach niezawodnościowych wykonuje się również próby z równoczesnym oddziaływaniem dwóch lub kilku czynników narażeniowych. Skutki działania pojedynczych (*wybranych z licznego zbioru możliwych*) czynników środowiskowych przedstawiono w tabelicy.

<b>Czynnik środowiskowy</b>	<b>Podstawowe skutki działania</b>	<b>Typowe uszkodzenia wyrobu</b>
Wysoka temperatura	Starzenie termiczne: utlenianie, pękanie, reakcje chemiczne, mięknienie, topnienie, sublimacja, zmniejszenie lepkości, odparowanie, zwiększenie wymiarów	Uszkodzenie izolacji, uszkodzenie mechaniczne, zwiększone naprężenia mechaniczne i zużycie części ruchomych na skutek rozszerzalności lub utraty właściwości smarnych
Niska temperatura	Kruchość, tworzenie się lodu, wzrost lepkości, krzepnięcie, zmniejszenie wytrzymałości mechanicznej, kurczenie fizyczne	Uszkodzenie izolacji, pękanie, uszkodzenie mechaniczne, zwiększone zużycie części ruchomych na skutek skurczu lub zmniejszenia wytrzymałości mechanicznej i utraty własności smarnych, uszkodzenie uszczelnień i uszczelek
Duża wilgotność względna	Absorpcja lub adsorpcja wilgoci, pęcznienie, zmniejszenie wytrzymałości mechanicznej. Reakcje chemiczne: korozja, elektroliza. Zwiększenie przewodności materiałów izolacyjnych	Uszkodzenie fizyczne, uszkodzenie izolacji, uszkodzenie mechaniczne
Atmosfery korozyjne	Reakcje chemiczne: korozja, elektroliza. Uszkodzenia powierzchni, zwiększona konduktywność i rezystancja stykowa	Zwiększone zużycie, uszkodzenie mechaniczne, uszkodzenie elektryczne
Szybkie zmiany temperatury	Udar termiczny i zróżnicowane nagrzewanie	Uszkodzenie mechaniczne, pękanie, uszkodzenie uszczelnień, powstanie nieszczelności
Przyspieszenie stałe. Wibracje. Urazy pojedyncze lub wielokrotne	Naprężenie mechaniczne, zmęczenie materiału i rezonans mechaniczny	Uszkodzenie mechaniczne, zwiększone zużycie części ruchomych, załamanie się konstrukcji

#### 4. DIAGNOSTYKA I MONITOROWANIE ZDARZEŃ KRYTYCZNYCH

Proces technologiczny ma swoje cykle robocze, a pomiędzy nimi okresy przeglądów technicznych i prac konserwacyjnych. Do zwymiarowania i oceny poziomu jakości procesu celowe jest umowne określenie reprezentatywnych parametrów czasowych cyklu, którymi są:

- efektywny czas realizacji –  $t$ , w którym wszystkie typowe operacje procesowe oraz wszelkie oddziaływania miały szansę zaistnieć, bez zmian strukturalnych procesu,
- przyrost czasu –  $\Delta t$ , w którym możliwe jest oszacowanie ryzyka spowodowanego ponadnormatywnym wydłużeniem  $(t+\Delta t)$  cyklu roboczego.

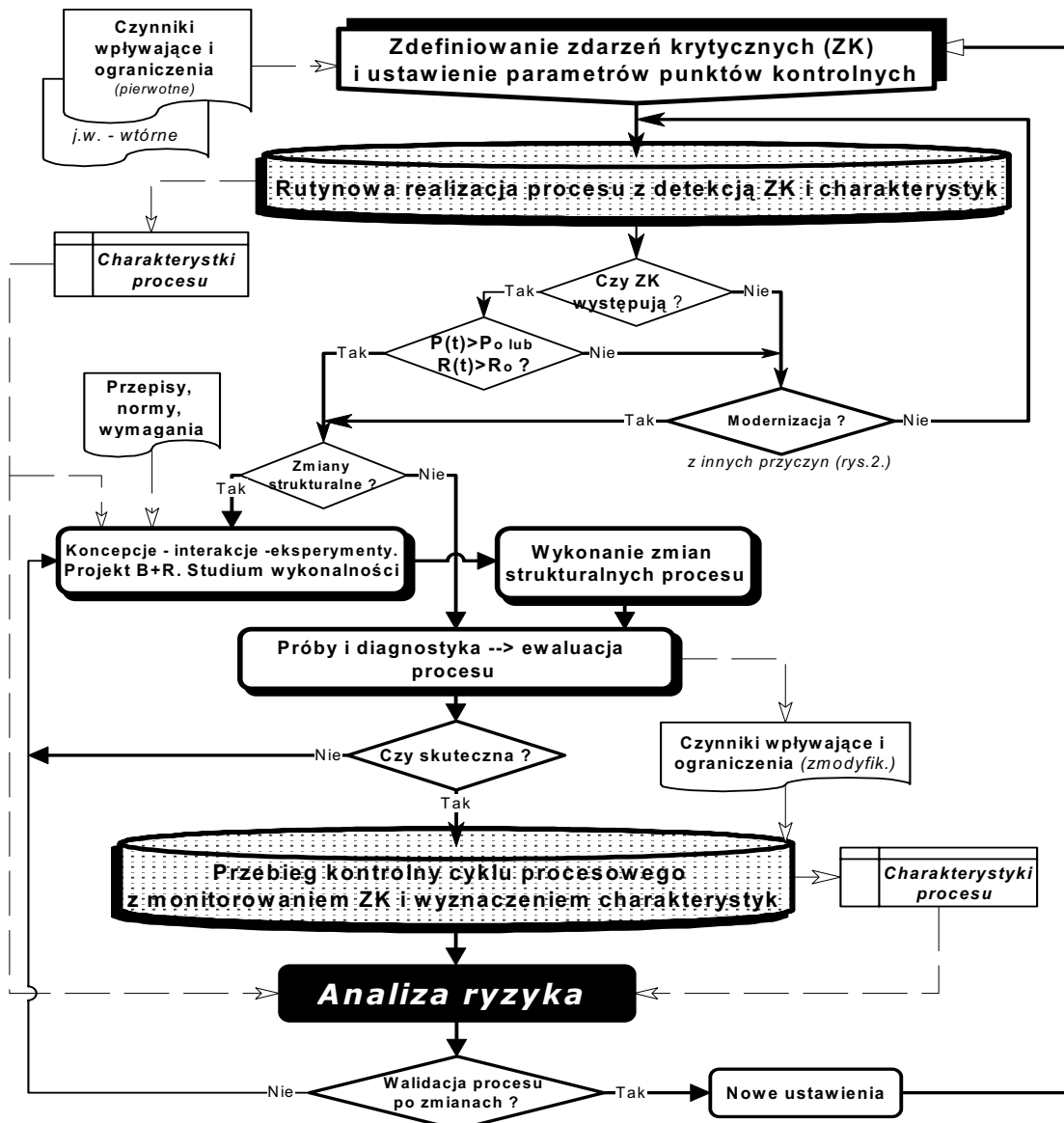
W przebiegu procesu pojawiają się różne sytuacje, dalej nazywane „*zdarzeniami krytycznymi*”, powodowane przez czynniki wpływające, zarówno zewnętrzne jak i wynikłe z konstrukcji wewnętrznej lub współdziałania urządzeń i ludzi. Zmiany strukturalne procesu obejmują usprawnienia zmniejszające ryzyko zagrożeń bezpieczeństwa eksploatacyjnego, z zachowaniem dotychczasowego poziomu jego funkcjonalności. Na rys. 1. pokazano sekwencję uporządkowanych proceduralnie działań, zawierających diagnostykę zdarzeń krytycznych w powiązaniu z ew. modernizacją (zmianą struktury) procesu, spowodowaną wystąpieniem nadmiernego ryzyka.

Każda zmiana organizacyjna lub techniczna procesu pociąga za sobą potrzebę ponownej inicjacji monitorowania, z aktualizacją danych dot. czynników wpływających i ograniczeń oraz z ponownym określeniem zdarzeń i parametrów do identyfikacji i diagnostyki przyczynowo-skutkowej. Dla tzw. *najgorszych warunków pracy* powinny być predykcjnie ustalone przedziały wartości czynników wpływających i parametrów procesu o charakterze ciągłym, których przekroczenie może spowodować (lub wskazuje na) dysfunkcje systemu. Są to np. temperatura, wilgotność, pobór mocy, napięcie/częstotliwość sieci elektrycznej, ciśnienie mediów zasilania itp. Mogą nimi być także właściwości formułowane heurystycznie, dotyczące np. zjawisk zmęczenia (ludzi, materiałów itp.). W tym ustaleniu należy jednakże dążyć do uzyskania zrównoważonej wrażliwości (wagi oddziaływania na proces) zdarzeń krytycznych. Zdefiniowanie znaczących i wzajemnie niezależnych zdarzeń krytycznych:  $x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n$ , a następnie ich detekcja w procesie prowadzą do wyznaczenia prawdopodobieństw  $P(x_i)$ , a odnosi się to również do sytuacji o charakterze nagłego, dyskretnego zdarzenia losowego, np. przerwy w zasilaniu linii montażowej. Wybór punktów kontrolnych i zdarzeń krytycznych stanowi dużą trudność, zwłaszcza w fazach tworzenia systemu i może się okazać w pewnych sytuacjach zbyt dalekim uproszczeniem. Do tego mogą być pomocne popularne techniki: burza mózgów, diagramy Pareto, ETA, FMEA [6] itp. Zrównoważenie zdarzeń krytycznych pod względem wrażliwości oraz ich wzajemną niezależność można uzyskać przez dekompozycję, zwielokrotnienie lub redukcję punktów kontrolnych, czujników i obserwowanych sytuacji znaczących. Jeżeli jest to osiągalne, to losowy charakter ich występowania i pojawiania się ryzyka zagrożeń, można opisać procesem stochastycznym Poissona, tj. wyrażeniem:

$$P_n(t) = [(\lambda t)^n / n!] e^{-\lambda t}, \quad (1)$$

w którym:

- $\lambda_i$  - średnia częstość zdarzenia  $x_i$  w odcinku czasu  $t$ ,
- $\lambda$  - intensywność (częstość) występowania dowolnego spośród ww. zdarzeń ( $\lambda = \sum \lambda_i$ ),
- $t$  – umowny czas cyklu wykonania ustalonej liczby wyrobów partii produkcyjnej,
- $n$  – łączna liczba ww. losowych zdarzeń krytycznych, które wystąpiły w czasie -  $t$ .



Rys. 1. Monitorowanie zdarzeń i charakterystyk przy ewaluacji procesu

Do identyfikacji zdarzeń krytycznych, w tym również źródeł ich pochodzenia i wrażliwości, według przyjętych kryteriów kwalifikacyjnych stosuje się urządzenia monitorujące sprzężone z automatyczną regulacją lub układy alarmowe, które umożliwiają odpowiednią reakcją personelu obsługi procesu. Wyznaczenie intensywności  $\lambda_i$  przy użyciu automatycznych urządzeń rejestrujących pozwala na ich uznanie za obiektywne i wiarygodne. W przybliżeniu (wynikłym z ww. uproszczeń) prawdopodobieństwo poprawnego przebiegu procesu w czasie o długości -  $t$ , w zadanych przedziałach zmienności wielkości wpływających środowiska przemysłowego:

$$Q(t) > e^{-\lambda t}, \quad (2)$$

zaś prawdopodobieństwo wystąpienia zagrożenia spowodowanego wyjściem poza te przedziały:

$$P(t) < (1 - e^{-\lambda t}) \quad (3)$$

Nierówności wynikają z faktu, że dopuszczalne wartości progowe są ustalone nadmiarowo, a zatem przypadki ich przekroczeń nie są wprost źródłem zdarzeń krytycznych. Istotną jest również ocena ryzyka spowodowanego wydłużeniem cyklu procesowego o czas  $\Delta t$ , w celu np. zwiększenia liczności partii wyrobów, którego miarą jest prawdopodobieństwo:

$$R(t) = Q(t) \cdot P(t + \Delta t) = e^{-\lambda t} \cdot (1 - e^{-\lambda(t + \Delta t)}) \quad (4)$$

Podatność procesu na przypadkowe, zdefiniowane jw. zakłócenia, zależy więc od średniej intensywności  $\lambda$  występowania zdarzeń krytycznych i czasu  $t$  wykonywania cyklu roboczego. Do oceny zgodności i porównań należy przyjąć ograniczenia:  $Q_0$ ,  $P_0$  i  $R_0$ . Względna stałość wielkości losowych:  $P(t)$ ,  $Q(t)$  i  $R(t)$ , wyznaczanych w jednakowych odcinkach czasu:  $t$  i  $(t + \Delta t)$  w kolejnych cyklach obserwowanego procesu, świadczy o stacjonarności procesu stochastycznego wyrażonego formułą (1).

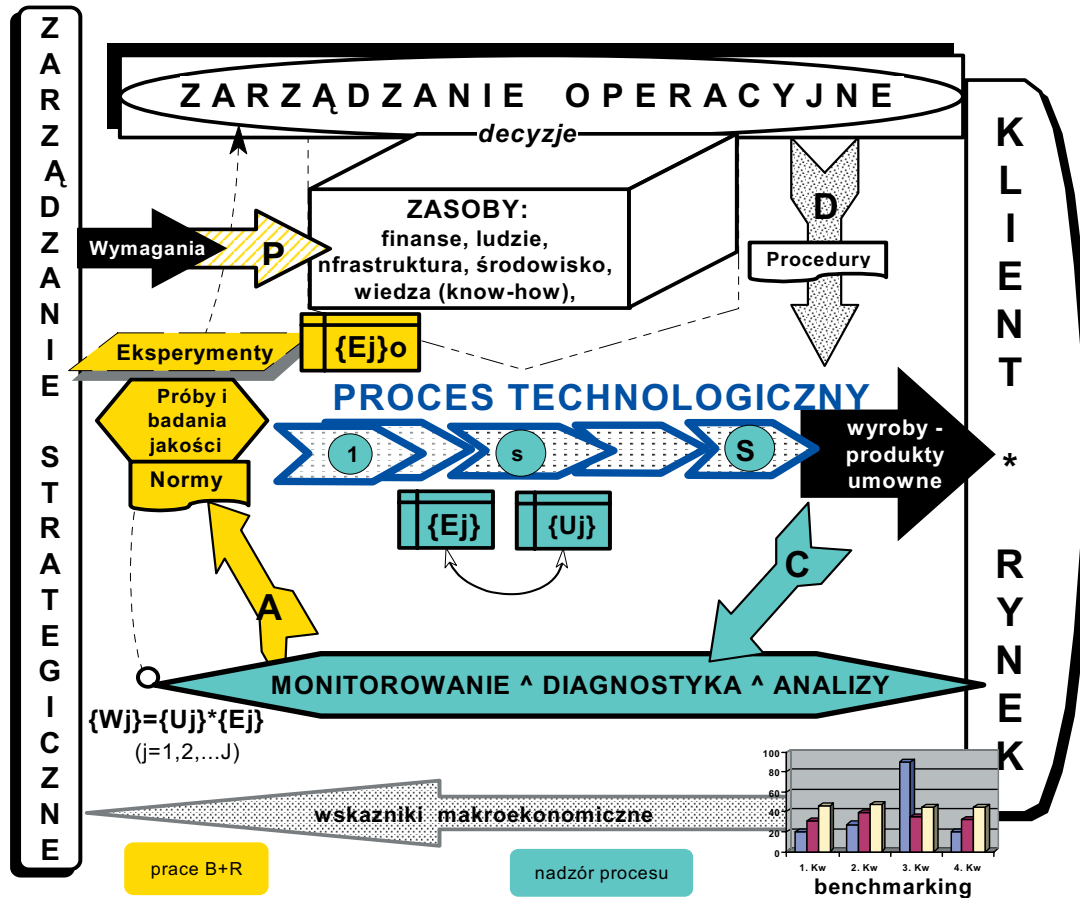
Modyfikacje spowodowane dużym ryzykiem występowania zdarzeń krytycznych (rys 1.) powinny mieć wysoki priorytet, ale nie może to być jedyny powód podejmowania działań optymalizacyjnych. Wymierne „twarde” cele przedsiębiorstwa są określane poprzez wskaźniki wzrostu pozycji rynkowej firmy w konfrontacji z konkurencją. Z tymi celami harmonizuje doskonalenie różnych mierzalnych właściwości eksploatacyjnych procesu, w kontekście wymagań i prognoz oraz z uwzględnieniem odniesień prawnych i normatywnych. Jeżeli jest to uzasadnione, to należy dążyć do równoczesnego monitorowania zdarzeń krytycznych - jak pokazano algorytmicznie na rys. 1 oraz detekcji tych cech procesu, które są wyróżnikami jego właściwości użytkowych, co pokazano poglądowo na rys. 2.

## 5. DOSKONALENIE WŁAŚCIWOŚCI EKSPLOATACYJNYCH PROCESU

Typowy proces technologiczny, ze względu na amortyzację nakładów poniesionych na jego zbudowanie, jest długotrwale eksploatowany. Modyfikacje głównie obejmują poprawę: wydajności procesu, funkcjonalności urządzeń, bezpieczeństwa ich użytkowania itp. Znaczenie ma także zapewnienie długotrwałej stabilności (trwałości) tych charakterystyk, które uznano za kluczowe. Na rys. 2. pokazano układ zarządzania, sterowania i ew. modyfikowania struktury (zasoby, procedury) w celu utrzymania już osiągniętych (lub ew. poprawy) właściwości procesu.

Podczas monitorowania przebiegu procesu są aktywizowane charakterystyczne cykle P-D-C-A <planuj, wykonaj, sprawdź, działaj>, w orientacji na zapewnienie odpowiedniej relacji między parametrami uzyskanymi  $\{U_j\}$ , a wartościami referencyjnymi  $\{E_j\}_0$ . Wartości odniesienia są pierwotnie ustalone przez eksperymenty, próby i badania poznawcze, zaś w kolejnych przebiegach ta relacja dotyczy sąsiednich segmentów:  $(s-1)$  i  $s$  procesu. Realizacja niektórych segmentów procesu poprzedzona jest modyfikacjami wykonywanymi w ramach prac badawczo – rozwojowych. Monitorowanie obejmuje te charakterystyczne cechy i właściwości procesu, które wynikają z wymagań podanych w ogólnych i dedykowanych normach (PN-EN, ISO), w opisie funkcji lub w planie jakości procesu, ale mogą też być wyrażane „ad hoc” podczas obserwacji procesu. Pokazanymi na rys. 2. segmentami  $\langle 1, \dots, s, \dots, S \rangle$  procesu są takie interwały czasowe, w których możliwa jest pełna diagnostyka obejmująca pomiary, obserwacje lub inne formy kon-

troli cech charakteryzujących prawidłowy przebieg procesu. Wyniki takiej diagnostyki stanowią **J**- liczny zbiór wyróżników procesu, a są nimi parametry funkcjonalne, ergonomiczne, wydajnościowe itp. W szczególności elementami tego zbioru mogą być wyniki diagnostyki zgodności zmierzonych wielkości fizycznych, np. prędkości taśmociągu, poboru mocy, poziomu hałasu, natężenia światła, odległości, zasięgu ruchu, powtarzalności pozycjonowania itp. Odpowiednie oszacowania statystyczne tych zdarzeń pokazują potencjalne możliwości doskonalenia procesu.



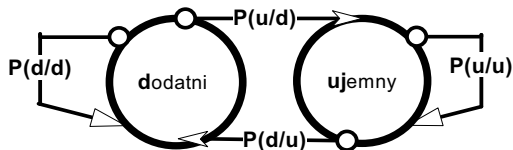
Rys. 2. Aktywne utrzymywanie stacjonarności procesu (w cyklach P-D-C-A)

Reasumując zaleca się sekwencję działań: (1)rozpoznanie zdarzeń potencjalnie krytycznych, (2)wybór sytuacji i punktów kontrolnych do diagnostyki zdarzeń krytycznych i charakterystyk, (3)systematyczne wyznaczanie miar ryzyka  $\{P(t), R(t)\}$ , a obligatoryjne przy każdej technicznej lub organizacyjnej modyfikacji procesu i (4)zmniejszenia intensywności  $\lambda_i$  zdarzeń zagrożeniowych w czasie  $t$ , jeżeli wzrosło ryzyko (rys. 1.) oraz (5)ciągłe monitorowanie parametrów charakterystycznych podczas przebiegu kolejnych segmentów, z odpowiednią reakcją (rys. 2.). Tak postępując można uzyskać poprawę właściwości procesu technologicznego w odniesieniu do:

- stopnia ryzyka funkcjonalnego i bezpieczeństwa jego przebiegu,
- innych cech charakterystycznych i parametrów użytkowych.

Uzyskanie trwałości badanego procesu technologicznego sprowadza się więc do zapewnienia stacjonarności procesu losowego (stochastycznego) występowania zdarzeń charakterystycznych,

które są „a priori” zdefiniowane i wcześniej fizycznie zbadane. Fakt długoterminowego spełnienia zadanych ograniczeń na wartości  $\{P(t), R(t)\}$  może na to pośrednio wskazywać, ale tylko w odniesieniu do ryzyka względem zdefiniowanych zdarzeń krytycznych. Nie jest to jednak wystarczającym dowodem uzyskania postępu po modernizacji procesu lub potwierdzeniem jego stabilności w sensie ogólnym. Wszakże ten problem można także poddać badaniu, w którym użyteczna jest już wcześniej omówiona segmentacja procesu  $\langle 1, 2, \dots, s, \dots, S \rangle$ . Należy wówczas porównywać zgodność zbioru  $\langle u_1, u_2, \dots, u_j, \dots, u_J \rangle$  właściwości (cech, atrybutów) uzyskanych w  $s$ -tym segmencie procesu w odniesieniu do tych samych parametrów o wartościach odpowiednio  $\langle e_1, e_2, \dots, e_j, \dots, e_J \rangle$ , otrzymanych w  $(s-1)$  segmencie.



Wynik porównania zgodności każdego  $j$ -tego parametru (cechy charakterystycznej) procesu może być dodatni ( $d$ ) lub ujemny ( $u$ ), a w tej alternatywie można wyróżnić fakt wystąpienia zmiany lub zachowania „status quo,” (rys. 3).

Rys. 3. Binarny model oceny zgodności

Takie porównanie powinno uwzględniać przedział (obszar) dopuszczalnych wartości, tj. tolerancji i niepewności pomiaru. Oceny zgodności mogą więc obejmować weryfikację każdego parametru poprzez alternatywny wynik: TAK/NIE. Zatem binarne (1/0) rezultaty  $W_j$  weryfikacji  $j$ -tego parametru wypełniają formułę różnicy symetrycznej (modulo 2).

$$W_j = u_j \oplus e_j = (u_j \wedge \underline{e}_j) \vee (\underline{u}_j \wedge e_j), \text{ dla } j= 1, 2, \dots, J \quad (5)$$

Pozytywną ocenę wynikową w odniesieniu do stacjonarności  $s$ -tego segmentu procesowego przypisuje się sytuacji, gdy wszystkie (w liczbie  $J$ ) oceny wykazały zgodność. Wynik „jedynkowy” porównania  $j$ -tego parametru wyznacza elementarne zdarzenie, które potencjalnie narusza stacjonarność. Jednak niektóre spośród wyników:  $W_j=1$ , zwłaszcza jeżeli są otrzymane po modyfikacji procesu, mogą być uznane za korzystne z punktu widzenia założonej funkcji celu modernizacji. Pomimo stwierdzonej niezgodności z pierwotnie przyjętym wzorcem takie wyniki są wystarczającym powodem do uznania, że wykonana modyfikacja procesu dała rezultat pozytywny. Takie kontrolowane odejście od stacjonarności procesu jest oczywiście akceptowalne, a nawet pożądane, ale wywołuje potrzebę aktualizacji danych wzorcowych  $\{U_j\}_s \rightarrow \{E_j\}$ .

W konsekwencji może więc wystąpić jedno z czterech zdarzeń, każde z określonym prawdopodobieństwem warunkowym i z zależnościami – jak niżej:

$$G(j) = P(d/d) + P(u/u) \quad (6)$$

- jest prawdopodobieństwem „zgodnego” cząstkowego wyniku weryfikacji  $j$ -tego parametru procesu, obserwowanego w punkcie kontrolnym, natomiast:

$$B(j) = P(u/d) + P(d/u) \quad (7)$$

- jest prawdopodobieństwem wystąpienia niezgodności  $j$ -tego parametru. Wyczerpuje to zupełny układ zdarzeń, a więc:

$$G(j) + B(j) = 1. \quad (8)$$

Jeżeli w diagnostyce tych zdarzeń:

- uprawnione jest traktowanie wszystkich elementarnych porównań jako wzajemnie niezależnych,
- zapewniono wysoką wiarygodność (tj. małą niepewność) użytych metod i narzędzi pomiarowych,
- występuje symetria przeciwstawnych niezgodności, tj. jeżeli:

$$P(u/d) = P(d/u) = p \quad (9)$$

to takie zdarzenia mogą być opisane rozkładem dwumianowym, z parametrem  $p$ . W odróżnieniu od założeń dot. zdarzeń krytycznych (w rozdz. 4.) nie wymaga się tu zrównoważonej wrażliwości wszystkich analizowanych wielkości. Zdarzenia losowe nie są też tu analizowane łącznie, ale indywidualnie, a wystąpienie co najmniej jednej elementarnej niezgodności rezultatu porównania  $j$ -tego parametru w  $s$ -tym segmencie procesu jest wyrażone prawdopodobieństwem:

$$N_s = \sum_{j=1}^J \frac{J!}{j! (J-j)!} p^j (1-p)^{J-j} \quad (10)$$

zaś prawdopodobieństwo zgodności całkowitej dwu sąsiednich segmentów:  $(s-1)$  i  $s$ :

$$Z_s = (1-p)^J \quad (11)$$

Jeżeli uzyskane z pomiarów estymaty  $N_s$  i  $Z_s$  ww. wielkości losowych spełniają np. warunek:

$$0,95 < (N_s + Z_s) < 1,05 \quad (12)$$

to ww. założenia dot. rozkładu losowego zdarzeń można uznać za spełnione. Natomiast zbliżone wartości kolejnych elementów ciągu  $\{N_s\}$  i ciągu  $\{Z_s\}$ , dla  $s=1, 2, \dots, S$ , nie świadczą jeszcze o stacjonarności, bowiem mogą tu występować wzajemne kompensacje niezgodności. Jeżeli więc celem głównym jest stabilność (a nie progresja i zmiany) już uzyskanych parametrów charakteryzujących funkcjonalność procesu, to należy dążyć do minimalizacji prawdopodobieństwa  $p$ . Do kompletnego obrazu sytuacji i ciągłego doskonalenia procesu potrzebny jest odpowiednio liczny zbiór danych z wielu weryfikacji, co w praktyce może zapewnić tylko stałe monitorowanie i sekwencyjne działania optymalizacyjne, np. opisane w niniejszej publikacji.

## 6. WNIOSKI

Szanse rozwojowe przedsiębiorstwa przemysłowego w dużym stopniu zależą od jego potencjału modernizacyjnego. Innowacyjność stała się już obecnie paradygmatem gospodarki opartej na wiedzy, a zmiany technologii i organizacji pracy to częstokroć czynniki warunkujące istnienie firmy na rynku. Jednakże restrukturyzacja przemysłu nie powinna być pojmowana jako dialektyczna idea destrukcji - burzenia starego i tworzenie nowego. Trudno także uznać za kreatywne takie działania modernizacyjne, które są implikowane tylko intelektualnie przemożną potrzebą uczestnictwa w wielkich czynach i potencjalnie znaczących zmianach.

W rozwijających się przedsiębiorstwach występują liczne przenikania międzyprocesowe i kontakty poziome, a w tych warunkach istotne znaczenie mają: spójny system wartości pracowników, ich odczucia, emocje i motywacje wynikłe z dążeń egzystencjalnych. Zmiany organizacyjne znajdują tam również wyraz w odchodzeniu od pionowo-hierarchicznej organizacji przedsiębiorstwa na rzecz struktury zorientowanej zadaniowo i podmiotowości pracowników. Doskonalenie

jakości pracy stało się tam już niekwestionowanym imperatywem działań, a często także istotną wartością w sensie aksjologicznym.

Rozwój gospodarczy kształtują: dobre przepisy prawne, właściwe rozwiązania organizacyjne i techniczne, twórcze wynalazki, ale także odpowiednie instrumenty finansowe. W tym kontekście na uwagę zasługuje program MNiSW pt. *Inicjatywa Technologiczna*, umożliwiający nawet całkowite sfinansowanie projektów z różnych obszarów innowacyjnych technologii [7].

Zmiany w przemyśle wciąż postępują, ale przeciwstawienie tradycji i nowoczesności trzeba uznać za duże i naiwne uproszczenie. Międzynarodowe standardy jakości, ekologii i bezpieczeństwa wytyczają główne cele i metody prowadzące do osiągania zakładanych celów, także społecznych. Niewątpliwie łatwiej je osiągać przy synektycznych nawykach działań zespołowych oraz z równowagą między stymulowaniem konkurencji, a współpracą wewnątrz przedsiębiorstwa. Pozytywne efekty wynikają z wielokierunkowych działań, a w tym pomocne mogą być tu pokazane metody analityczne i eksperymentalne oraz sposoby postępowania przy modernizacji i doskonaleniu procesów produkcyjnych.

## 7. LITERATURA

- [1] K. Majdan „Automatyzacja procesu kontroli silników odrzutowych” w miesięczniku „Pomiary-Automatyka – Robotyka – nr 1/2002.
- [2] PN-ISO 11161: 1996 Bezpieczeństwo Zintegrowanych Systemów Wytwarzania
- [3] K. Majdan “Safety problems – from the concept of system measuring to its implementation” Chapter XXVII in “Dilemmas and Issues of Modern Ergonomics and Work Safety Education And Researches ISBN: 83-906191-4-8 Poznań 2004 r.
- [4] PN-EN 60068-1 Badania środowiskowe. Część 1: Postanowienia ogólne i wytyczne.
- [5] PN-EN 60068-2 Badania środowiskowe. Część 2-xx . Próby – specyfikacja [www.pkn.pl/index.php?m=katalog&a=find&cmd=&pfsymbol=Pn-En+60068-2](http://www.pkn.pl/index.php?m=katalog&a=find&cmd=&pfsymbol=Pn-En+60068-2)
- [6] PN-IEC 812: 1994 - Techniki analizy nieuszkodzalności systemów. Procedura analizy rodzajów i skutków uszkodzeń (FMEA).
- [7] Biuletyn MNiSW [[www.nauka.gov.pl](http://www.nauka.gov.pl)] „Sprawy Nauki” archiwum Nr 5(126) i 6-7(127) 2007.