

GENEZOWANIE NIEZDATNOŚCI OBIEKTÓW AUTOMATYKI

Streszczenie:

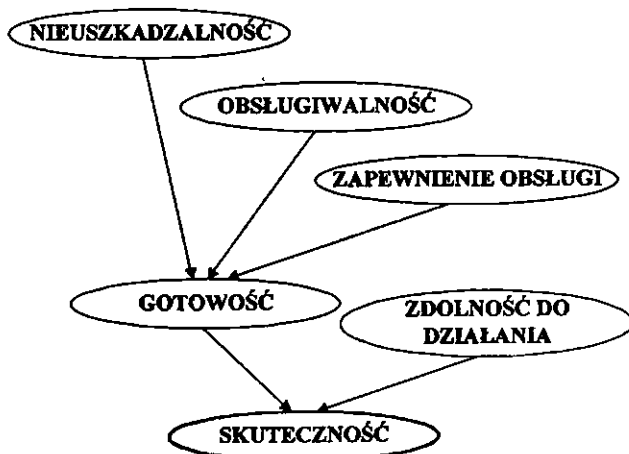
Wzrastająca konkurencja na rynku stawia coraz większe wymagania na jakość układów automatyki. Aby zaspokoić te potrzeby opracowano narzędzie do genezowania przyczyn powstawania niezdatności. Metodę poszerzono o informację o narzędziach wspomagających jej wykorzystanie i takich, które ją mogą uzupełnić.

Abstract:

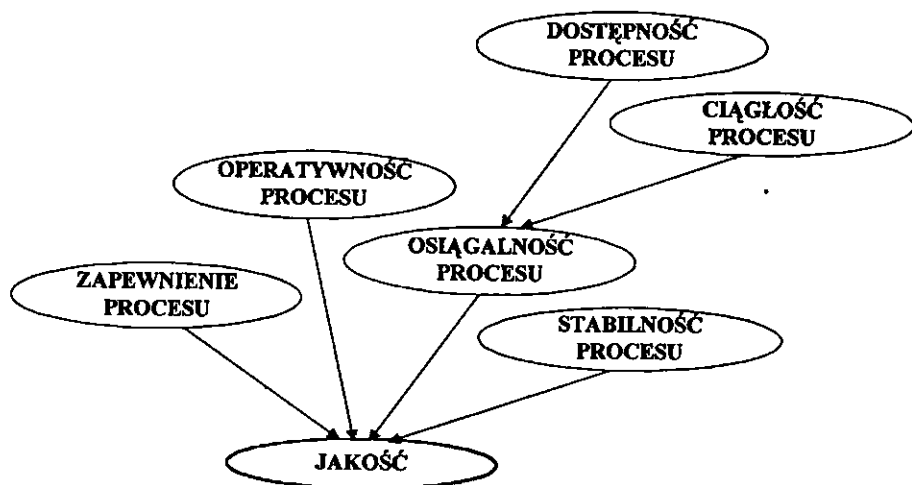
Larger and larger requirements about quality of automatic machine are laid down by progressive competition. On account of it we have described implement to establishing the rise of the fault. The method has been extended by giving information about implements helping the use of it or those that can complete it.

1. WPROWADZENIE

W rozwoju współczesnej techniki istnieje wyraźna tendencja do automatyzacji zarówno poszczególnych obiektów, procesów i operacji technologicznych, lecz także systemów złożonych. Podmiotem tego rozwoju jest klasa obiektów nazywana obiektami (układami) automatyki. Wzrastająca konkurencja na rynku stawia coraz większe wymagania na skuteczność tych obiektów (rys.1) i jakość realizowanych przez nie procesów (rys.2).



Rys.1. Czynniki wpływające na skuteczność obiektu automatyki [7]



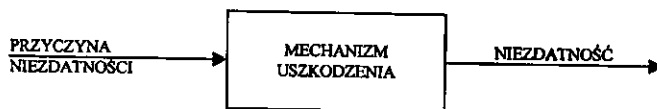
Rys.2. Czynniki wpływające na jakość procesu automatycznej regulacji [7]

2. DIAGNOZOWANIE OBIEKTÓW AUTOMATYKI

Do metod zapewnienia jakości i skuteczności należą metody diagnostyki technicznej pozwalające na obsługiwane według stanu technicznego; powszechnie zastępujące obsługiwane według resursu. Metody te obejmują takie procesy jak: diagnozowanie niezdatności, dozоровanie (monitorowanie), prognozowanie i sprawdzenie działania. Podstawową formą badania diagnostycznego jest diagnozowanie niezdatności, w którego skład wchodzi czynności mające na celu rozpoznanie niezdatności, lokalizację niezdatności i określenia przyczyny jej powstania czyli genezowanie.

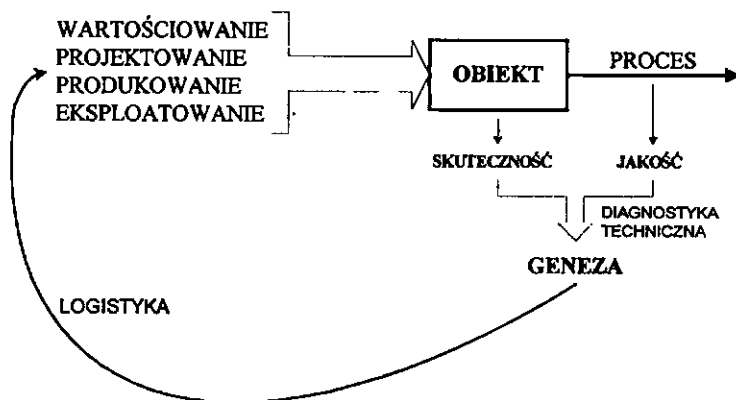
Genezowanie można przedstawić jako próbę identyfikacji związku przyczynowo - skutkowego (rys.3), gdzie:

- przyczyną niezdatności są okoliczności, które powstały w czasie wartościowania, projektowania, produkcji lub eksploatacji i doprowadziły do uszkodzenia;
- mechanizmem uszkodzenia będą nazywane procesy fizyczne, chemiczne lub inne, które doprowadziły do uszkodzenia i będącej skutkiem tego uszkodzenia niezdatności;
- niezdatnością będzie nazywany stan obiektu charakteryzujący się niezdolnością do wypełniania wymaganych funkcji, poza przypadkiem niezdolności występującej w czasie obsługi profilaktycznej lub niezdolności spowodowanej brakiem środków zewnętrznych lub innymi planowanymi działaniami (często niezdatność jest wynikiem uszkodzenia obiektu, lecz może też wystąpić bez wcześniejszego uszkodzenia).



Rys.3. Związek przyczynowo - skutkowy

Tak pojęte genezowanie pozwala na podjęcie działań logistycznych na wszystkich etapach życia danego obiektu automatyki (rys.4) zwiększając jego skuteczność i jakość procesu.



Rys.4. Genezowanie w procesie zapewnienia skuteczności i jakości

3. WYKRES ISHIKAWY

W rzeczywistym obiekcie, przyczyn powstania niezdatności może być zwykle bardzo dużo. W celu przeprowadzenia genezowania powszechnie stosowany jest przegląd przyczyn bez konkretnego porządku. Metoda ta nie wykorzystuje żadnego algorytmu i może objąć przyczyny niemożliwe. Aby racjonalizować czynności genezowania proponuje się wykorzystać wykres Ishikawy (wykres szkieletu ryby) [6].

Wykres Ishikawy stosowany jest do:

- analizy związków przyczynowo-skutkowych;
- przedstawienia związków przyczynowo-skutkowych;
- ułatwienia rozwiązania problemu od symptomu poprzez przyczynę do rozwiązania.

Wykres Ishikawy jest narzędziem stosowanym w celu przemyślenia i przedstawienia związków pomiędzy danymi skutkami i ich potencjalnymi przyczynami. Wiele potencjalnych przyczyn jest pogrupowanych wg głównych kategorii i podkategorii, w ten sposób, że obraz przypomina szkielet ryby.

Procedura budowy wykresu:

a) Określić skutek w sposób jasny i logiczny. Dla genezowania skutkiem takim jest niezdatność ogólnie lub szczególny jej rodzaj.

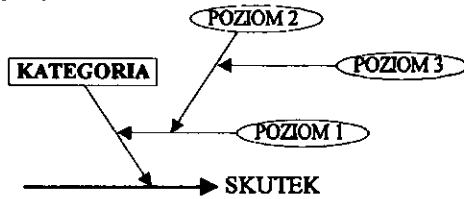
b) Określić główne kategorie możliwych przyczyn. Wyszczególniono następujące, ściśle związane z fazami życia obiektu automatyki, kategorie:

- wartościowanie;
- projektowanie;
- produkowanie;
- odporność;
- użytkowanie;
- obsługa;
- postępowanie z obiektem;
- starzenie.

c) Zacząć budować wykres określając skutek w ramach z prawej strony i umieszczając główne kategorie jako „dopływy” do ramki „skutek”.

d) Opracować wykres przez przemyślenie i zapisanie przyczyn na wszystkich, kolejnych poziomach. Kontynuować tę procedurę do coraz wyższych poziomów. Dobrze opracowany wy-

kres nie będzie miał odgałęzień z mniej niż dwoma poziomami oraz wiele odgałęzień z trzema lub więcej poziomami (rys.5).

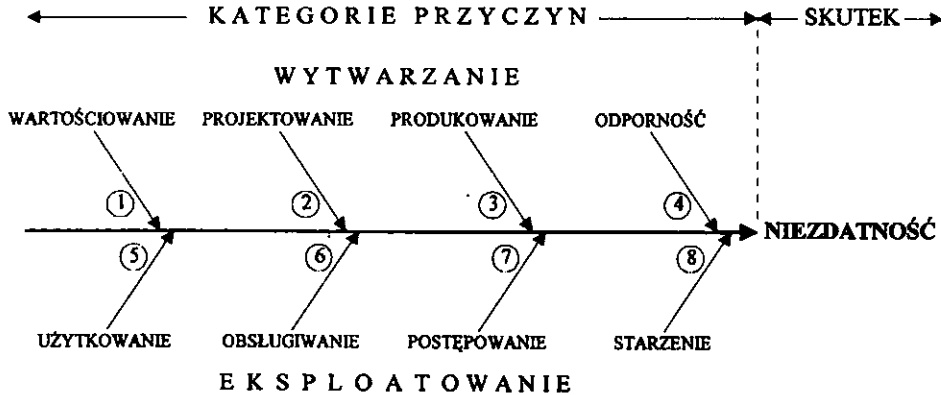


Rys.5. Rozwój wykresu przyczynowo-skutkowego [6]

e) Wybrać i określić małą liczbę (3 do 5) przyczyn z najwyższego poziomu, które prawdopodobnie mają największy wpływ na skutek oraz wymagają dalszych działań takich jak zbieranie danych, podjęcie kontroli, itp.

Alternatywną metodą do budowania wykresu przyczynowo-skutkowego jest generowanie wszystkich możliwych przyczyn poprzez burzę mózgów, a następnie pogrupowanie ich w kategorii i podkategorie stosując wykres współzależności.

Po zbudowaniu (rys.6), wykres może stać się „żywym narzędziem” do którego wprowadza się dalsze szczegóły w miarę zdobywania nowej wiedzy i doświadczenia.



Rys.6. Ogólny wykres Ishikawy z rozbitciem na fazy życia obiektu.

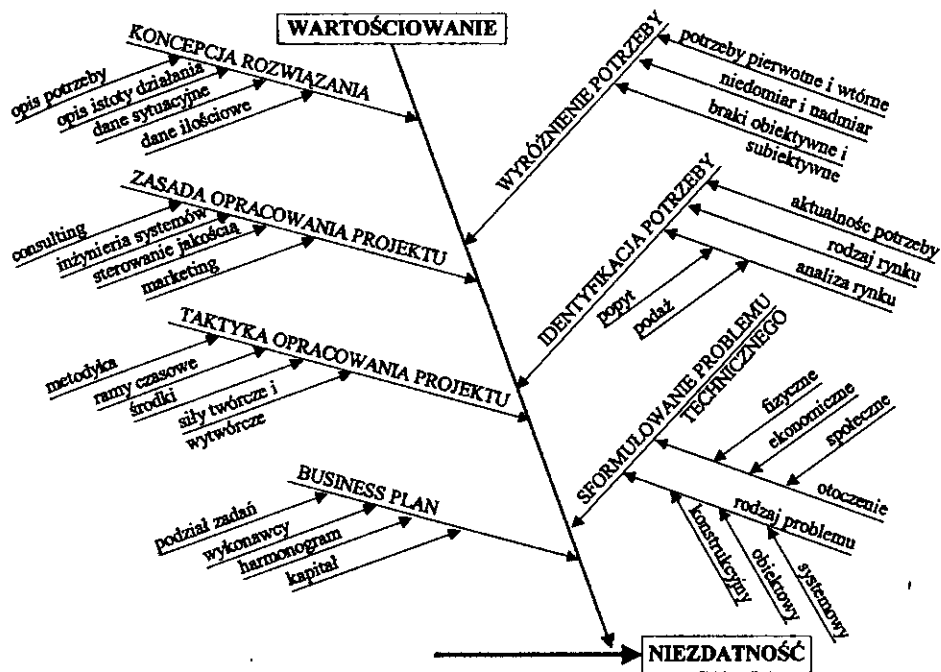
4. KATEGORIE

Korzystając z dokumentów normatywnych [7] przeprowadzono w Zakładzie Eksploatacji i Diagnostyki Technicznej WAT burzę mózgów i w wyniku analizy ustalono oraz zapisano przyczyny we wszystkich kategoriach.

4.1. Kategoria 1 - wartościowanie

Zawiera przyczyny niezdatności związane z błędami wartościowania w pierwszej fazie istnienia obiektu (rys.7). Faza ta rozpoczyna się z chwilą ujawnienia i identyfikacji (rozpoznania) potrzeby. Obejmuje takie elementy jak sformułowanie problemu technicznego i poszukiwanie różnych koncepcji rozwiązań, a kończy się na przyjęciu zasad i taktyki opracowania projektu. Na tym etapie skuteczność obiektu określa się na podstawie analizy ryzyka kosztów i zysków, zarówno po stronie odbiorcy i wytwórcy (tzw. business plan).

Typowym przykładem takich niezdatności są układy automatyki, których stosowanie jest nieuzasadnione ekonomicznie, brak na nie popytu lub jest on niewystarczający do utrzymania ceny pokrywającej koszty produkcji. Czasami niewłaściwy business plan może powodować obciążenie kosztów wytwarzania nieuzasadnionymi kredytami itp.



Rys. 7. Wykres przyczynowo-skutkowy dla kategorii wartościowanie

4.2. Kategoria 2 - projektowanie

Po zatwierdzeniu business planu rozpoczyna się następną fazą życia obiektu - projektowanie. Obejmuje ona wszystkie czynności projektanta, które przybliżają go do spełnienia warunków postawionych w fazie wartościowania.

Kategoria projektowanie (rys.8) zawiera przyczyny niezdatności wynikające z niewłaściwego zaprojektowania obiektu. Większość z przyczyn tych niezdatności ma charakter subiektywny, będący wynikiem praktycznej działalności człowieka. Są one zależne od tej działalności i mogą być eliminowane w wyniku odpowiednich przedsięwzięć.

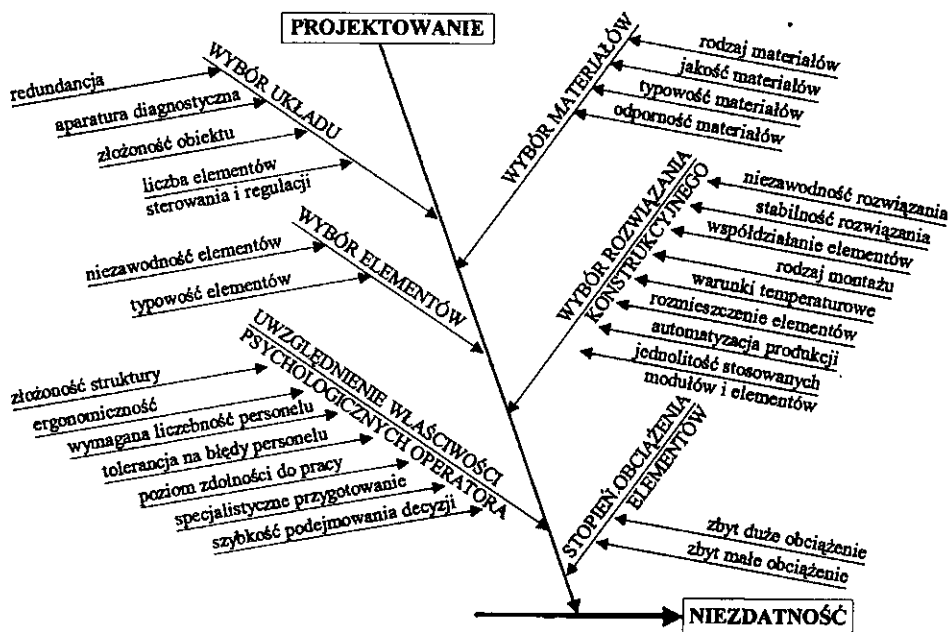
Najczęściej powtarzającymi się przyczynami niezdatności z tej kategorii jest niewłaściwy rodzaj materiału, zbyt mała niezawodność elementów i brak wystarczającej tolerancji na błędy personelu. System automatycznego nawadniania pewnej niemieckiej firmy pozostawał w stanie niezdatności przez 15% czasu użytkowania z tego ostatniego powodu, stanowiło to 95% całkowitego czasu niezdatności. Wadę tą posiada bardzo wiele urządzeń powszechnego użytku.

4.3. Kategoria 3 - produkowanie

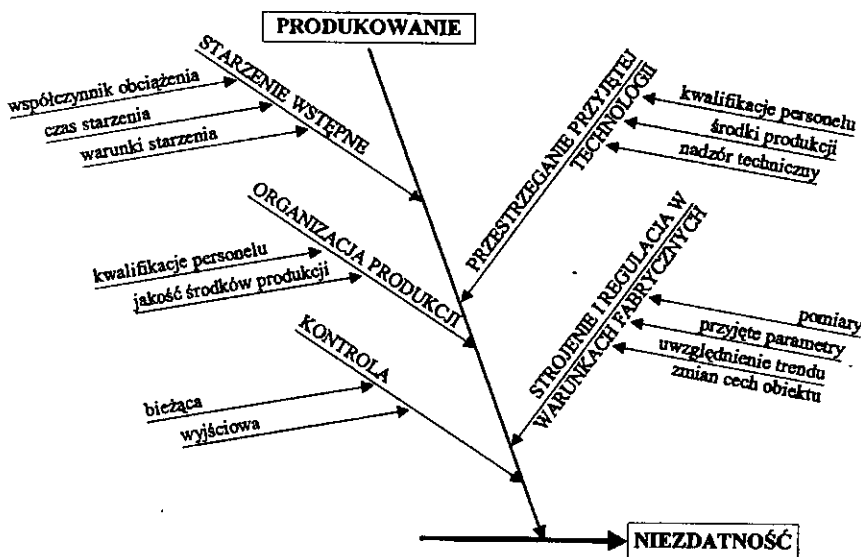
Na podstawie opracowanego projektu, producent (wykonawca) przystępuje do jego praktycznej realizacji. W tej fazie główną uwagę poświęca się na wysoką jakość wykonania, technolo-

giczność operacyjną, dostępność materiałów, niskie koszty produkcji oraz zgodność z normami i przepisami (unifikacja, typizacja, normalizacja).

Kategoria (rys.9) zawiera przyczyny niezdatności powstałych wskutek błędów produkcyjnych, tj. niezgodnością procesu produkcyjnego z projektem obiektu lub określonym procesem wytwarzania.



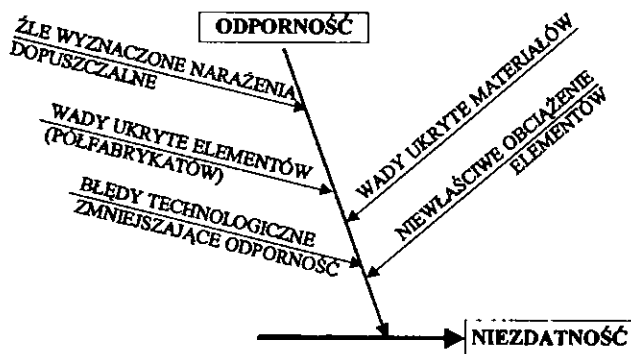
Rys.8. Wykres przyczynowo-skutkowy dla kategorii projektowanie



Rys.9. Wykres przyczynowo-skutkowy dla kategorii produkowanie

4.4. Kategoria 4 - odporność

Kategoria odporność (rys.10) zawiera przyczyny niezdatności wynikające z małej odporności samego obiektu, w przypadku gdy jest on użytkowany w warunkach narażeń nie przekraczających narażeń dopuszczalnych dla obiektu. Mała odporność może być inherentna lub nabyta. O powszechności występowania niezdatności wskutek małej odporności świadczy fakt, że to one są objęte gwarancjami producenta. Opierając się na doświadczeniu i zasadach udzielania gwarancji można stwierdzić, że występują one w około 5-7% wszystkich obiektów i mają charakter losowy.

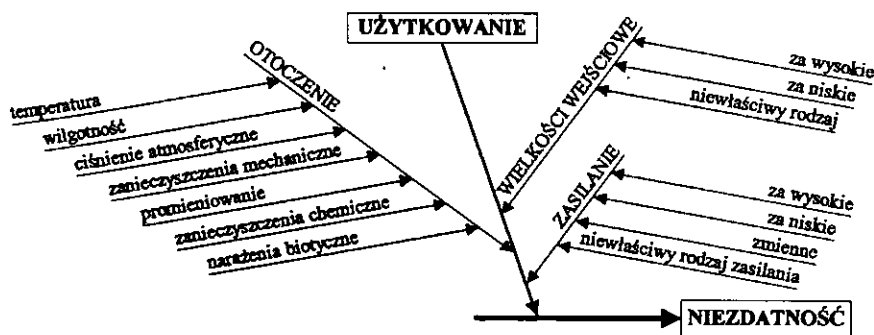


Rys.10. Wykres przyczynowo-skutkowy dla kategorii odporność

4.5. Kategoria 5 - użytkowanie

Kategoria użytkowanie (rys.11) zawiera przyczyny niezdatności wskutek niewłaściwego użytkowania. Są to niezdatności powstałe podczas użytkowania obiektu w warunkach narażeń przekraczających narażenia dopuszczalne dla tego obiektu.

Przykładem są niezdatności silnika benzynowego wskutek używania niewłaściwego paliwa; można wyróżnić cztery przypadki: paliwo o zbyt dużej liczbie oktanowej, o zbyt małej liczbie oktanowej, używanie zamiennie paliwa o różnej liczbie oktanowej lub oleju napędowego.

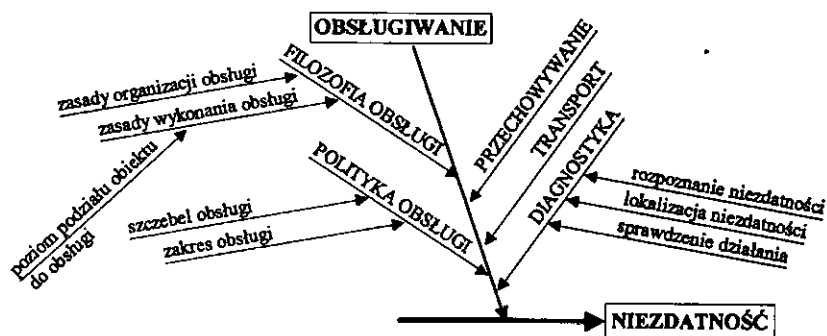


Rys.11. Wykres przyczynowo-skutkowy dla kategorii użytkowanie

4.6. Kategoria 6 - obsługiwanie

Kategoria obsługiwanie (rys.12) zawiera przyczyny niezdatności wskutek obsługiwania obiektu w niewłaściwych warunkach lub w niewłaściwy sposób.

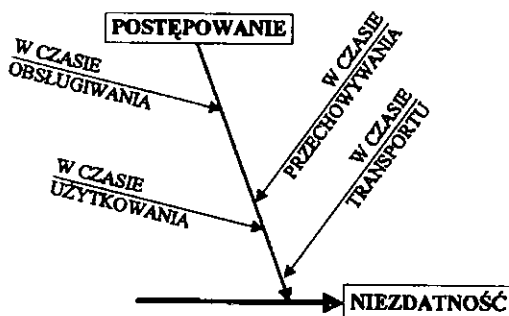
Do najczęściej występujących w praktyce inżynierskiej niezdatności wskutek niewłaściwego obsługiwanego należą niezdatności spowodowane próbami obsługiwanego przez użytkowników w niedopuszczalnym zakresie. Dotyczy to głównie pojazdów mechanicznych i sprzętu audiowizualnego.



Rys.12. Wykres przyczynowo-skutkowy dla kategorii obsługiwanego

4.7. Kategoria 7 - postępowanie

Kategoria (rys.13) zawiera przyczyny niezdatności powstałych wskutek niewłaściwego postępowania z obiektem lub braku dbałości o obiekt. Są to najbardziej nietypowe niezdatności, jak choćby zalanie klawiatury komputera herbatą. W efekcie gromadzenia informacji o tych niezdatnościach w instrukcjach zamieszcza się szczegółowe ostrzeżenia; pomysłowość ludzka nie zna jednak granic.

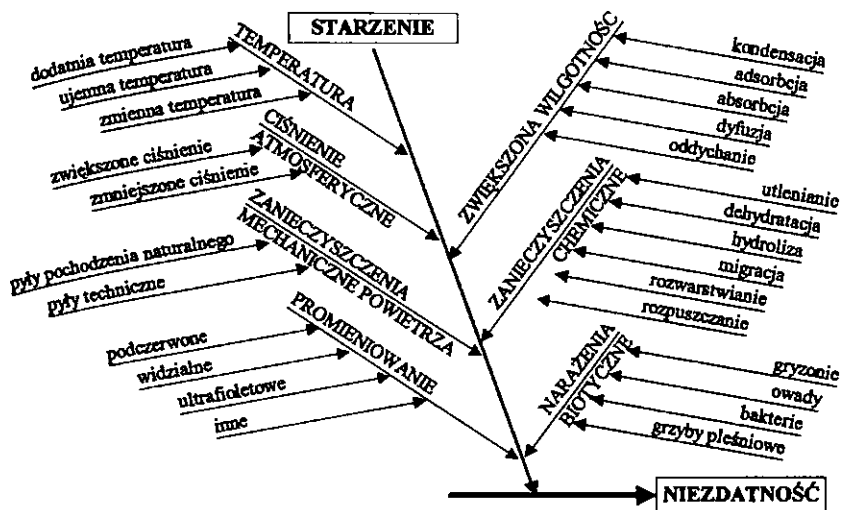


Rys.13. Wykres przyczynowo-skutkowy dla kategorii postępowanie

4.8. Kategoria 8 - starzenie

Kategoria (rys.14) zawiera przyczyny niezdatności powstałych wskutek starzenia się obiektu. Są to niezdatności, których prawdopodobieństwo wystąpienia zwiększa się z upływem czasu jako wynik procesów zachodzących wewnątrz obiektu. Często zamysłem konstruktorów jest, aby wszystkie elementy obiektu starzały się w jednakowym tempie, ułatwia to planowanie obsługi i wymiany obiektu na nowy.

Przykładem niezdatności tego typu jest zużycie mechaniczne łożysk, zmniejszenie pojemności kondensatorów elektrolitycznych, zanieczyszczenie oleju itp. Można o nich powiedzieć, że powinny zachodzić, byle niezbyt szybko. Wyjątkowym rodzajem starzenia jest tzw. starzenie moralne, na przykład złomuje się zdadne samochody tylko dlatego, że już nie podobają się użytkownikom lub są lepsze innej marki.



Rys.14. Wykres przyczynowo-skutkowy dla kategorii starzenie

Dla konkretnych obiektów, na podstawie przedstawionego wykresu, można wskazać najbardziej prawdopodobne przyczyny. Na podstawie doświadczeń eksploatacyjnych można przyjąć, że w ogólnym przypadku są to: błędy produkcyjne, mała odporność obiektu i niewłaściwe użytkowanie.

5. NARZĘDZIA STEROWANIA JAKOŚCIĄ STOSOWANE DO GENEZOWANIA

Do celów genezowania można stosować również inne narzędzia i techniki zapewnienia jakości. Jedne pomagają zbudować prawidłowy wykres przyczynowo-skutkowy dla konkretnego obiektu (tzn. uściślić wzór wykresu przedstawiony powyżej), inne mogą być utworzone na bazie przedstawionego wykresu.

5.1. Metody wspomagające budowę wykresu przyczynowo-skutkowego

5.1.1. Formularz zbierania danych

Stosowany jest do systematycznego zbierania i zapisywania danych w celu uzyskania jasnego obrazu rzeczywistości. Zachęca do logicznego ich grupowania i ułatwia późniejszą analizę.

5.1.2. Wykres współzależności

Jest używany w celu pogrupowania dużej liczby pomysłów, opinii lub spraw związanych z daną niezdatnością. Często jest stosowane do porządkowania pomysłów wykreowanych podczas burzy mózgów.

5.1.3. Działania porównawcze

Pozwalają porównać procesy i wykonanie układów oraz usług z procesami oraz wykonaniem wyrobów i usług uznanych firm. Pozwala to na określenie celów i ustalenie priorytetów w przygotowaniu planów, co prowadzi do konkurencyjności na rynku.

5.1.4. Burza mózgów

Jest stosowana w celu określenia możliwych przyczyn niezdatności. Technika ta wykorzystuje twórcze myślenie zespołu do stworzenia i wyjaśnienia listy pomysłów, problemów lub spraw.

5.1.5. Diagram pokrewieństwa.

Jest to metoda zbliżona do burzy mózgów, a jeszcze bardziej do metaplanu. Stosowany jest do generowania i zbierania informacji opisowych (pomysły, opinie itp.) i sortowania ich w grupy obejmujące pokrewne pomysły. Metoda ta bywa stosowana w celu przełamania dotychczasowych schematów myślowych uniemożliwiających dalszy postęp. Pomysły zebrane w czasie tworzenia wykresu pokrewieństwa można opracowywać dalej wykorzystując pozostałe narzędzia.

5.1.6. Diagram zależności.

Celem stosowania diagramu zależności jest ustalenie zależności pomiędzy głównym problemem, czy pomysłem, a powiązаныmi z nim czynnikami. Wykres ten pozwala również na ustalenie kolejności następstw tych czynników. Narzędzie to bywa stosowane w celu znalezienia logicznych zależności zarysowanych w diagramie pokrewieństwa.

5.2. Metody wykorzystujące wykres przyczynowo-skutkowy

Drugą grupę stanowią metody, które są rozwinięciem wykresu przyczynowo-skutkowego, pozwalają one na dokładniejsze, często ilościowe przedstawienie znanych zależności.

5.2.1. Karta flowchart

Jest stosowana do opisu istniejącego procesu lub do zaprojektowania nowego procesu. Jest obrazowym przedstawieniem poszczególnych kroków procesu, użyteczna do szczegółowego zrozumienia sposobu jak rzeczywisty proces przebiega. Poprzez badanie w jaki sposób różne kroki procesu odnoszą się do siebie wzajemnie, niektóre z nich, często mogą ujawniać potencjalne źródła niezdatności.

5.2.2. Wykres drzewa

Jest używany do przedstawiania związków pomiędzy daną niezdatnością i jej elementami składowymi. Pomysły powstałe podczas burzy mózgów i przedstawione w formie wykresu lub pogrupowane przy pomocy wykresu współzależności mogą być przekształcone w wykres drzewa w celu pokazania logicznych i kolejnych powiązań.

5.2.3. Karta kontrolna

Jest narzędziem do wyróżnienia zmiennych ze względu na wyznaczone lub specjalne przyczyny z przypadkowych zmiennych właściwych dla procesu. Przypadkowe zmienne powtarzają się losowo w ramach założonych granic. Zmienne ze względu na wyznaczone lub specjalne przyczyny wskazują, że niektóre czynniki oddziałujące na proces wymagają zidentyfikowania, zbadania i kontrolowania. W kartach wykorzystywane są dane robocze w celu ustalenia granic, w których oczekuje się, że będą przeprowadzane obserwacje, jeżeli na proces nie będą wpływać wyznaczone lub specjalne przyczyny.

5.2.4. Histogram

Stosuje się do pokazania wykresu zmiennych, wizualnego przedstawienia informacji o zachowaniu się procesu, podejmowania decyzji odnośnie tego, gdzie skupić wysiłki doskonalenia. Dane przedstawia się jako serie prostokątów o równych szerokościach i różnych wysoko-

ściach. Szerokość przedstawia przedział leżący w granicach danych. Wysokość przedstawia liczbę wartości danych w danym przedziale.

5.2.5. Wykres Pareto-Lorentza

Stosuje się do przedstawienia udziału każdego składnika w całkowitym efekcie wg ważności i ich uszeregowania. Służy do uszeregowania składników od najczęściej do najrzadziej występujących. Oparty jest na zasadzie Pareto, która mówi, że często tylko kilka składników odpowiada za większość skutków. Oddzielając najważniejsze składniki od najmniej ważnych używa się poprawę procesu najmniejszym wysiłkiem.

5.2.6. Wykres rozrzutu

Jest używany w celu wykrycia i przedstawienia oraz potwierdzenia oczekiwanych związków pomiędzy dwoma związanymi zbiorami danych. Wykres rozrzutu przedstawia pary jako chmurę punktów. O związkach pomiędzy związanymi zbiorami danych wnioskuje się z kształtu chmur.

5.2.7. Drzewo decyzyjne

Jest stosowane do graficznej analizy czynności jakie muszą być wykonane by osiągnąć pożądany cel. Może być także wykorzystywane do określania wszystkich czynników mających wpływ nadaną niezdatność. Zaletą drzewa decyzyjnego jest to, że zmusza do zbadania wszystkich logicznych i chronologicznych połączeń między zadaniami.

5.2.8. Diagram tablicowy

Technika ta ustala zależności pomiędzy wymaganiami i parametrami układu automatyki, aby ustalić jakimi cechami powinien się on charakteryzować. Rozwinięciem diagramu jest znana w Polsce technika QFD (Quality Function Deployment).

5.2.9. Tablicowa analiza danych

Stosowana jest najczęściej w celu przedstawienia danych na wykresie dla odczytania siły zależności pomiędzy dwiema zmiennymi. Parametry te mogą być przedstawiane jako silne i słabe, wysokie i niskie lub też można nanieść na osie skalę liczbową.

5.2.10. Diagram planowania procesu podejmowania decyzji (ang. PDPC)

Jest stosowany do graficznej analizy zdarzeń i nieprzewidzianych uszkodzeń, które mogą mieć miejsce w czasie realizacji zadania. Metoda ta pozwala na określenie środków zaradczych w przypadku zaistnienia nieoczekiwanych problemów.

5.2.11. Diagram strzałkowy

Używany jest do planowania działań i ustalania kolejności zadań. Technika ta jest podobna do wykresów Gantta, a zwłaszcza do dobrze znanych w Polsce wykresów sieciowych (metoda ścieżki krytycznej).

6. WNIOSKI

Wzrastająca konkurencja na rynku stawia coraz większe wymagania na jakość układów automatyki. Jakość to zespół cech gwarantujących spełnienie zadeklarowanych i oczekiwanych potrzeb odbiorców. Jako pojęcie interdyscyplinarne należy jakość rozpatrywać w aspekcie technicznym, ekonomicznym oraz psychologicznym i traktować w ujęciu kompleksowym.

W świetle norm serii ISO 9000 znaczenia nabiera nie tylko niezawodność tych układów, ale i system zapewnienia jakości. W odniesieniu do wyrobu jakość powinna być rozpatrywana w całym cyklu jego życia tj. w sferze przedprodukcyjnej, produkcyjnej i poprodukcyjnej (eksploatacja).

Współczesne rozumienie jakości nie może być i nie jest utożsamiane z kontrolą jakości. Kontrola jakości odnosi się do stwierdzenia post factum, że coś jest dobre lub złe. Kontrolę jakości w tradycyjnym rozumieniu umożliwiają metody statystyczne, które są dość dobrze znane.

System zapewnienia jakości także w procesie eksploatacji (etap poprodukcyjny) opiera się na założeniu, że jakość trzeba wytworzyć, nie można jej wykontrolować.

Wychodząc na przeciw tym potrzebom podjęto próbę opracowania narzędzi do genezowania przyczyn powstawania uszkodzeń. Takie rozwiązanie pozwala na szybsze i skuteczniejsze rozwiązywanie napotykaných w czasie eksploatacji problemów. Daje ono odpowiedź na następujące pytania:

- kto jest odpowiedzialny za realizację określonego działania?
- co ma być zrobione, jaka praca ma być wykonana?
- kiedy dane działania mają być realizowane (chodzi o logiczny ciąg zdarzeń)?
- na jakiej podstawie dane działanie jest realizowane?

W pracy bazowano na klasycznych [6] i nowych [8] narzędziach sterowania jakością zalecanych przez normę. Przedstawiony w [3] wykres przyczynowo-skutkowy znajduje zastosowanie do poprodukcyjnej kontroli jakości i ustalania przyczyn niskiego poziomu niezawodności (powstawania braków). Natomiast prezentowany wykres ułatwia poszukiwanie przyczyn niezdatności obiektu na dowolnym etapie jego życia. Proponowane rozwiązanie przystosowuje je do genezowania możliwej do usunięcia przyczyny.

LITERATURA

- [1] Doutré M.F., Dubuission B.: *Diagnosis Through Pattern and Morphology Analysis Application to the Automobile Industry*. IFAC/IMACS - Symposium on Fault Detection, Supervision and Safety for Technical Processes - „Safeprocess'91” International Federation of Automatic Control, Baden-Baden Fed. Rep. Of Germany, September 1991, pp. 325-331.
- [2] Kindlarski E.: *Jakość wyrobów.*; PWN, Warszawa 1988.
- [3] Migdański J.: *Inżynieria niezawodności - poradnik*; ZETOM, Warszawa 1992.
- [4] Niziński S., Fret J., Bielawski K., Kozłowski G.: *Proces badawczo - projektowo - konstrukcyjny - wdrożeniowy a fazy istnienia pojazdów mechanicznych*. Referaty i komunikaty IX Konferencji Naukowo-Technicznej „Diagnostyka Maszyn Roboczych i Pojazdów”, Bydgoszcz, Wrzesień 1994, str. 221-227.
- [5] Niziński S., Fret J., Bielawski K., Kozłowski G.: *Systemy działania, logistyka, eksploatacja a diagnostyka obiektów technicznych*. Referaty i komunikaty IX Konferencji Naukowo-Technicznej „Diagnostyka Maszyn Roboczych i Pojazdów”, Bydgoszcz, Wrzesień 1994, str. 229-238.
- [6] Norma PN ISO/9004-4 *Zarządzanie jakością i elementy systemu jakości*. Wytyczne doskonalenia jakości.
- [7] Norma PN-93/N-50 191 *Niezawodność; jakość usługi*. [eqv IEC 50(191) - 1990].
- [8] Rogala J, Piotrowski M.: *Siedem nowych narzędzi sterowania jakością*. Qualityland nr 2, 1995, str. 20-22.
- [9] Żółtowski B., Niziński S.: *Badania diagnostyczne pojazdów mechanicznych*. Referaty zamówione IX Konferencji Naukowo-Technicznej „Diagnostyka Maszyn Roboczych i Pojazdów”, Bydgoszcz, Wrzesień 1994, str. 9-23.