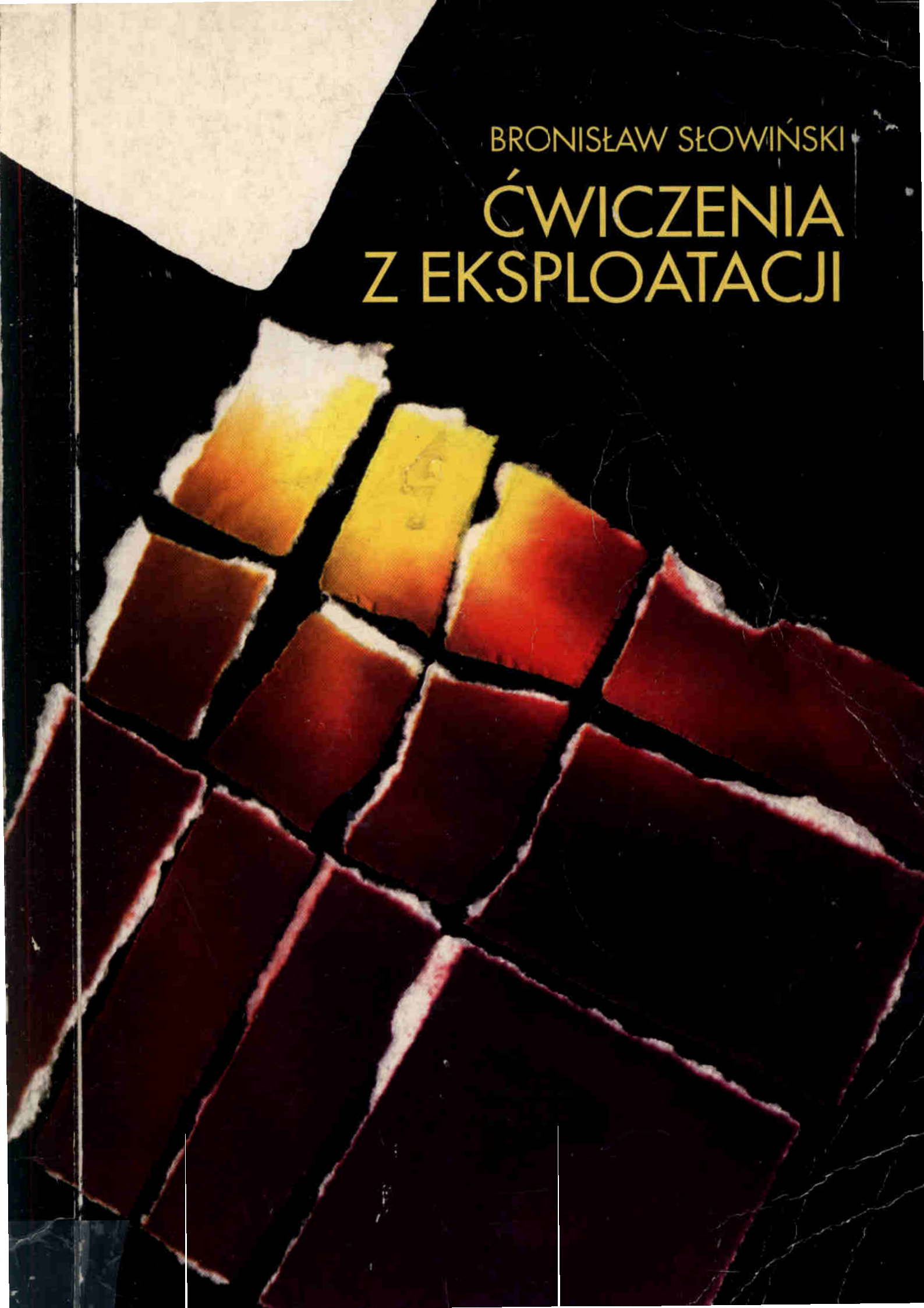
BRONISŁAW SŁOWIŃSKI

ĆWICZENIA Z EKSPLOATACJI



POLITECHNIKA KOSZALIŃSKA

Bronisław SŁOWIŃSKI

ĆWICZENIA Z EKSPLOATACJI

Koszalin 1998

SKRYPT WYDZIAŁU MECHANICZNEGO DO PRZEDMIOTÓW:
PODSTAWY EKSPLOATACJI, JAKOŚĆ

ISBN 83-86123-17-6

Przewodniczący Uczelnianej Rady Wydawniczej
Szymon Pałkowski

Opiniodawca
Joachim Potrykus

Redaktor
Jerzy Ignaciuk

Projekt okładki
Tadeusz Walczak

Skład
Krzysztof Maciejewski

Wydano za zgodą Rektora Politechniki Koszalińskiej

WYDAWNICTWO UCZELNIANE POLITECHNIKI KOSZALIŃSKIEJ
75–620 Koszalin, ul. Racławicka 15–17

Koszalin 1998, wyd. II, ark. wyd. 12,34, format B–5, nakład 400 egz.
Druk: Wydawnictwo **FENIKS** Koszalin

Spis treści

str.

PRZEDMOWA 5

WPROWADZENIE W PROBLEMATYKĘ EKSPLOATACJI 9

EKSPLOATACJA JAKO SYSTEM 21

PODEJMOWANIE DECYZJI 32

WPROWADZENIE W PROBLEMATYKĘ JAKOŚCI 44

1. Jakość - od filozofii do gospodarki 44
2. Kształtowanie jakości obiektów technicznych 46
3. Jakość według norm ISO 9000 55
4. Jakość jako miara zgodności 58
5. Wybór i podział cech określających jakość 59
6. Ocena cech estetycznych 62
7. Metodologia oceny jakości obiektów technicznych 65
   Ilościowa ocena jakości 66
   Metody oceny jakości 67
   Przykład analizy jakości wg uśrednionych znamion jakości 73

LITERATURA 76

Ćwiczenie 1. WYZNACZANIE WSPÓŁCZYNNIKÓW WAŻNOŚCI KRYTERIÓW JAKOŚCI 78

Ćwiczenie 2. OCENA JAKOŚCI WYROBU NA PODSTAWIE CECH NIEMIERZALNYCH 84

Ćwiczenie 3. OCENA WARTOŚCI UŻYTKOWEJ WYROBU 89

Ćwiczenie 4. BADANIE JAKOŚCI WYKONANIA WYROBÓW TECHNICZNYCH 98

Ćwiczenie 5. PROGNOZOWANIE JAKOŚCI EKSPLOATACYJNEJ WYROBÓW 108

Ćwiczenie 6. ZASTOSOWANIE ANALIZY STATYSTYCZNEJ W STEROWANIU JAKOŚCIĄ WYKONANIA 116

Ćwiczenie 7. USTALANIE LICZNOŚCI PRÓBKI PRZY WYRYWKOWYCH BADANIACH ODBIORCZYCH 131

Ćwiczenie 8. WYZNACZANIE WPŁYWU STRUKTURY OBIEKTU NA JEGO NIEZAWODNOŚĆ 141

Ćwiczenie 9. PLANOWANIE OPTYMALNEGO RUCHU TRANSPORTU 152

Ćwiczenie 10. EFEKTYWNOŚĆ EKONOMICZNA EKSPLOATACJI SYSTEMÓW TECHNICZNYCH 164

Ćwiczenie 11. OPTYMALIZACJA WŁAŚCIWOŚCI RUCHOWYCH SAMOCHODÓW 175

Ćwiczenie 12. OPTYMALIZACJA PRZYDZIAŁU PRAC DO OBRABIAREK 188

Ćwiczenie 13. PLANOWANIE EKSPERYMENTU W BADANIACH EKSPLOATACYJNYCH 202

Ćwiczenie 14. ROZWIĄZYWANIE PROBLEMÓW EKSPLOATACYJNYCH PRZY POMOCY METOD PROGRAMOWANIA LINIOWEGO 214

Ćwiczenie 15. ZASTOSOWANIE TEORII GIER DO PODEJMOWANIA DECYZJI EKSPLOATACYJNYCH 221

Ćwiczenie 16. PROGNOZOWANIE OCZEKIWANEJ TRWAŁOŚCI NARZĘDZI SKRAWAJĄCYCH 232

Ćwiczenie 17. ZASTOSOWANIE MODELI OBSŁUGI MASOWEJ DO WYZNACZANIA ZAPOTRZEBOWANIA NA CZĘŚCI ZAMIENNE I MATERIAŁY EKSPLOATACYJNE 242

Ćwiczenie 18. DIAGNOSTYKA WIBROAKUSTYCZNA MASZYN I URZĄDZEŃ PRZYRZĄDEM DIAGNOTEST V-32 256

"Eksploatacja środków technicznych jest nieuchronnym doświadczeniem."
Janusz Dietrych

PRZEDMOWA

Skrypt "Ćwiczenia z eksploatacji" przeznaczony jest dla studentów Wydziału Mechanicznego Politechniki Koszalińskiej odbywających ćwiczenia w ramach przedmiotu: "Jakość" i "Podstawy eksploatacji". Został opracowany z punktu widzenia potrzeb studentów kierunku budowa maszyn.

Zawiera 6 ćwiczeń dotyczących jakości, 11 ćwiczeń dotyczących zbierania informacji eksploatacyjnych lub użytkowania różnych wyrobów i urządzeń technicznych oraz 1 ćwiczenie z diagnostyki technicznej.

Zaproponowany zestaw ćwiczeń ma na celu raczej ułatwienie zrozumienia znaczenia zasad ogólnych, niż wskazywanie rozwiązań konkretnych faktów, raczej budowę świadomości eksploatacyjnej niż próbę wyliczenia wszystkich możliwych wariantów sytuacji eksploatacyjnych. "Ważne jest bowiem - jak pisał Nietzche - nie to co jest prawdziwe, ale to co ułatwia życie". Sądzę, że to piękne zdanie może być mottem przewodnim do zamieszczonego zestawu ćwiczeń.

Co to jest życie? Życie to ruch, a ruch to zmiany w czasoprzestrzeni. Zmiany te mogą być tym większe im większy jest pęd. Jeżeli nie ma zmian w czasie lub przestrzeni, oznacza to że istniejący "byt" nie ma już życia.

W skrypcie niejednokrotnie zbliżam się do problematyki filozoficzno-egzystencjalnej. Jeżeli jednak próbuję dawać "rady" dotyczące zagadnień długości, jakości i kresu "życia" dowolnego "bytu" - jest to nieuniknione. Przesłanką do takiego podejścia jest również świadomość, iż udzielanie rad bez podania głębszego zrozumienia ma znikomą wartość, bowiem każdy człowiek musi wykonywać swoje zadanie sam i poprzez własne doświadczenie dochodzić do wyższej świadomości, która pozwala mu przekraczać lub "wyrastać" z trudności. Jednocześnie, jak podaje James F. T: Bugenthal, "każde zdanie, które mówimy o świecie zewnętrznym, jest niezmiennie

i nieuchronnie zdaniem mówiącym o naszym widzeniu siebie (o swoim wnętrzu)".
Poszczególne ćwiczenia pomyślane są w ten sposób, aby odzwierciedlały rzeczywisty problem eksploatacyjny, zadany określonymi danymi wyjściowymi. Tego rodzaju ćwiczenia, oprócz czysto szkolnego charakteru (zakładanie dowolnych danych wyjściowych bez doświadczenia - "a priori"), wymagają od Czytelnika, aby postawił się w sytuacjach, jakie napotykają w życiu: konstruktorzy, technolodzy, kontrolerzy, inżynierowie kierujący produkcją czy też inni użytkownicy maszyn lub urządzeń technicznych.

Problematyka eksploatacji urządzeń technicznych obejmuje wszystko, co człowiek organizuje i wytwarza, a co ma służyć do zaspokojenia potrzeb: zaczynając od chwili podjęcia decyzji o tym, że takie urządzenie ma być zbudowane, a kończąc na decyzji o jego likwidacji. Eksploatacja jest to więc ciąg stanów technicznych urządzenia od projektu do jego likwidacji, dokładniej mówiąc: jest to ciąg informacji o takich stanach. Opisując te stany techniczne, eksploatacja ujmuje stosunek użytkownika (czyli podmiotu) do urządzenia użytkowanego w celu zrealizowania określonego zadania. Użytkowanie - rozumiane jest przy tym jako - stosowanie obiektu technicznego w celu uzyskania korzyści materialnych (stosowanie obiektu technicznego przez jego ekspozycję dla podniesienia prestiżu nie stanowi uzyskiwania korzyści materialnych - np. komputer służący tylko jako dekoracja). W tym kontekście, nauka o eksploatacji daje zrozumienie relacji zachodzących pomiędzy głównymi elementami systemu użytkowania: człowiekiem, środkiem technicznym i potrzebą - realizowaną przy pomocy tego środka.

Dla zrealizowania zadania zmierzającego do zaspokojenia określonej potrzeby, musi być oczywiście podjęte, uruchomione i dokonane odpowiednie działanie. Świadomymi sprawcami wszelkich działań są zawsze ludzie, dotyczy to również eksploatacji urządzeń i systemów technicznych. Ludzie zaś działają w taki sposób, jaki w drodze myślenia uznali za najbardziej racjonalny - **jaką mają filozofię pożytku**? Uczestnicy działań eksploatacyjnych podejmują zatem decyzję posługując się pewnymi schematami myślowymi (modelami). Od decyzji, zrealizowanej w sferze myślowej, rozpoczyna się każdy

akt działania czynnego. Wzrastająca złożoność systemów eksploatacyjnych sprawia, że człowiek wielokrotnie musi podejmować decyzję eksploatacyjną przy niepełnej informacji. Upraszcza więc myślowo (modelowo) te systemy, godząc się na pewne straty, wynikające z nieekonomicznego wykorzystania środka technicznego. Po uzyskaniu doświadczenia (dopływie informacji do systemu) model decyzyjny jest stopniowo rozwijany - stosownie do potrzeb. Tylko rzeczywista potrzeba stanowi bowiem źródło aktywności ludzkiej we wszelkim poznawaniu świata i jego przekształcaniu według swoich potrzeb.

Z powodu wielkiej złożoności problematyki eksploatacji "doświadczanie jej", winno się również zaczynać od modeli względnie prostych. Poznawszy, z ich pomocą, główne kierunki postępowania, główne cechy metod rozwiązywania problemu, można następnie je precyzować, doskonalić, czy też wchodzić głębiej w tę złożoną problematykę.

W skrypcie starano się przestrzegać jednej zasady, "że doświadczenie własne człowieka jest miernikiem poznania, ponieważ jeśli niczego nie doświadczy niczego nie wie". Z tego względu założono, iż ważna jest określona metoda postępowania, a nie określony fakt doświadczalny. Dana metoda winna być natomiast indywidualnie doświadczana przez każdego studenta. Nośnikami wiedzy eksploatacyjnej są takie nauki jak: trybologia, diagnostyka techniczna, teoria odnowy i niezawodności oraz teoria podejmowania decyzji. Poszczególne ćwiczenia dotyczą więc określonych zagadnień z tych nauk.

W praktyce eksploatacyjnej ważną rolę odgrywają metody statystyczne, które zaliczyć można do podstawowych narzędzi badawczych w tej dziedzinie. Probabilistyczny charakter procesów eksploatacyjnych obiektów technicznych z natury rzeczy wymaga, przy ich opisie, stosowania metod opartych na teorii prawdopodobieństwa. Metody te starano się jednak zaprezentować w przystępnej formie, rezygnując z podawania metod bardziej złożonych lub wymagających dłuższego opisu. Szerszy ich opis, zwłaszcza w odniesieniu do obróbki danych eksploatacyjnych i prognozowania niezawodności, podano w skrypcie autora pt: "Podstawy badań i oceny niezawodności

obiektów technicznych", wydanym w 1992 r. przez WSInż. Koszalin. Niniejszy skrypt jest bowiem rozszerzeniem tamtego w zakresie ćwiczeniowym.

W skrypcie dokonano szerszego wprowadzenia ogólnego w zagadnienie jakości obiektów technicznych (od strony pojęciowej i metod jej oceny). Ponieważ termin "jakość", w swoim podstawowym znaczeniu, oznacza "przydatność użytkową", a więc jest najściślej związany z użytkowaniem obiektów technicznych, autor z konieczności zmuszony był do szerszego opisu tego pojęcia, niż wymagałoby krótkie wprowadzenie w temat określonego ćwiczenia z jakości. Zostało to zatem dokonane w ogólnym wprowadzeniu do ćwiczeń. Z tego też tytułu, wprowadzenia do ćwiczeń z jakości (od 1 do 6) stały się bardziej oszczędne. Szerszy opis problemu eksploatacyjnego, zwłaszcza w sposobie jego rozwiązania, podano natomiast przy pozostałych ćwiczeniach, dotyczących różnych form użytkowania obiektów technicznych. Ćwiczeniami tymi starano się objąć główne zadania, które powinny towarzyszyć racjonalnej działalności człowieka w systemie eksploatacji. Zadania te nie są technicznie łatwe, natomiast ich znaczenie gospodarcze jest duże. Dlatego też, autor uważał za stosowne zebranie, lub opracowanie zadań - sytuacji eksploatacyjnych - pokazujących pewne kierunki myślowe przy realizacji określonych celów działania systemu eksploatacyjnego. Kierowanie eksploatacją realizowane jest bowiem w sferze niematerialnej - w sferze świadomości człowieka. Zaś ***nowe jakościowo czyny wymagają nowych jakościowo myśli***, czego sobie i wszystkim Szanownym Czytelnikom życzę.

Z tego miejsca autor, biorąc na siebie wszelkie błędy, niedopatrzenia oraz uproszczenia wynikające ze "skrótów myślowych", chciałby bardzo serdecznie podziękować Opiniodawcy skryptu Panu doktorowi habilitowanemu Joachimowi Potrykusowi - profesorowi Politechniki Wrocławskiej - za bardzo wnikliwą pracę nad tekstem skryptu i konstruktywną "pracę" nad autorem.

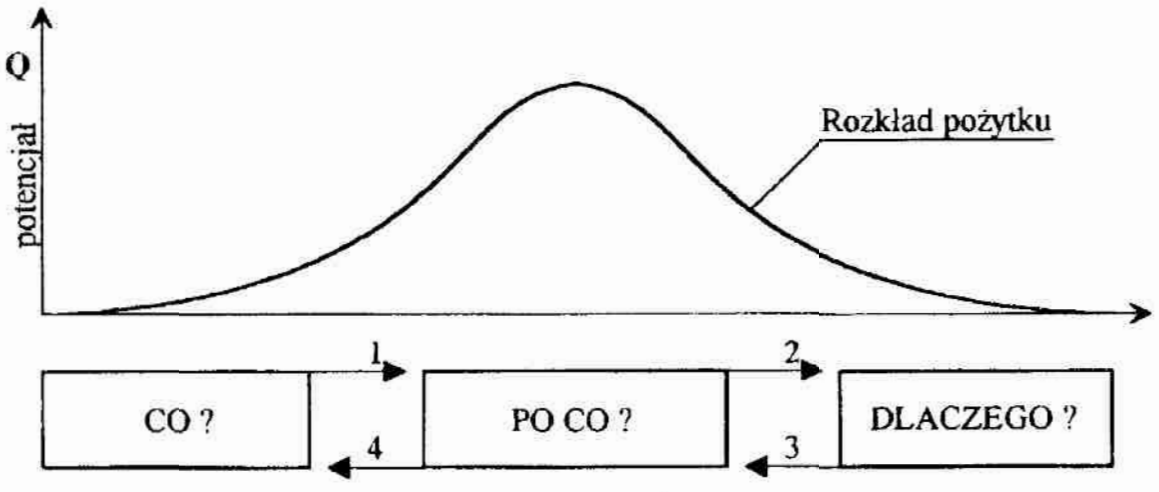
Autor

WPROWADZENIE W PROBLEMATYKĘ EKSPLOATACJI

Do podstawowych form działalności człowieka należy użytkowanie różnych obiektów, w celu zrealizowania swoich potrzeb: materialnych, kulturalnych lub duchowych. Potrzeby zrodziły złożoność, złożoność zrodziła skuteczność, ale skuteczność niekoniecznie stwarza sens użyteczności. Może również stworzyć bezsens np. wykorzystanie pierwiastków promieniotwórczych w konstrukcji bomby atomowej.

Aby dotrzeć do sensu i uniknąć bezsensu, potrzebny jest nowy nieodzowny element - świadoma, aktywna decyzja człowieka. To człowiek powinien nadawać sens użytkowaniu (eksploatacji) materialnego obiektu.

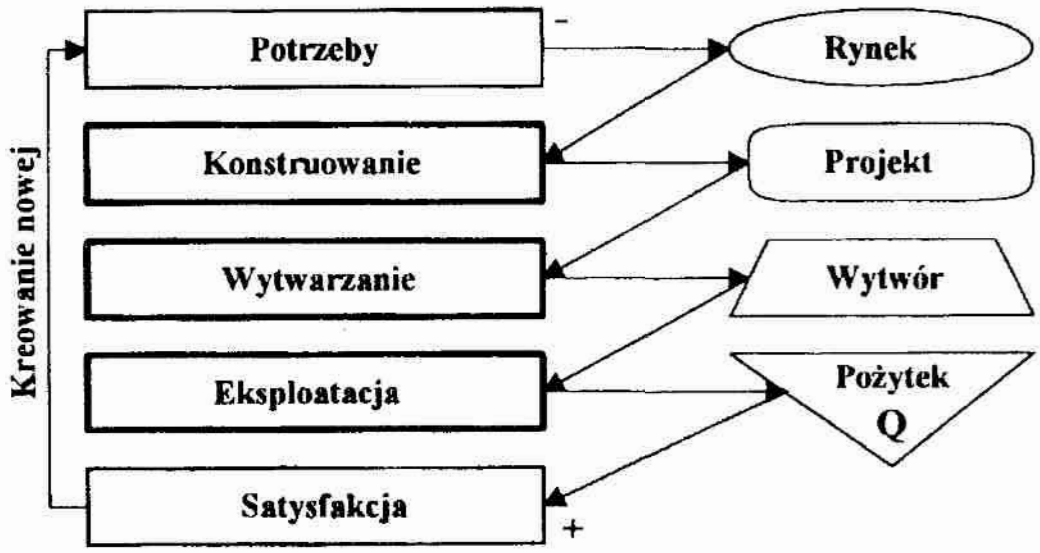
Kiedy chcemy zrozumieć sens jakiegokolwiek postępowania lub sprawdzić czy taki sens w ogóle istnieje, zadajmy najpierw pytanie CO?, aby określić, zdefiniować i wyodrębnić cel jakiegoś działania. Następnie zadajmy pytanie PO CO? - jaki jest właściwie pożytek naszego działania, aż wreszcie pytanie najtrudniejsze DLACZEGO? czyli: jakie jest uzasadnienie, racja naszego działania i jego celu lub celów. To pytanie jest rzeczywiście najtrudniejsze, gdyż bardzo rzadko zastanawiamy się nad takimi właśnie głębokimi uzasadnieniami naszych działań, a jeszcze rzadziej dokonujemy próby powiększenia skuteczności działań przez sprzężenie zwrotne (kroki 3 i 4) - rys. 1.



Rys. 1. Podstawowe pytania sensu każdego działania

O "sile" (potencjale Q) wpływu każdego z tych pytań na pożytek naszego działania decyduje (zgodnie z rozkładem normalnym) środkowe pytanie: PO CO TO ROBISZ? Jest to więc "energetyczny wspornik" każdego działania. Rolą rozumnego człowieka jest tylko go odnaleźć.

Jeżeli nie wiesz: po co to robisz? - to lepiej tego nie rób, bo zamiast sensu działania (pożytku) otrzymasz tylko bezsens. Najczęściej decyzje o działaniu podejmujemy pod wpływem innych ludzi, niezbyt świadomie, bez zadawania pytań "niewygodnych". A przecież właśnie te pytania "niewygodne" są najcenniejsze, najbardziej wpływają na to co robimy, mogą przekształcić całą strukturę naszych celów i działań. Bądźmy więc refleksyjni i dociekliwi przed przystąpieniem do realizacji jakiegokolwiek poważniejszego działania lub przedsięwzięcia.
Jako przykład takiego uzasadnienia "po co", nie zawsze dobrze rozumianego w działaniach technicznych, niech posłuży myśl, że "produkujemy coś nie po to aby to istniało, ale po to, aby to coś użytkować - eksploatować". Aby skutecznie to robić, trzeba mieć odpowiednią wiedzę: jak to robić? Potrzeba nauki o eksploatacji istnieje tam, gdzie istnieje duża złożoność samego obiektu lub złożoność sytuacji eksploatacyjnej. Skuteczność eksploatacji - to stopień jej przystosowania do wykonania zadania wynikającego z danej potrzeby.
Pomiędzy wyartykułowaniem potrzeby przez człowieka (początkiem procesu zdarzeń), a zaspokojeniem tej potrzeby (satysfakcją) występują określone etapy organizacyjne procesu realizacji: konstruowanie, wytwarzanie i eksploatacja - rys. 2.



Rys. 2. Organizacja procesu zaspokajania potrzeb ludzkich

Potrzeby człowieka ciągle rosną, nie są jednak monotonną powtórką, gdyż stale ma miejsce powstawanie nowych obiektów. Są one wynikiem twórczych poszukiwań człowieka i stanowią ogniwo w łańcuchu ewolucji. Ewolucja wyznacza historię postępu ("życia") każdego obiektu, związaną z rozwojem jego jakości. Jakości nie można osiągnąć raz na zawsze, bowiem jakość opisuje ruch, a istotą ruchu jest ciągła zmiana. Ciągłe więc jest jej poszukiwanie. Można śmiało powiedzieć, że na obecnym etapie rozwoju techniki nie istnieje możliwość dotarcia do ostatecznych granic jakości, bowiem nie istnieje możliwość dotarcia do ostatecznych granic "organizacji" konstrukcji, przenoszącej się na coraz to wyższy poziom swojej złożoności.

Ewolucyjnym celem "życia" każdego bytu jest zbieranie doświadczeń.

Doświadczenie polega na znajomości skutków spowodowanych określonymi przyczynami. *Zbieranie doświadczeń jest koniecznością, ale od nas zależy w jaki sposób będziemy te doświadczenia zdobywać.* Naturalny postęp, związany z realizacją potrzeb, nie przebiega w linii prostej, ponieważ oznaczałoby to nie kończący się bieg tych samych doświadczeń (zabezpieczeniem na to w "konstrukcji" Wszechświata jest przypadek). Droga rozwijającego się "życia" ma więc charakter spirali, prowadzącej nieustannie naprzód i wzwyż. Każdy krąg spirali jest cyklem (zmiany ilościowe), a każdy cykl przechodzi w następny cykl (zmiana jakościowa), gdyż kręgi spirali ciągną się w nieskończoność. Każda zmiana jakościowa jest zatem wynikiem zamykającego się cyklu zmian ilościowych - co oznacza, że "ilość przechodzi w jakość". Tak więc, dla każdego obiektu przynależna jest określona spirala jakości, opisująca jego rozwój ilościowy i jakościowy.

Obiekty techniczne podlegają też ciągłym, degresywnym zmianom jakościowym. Kierunek ich jest określony II zasadą termodynamiki, wskazującą, że uporządkowanie systemu - a systemami są wszak wszystkie obiekty techniczne - nie jest trwałe, tzn. system wykazuje tendencje do samorzutnego tracenia uporządkowania nadawanego mu w trakcie budowy. Tendencja ta występuje przy równoczesnym oddziaływaniu wielu czynników dezorganizujących i nie jest możliwe jednoczesne uwzględnianie ich wpływu. Sprawia to, że

zachodzący w obiekcie niekończący się proces destrukcyjny jest nieregularny - losowy, jego skutki są zaś nieoczekiwane.

Drugi proces towarzyszący "życiu" obiektów (a zwłaszcza maszyn i urządzeń technicznych) to proces sterowania, najogólniej rozumiany jako następujące po sobie świadome akty woli w stosunku do obiektu. Podstawę procesu sterowania stanowi znajomość (lub domniemanie) cech obiektu, istotnych przy decydowaniu o przedsięwzięciach w stosunku do niego. Ogół wewnętrznych cech obiektu w jakiejś chwili t nazywa się stanem (technicznym).

Trzeci proces niezbędny do "życia" obiektu to proces jego zasilania w paliwo podtrzymujące proces wymiany energii. Każdy użytkowany obiekt jest miejscem wymiany energii, która dochodzi do niego pod różnymi postaciami. Do przetwarzania tej energii przystosowana jest odpowiednio struktura tego obiektu. W przeciwieństwie do cząstek (elementów) obiektu, sam obiekt nie jest identyczny z sumą elementów składających się na niego, lecz z całym zbiorem skoordynowanych funkcji, które dokonują tego przetwarzania energii (pojedyncze elementy np. układu hamulcowego w samochodzie nie mogą przetworzyć energii kinetycznej na energię cieplną - mają natomiast taką możliwość, jeżeli tworzą pewną strukturę (układ hamulcowy). Jeżeli wymiana energii z otoczeniem ustaje (np. zabrakło płynu hamulcowego w układzie), obiekt schodzi z wyższego poziomu organizacji materii (poziomu przydatności) i staje się tylko zbiorem bezwładnych cząstek (elementów), przemieszczających ten układ na poziom nieprzydatności. Z tego punktu widzenia,

przydatnością ("życiem") obiektu można nazwać taki stan organizacji materii, w jakim cząstki (elementy) normalnie nieruchome i niezależne wchodzą w stan zbiorczy, który pozwala sterować ich działaniem i dokonywać wymiany energii z otoczeniem.

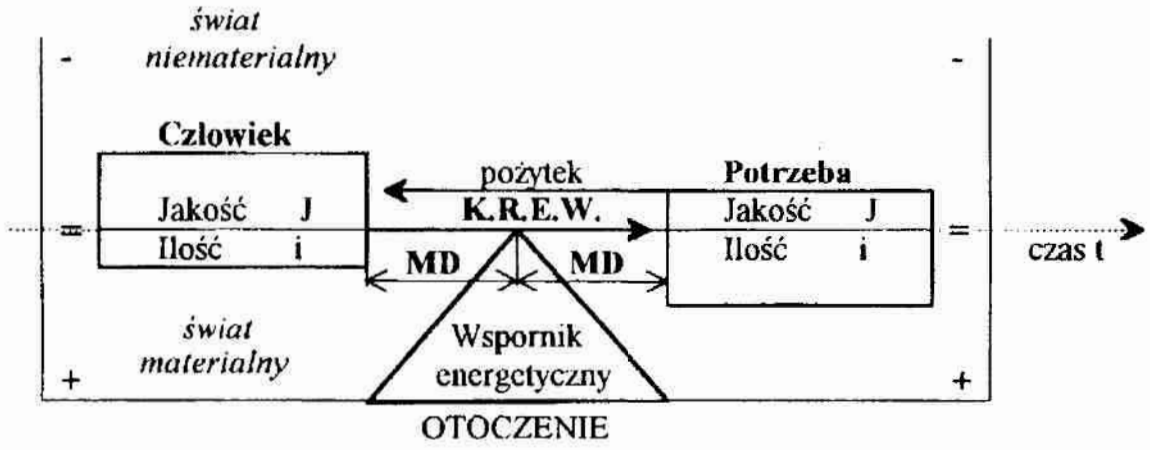
Linię "życia " obiektu technicznego wyznacza więc okres jego przebywania w stanie przydatności do użycia. Obiekt może utracić swoje "życie" w wyniku uszkodzenia katastroficznego (np. pęknięcie, złamanie itp.), zmian parametrycznych (starzenie się elementów), lub nawet w wyniku długotrwałej bezczynności (zużycie "moralne"). W każdym z tych

przypadków obiekt nie jest już w stanie zaspokoić naszych potrzeb - nie ma z niego pożytku.

Obiekt techniczny stanowi materialny środek zaspokojenia potrzeb ludzkich. W otaczającym nas świecie możemy obserwować różne obiekty. W skrypcie, pojęcia tego używam w szerokim znaczeniu, a więc obiektami są na przykład: konkretna budowla, konkretne narzędzie, określony samochód, obrabiarka, człowiek czy roślina.

W ciągu swego istnienia człowiek stworzył wiele obiektów, które ułatwiają mu życie, ale też i niejeden obiekt, który mu to życie utrudnia. Szczególnie można to odnosić do naszych czasów, w których cała wiedza techniczna podwaja się co dwa lata i tworzy wiele obiektów służących nie zaspokajaniu potrzeb, ale ich kreowaniu. Ponadto, dylematem naszych czasów jest to, że człowiek musi się przystosowywać do obiektu, ponieważ podstawa jego rozwoju - konstrukcja, posuwa się szybciej naprzód, niż ewolucja - podstawa rozwoju człowieka.

Dla zrealizowania zadania, zmierzającego do zaspokojenia określonej potrzeby (która wyprowadza układ działania ze stanu równowagi), musi być więc podjęte, uruchomione i dokonane odpowiednie działanie, przywracające ten poprzedni stan równowagi. Każde zaś działanie uwarunkowane jest tym, że zachodzi w czasie, przestrzeni (otoczeniu) i wymaga określonego wydatkowania energii od człowieka do potrzeby przez pośrednika w działaniu - środek techniczny (maszyna narzędzie itp.). Środek techniczny "wspiera zatem człowieka w potrzebie" - jest "wspornikiem energetycznym" - przetwarzającym energię w działaniu. Im bardziej sprawny energetycznie jest pośrednik - im jest jakościowo lepszy - tym szybciej może być zrealizowana dana potrzeba (pragnienie, cel działania). Zrealizowanie danego celu działania - sukces (+) jest "śmiercią" potrzeby - jej porażką (-), wymaga jednak przepływu płynu fizjologicznego - ożywiającego ten układ - rys. 3.



Rys. 3. Schemat elementów układu działania

Układ ten utworzył pewną dźwignię dwustronną. Aby zrealizować potrzebę, trzeba przesunąć środek techniczny w kierunku do potrzeby (zmniejszając tym samym ramię MD działania jej "siły") Cała "technika" skutecznego działania polega więc na tym, jak zmienić długości ramion MD: - myślenia i działania (od strony człowieka) na materialny dobrobyt (od strony potrzeby), korzystając z posiadanych "energetycznych" katalizatorów swojego dobra: kapitałów K, rezerw ludzkich R, entuzjazmu E, wiedzy W. Potrzebny jest też pewien czas t - aby mógł odbyć się ten proces wymiany.

"Dajcie mi punkt podparcia - powiedział Archimedes wyjaśniając zasadę działania dźwigni - a podniosę ziemię." Niestety, w wielu przypadkach ludzie nie znajdują właściwego pośrednika w działaniu: nie przekopuj ogródka spychaczem kiedy wystarczy do tego łopata, nie używaj komputera do obliczenia tego, ile jest 2×2. Wszystko wymaga bowiem właściwego sobie wspornika energetycznego - "złotego" środka. Tylko bowiem "złoty" środek pozwala skutecznie dokonywać zamiany ramion MD: Myślenia i Działania na Materialny Dobrobyt.

Z upływem czasu, zmieniają się te potrzeby, zmieniają się też i obiekty, pozostaje jednak niezmienna zasada ich użytkowania: zrealizować swoją potrzebę (osiągnąć zamierzony cel) przy możliwie najmniejszym nakładzie pracy własnej -

zasada minimum energii.

Zasoby energii, którą dysponuje każdy obiekt są bowiem skończone, prędzej czy później ulegają wyczerpaniu i następuje kres życia obiektu. Jest to pisane wszystkim obiektom niezależnie od tego, czy będzie to wytwór przyrody, człowieka, czy też sam człowiek. W odniesieniu do urządzeń technicznych, energię tę nazywamy: zasobem pracy użytecznej, potencjałem eksploatacyjnym względnie też resursem. Każdy zatem obiekt techniczny dysponuje określonym zasobem pracy użytecznej, który ulega wyczerpaniu po pewnym okresie jego użytkowania - okresie trwałości T tego obiektu. Zasób ten może być przywrócony - jeżeli jest to obiekt odnawialny, np. samochód, lub wyczerpany bezpowrotnie - jeżeli jest to obiekt nieodnawialny np. żarówka.

Każdy obiekt w ustalonej chwili posiada pewne właściwości, które nazywamy jego cechami. Zauważmy, że cechy obiektów można podzielić na dwie grupy - cechy mierzalne (waga, moc, rozmiary) i cechy niemierzalne (piękno, stopień przydatności do jakiegoś celu itp.). Cechy pierwszej grupy nazywamy cechami ilościowymi, cechy drugiej grupy nazywamy cechami jakościowymi. Określony zespół cech jakościowych (lub wartości przyjmowane przez cechy ilościowe) decydują o zaliczeniu danego obiektu do grupy obiektów, którym przysługuje wspólna nazwa np.: tokarka, frezarka, samochód osobowy, ciężarowy, I gatunek, II gatunek itp. Obiekty zmieniają się w czasie, to znaczy, w miarę upływu czasu mogą się zmieniać cechy jakościowe i wartości cech ilościowych (np.: kolor karoserii, masa ściernicy, ostrość noża). Pewne zmiany cech powodować mogą przetworzenie się danego obiektu w obiekt należący do grupy o innej nazwie (np.: przydatny w nieprzydatny, niezawodny w zawodny itp.). Zmiany zachodzące w obiektach mogą dokonywać się pod wpływem innych oddziaływujących na nie obiektów (np. zmiana ostrości noża tokarskiego) i mogą być przez człowieka spowodowane (np. proces obróbki toczeniem), tylko obserwowalne lub mogą zachodzić bez jakiegokolwiek udziału człowieka. *Każdy z możliwych stanów obiektu, zaobserwowanych w wyniku pewnego badania (doświadczenia), przyjęto nazywać zdarzeniem.*

Wiele praw różnych nauk opartych jest na wynikach doświadczeń (prawo - jest to pojęcie językowe, opisujące

pewną prawidłowość). Prawa te mają zazwyczaj następującą postać: "Ilekroć zaistnieje zespół warunków W pojawi się zdarzenie Z". Często jednak, po zaistnieniu warunków W, nie pojawia się zdarzenie Z. Mówimy wówczas, że mamy do czynienia ze zdarzeniem losowym. Stwierdzenie, że dane zdarzenie jest zdarzeniem losowym zawiera jednak mało informacji - potrzebnych do podjęcia decyzji eksploatacyjnej. Fakt ten świadczy jedynie o tym, że wynik nie jest z góry określony, a zespół warunków W nie uwzględnia wszystkich przyczyn wystarczających do wystąpienia zdarzenia Z. Jeśli w czasie prowadzonych badań doświadczenie W powtórzono N razy, natomiast zdarzenie losowe Z wystąpiło n razy, to ułamek n/N nazywać będziemy częstością zdarzenia losowego. Decyzja (gra z losem) polega na tym, aby wybrać jedno z N zdarzeń. Prawdopodobieństwo wybranego zdarzenia zależeć więc będzie od rozkładu częstości zdarzeń losowych. Prawidłowość polegająca na tym, że częstość występowania rozpatrywanego zdarzenia "stabilizuje się", to znaczy: wraz ze wzrostem doświadczeń N nieznacznie tylko odchyla się od pewnej stałej wartości p, pozwala nam tę wartość p przyjmować jako miarę szans pojawienia się zdarzenia Z w warunkach W. Liczba p jest miarą naszej nadziei na zrealizowanie określonej potrzeby (celu działania).

Znajomość prawdopodobieństwa występowania zdarzenia umożliwia formułowanie praw naukowych drugiego rodzaju, tzw. praw statystycznych. Prawa te mają następującą postać: "Prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia Z, w wyniku realizacji warunków W, jest równe p". Prawa statystyczne odgrywają istotną rolę w zdarzeniach eksploatacyjnych, które z natury rzeczy są zdarzeniami przypadkowymi. Pozwalają bowiem przewidzieć - prognozować (z pewnym ryzykiem popełnienia błędu) przyszłe stany badanych obiektów. Dają więc pewną szansę wcześniejszego zapobieżenia niepożądanym stanom tych obiektów przez odpowiednią terapię (odnowę resursu np. paliwowego przez "odwiedziny" na stacji paliw). Są to jedne z najważniejszych celów nauki o eksploatacji.

Przy interpretacji przydatności użytkowej obiektu istotne znaczenie odgrywa więc prawdopodobieństwo i czynnik czasu. Aby dowolny obiekt mógł skutecznie wypełniać swoją rolę, musi być nie tylko zdolny do wykonania przewidzianych zadań,

ale musi go cechować dyspozycyjność, tzn. gotowość do użytku gdy zachodzi potrzeba. Dyspozycyjność ta zależy z kolei od niezawodności obiektu (pewnego prawdopodobieństwa związanego z czasem poprawnej pracy obiektu) oraz od odnawialności, tj. łatwości przywrócenia sprawnego działania, gdy nastąpiło uszkodzenie.

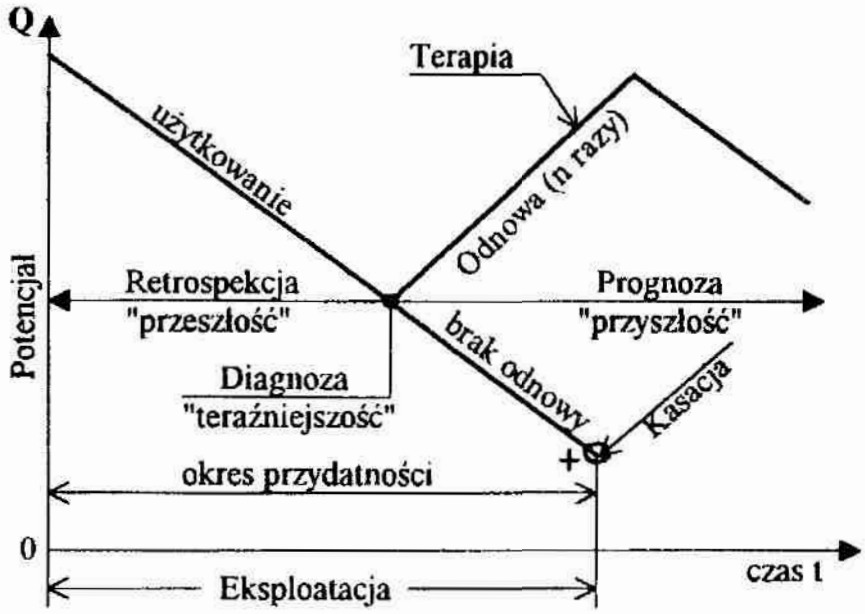
Podstawowym parametrem, weryfikującym każdą ideę i zrodzony z niej czyn (obiekt), jest zatem czas. Na linii czasu pisana jest bowiem "historia życia" każdego obiektu. Jej długość zależy od dobrych i złych stron - właściwości obiektu.

Na każdym obiekcie czas zapisuje swoje piętno w wymiarze historycznym i bieżącym. W wymiarze historycznym, istnieje proces ewolucji a następnie selekcji obiektów. Ich konstrukcja dostosowana jest do istniejących, w danym okresie historycznym, możliwości technicznych wykonania, przy czym ich idea (myśl konstrukcyjna) może znacznie wyprzedzać możliwości wykonawcze i potrzeby człowieka. W wyniku procesu selekcji, dłuższą "historią życia" na osi czasu charakteryzują się tylko te obiekty, których cechy są bardziej dostosowane do zmieniających się potrzeb człowieka (obiekt nie zużywa się "moralnie").

W skali bieżącej czasu, "historia życia" obiektu wyznaczana jest ciągiem zmieniających się jego stanów technicznych. Mozemy powiedzieć więc, że dla danego obiektu czas jest ciągiem jego stanów technicznych lub w sferze informacyjnej - ciągiem stanów naszej świadomości o tym obiekcie. To bowiem, jak będziemy obiekt użytkowali (eksploatacja), zależy od tego, co wiemy o tym obiekcie (diagnoza) i jak te informacje wykorzystamy (terapia).

Stan techniczny obiektu, aktualny w danej chwili, możemy wyznaczyć w wyniku diagnozy technicznej. Chwila - jest jednak tylko chwilą (momentem) i w rzeczywistości stale będziemy mieli do czynienia albo z przeszłością albo z przyszłością na osi czasu - rys. 4.

W stosunku do przeszłości jesteśmy bezradni lecz nad przyszłością mamy władzę - na tyle na ile potrafimy wiązać skutki z przyczynami (prognozę z retrospekcją).



Rys. 4. Powiązanie działań eksploatacyjnych z funkcją czasu

Jaki zatem obiekt jest, możemy powiedzieć tylko na podstawie retrospekcji - czyli spojrzenia w jego przeszłość. Użytkować go jednak chcemy w przyszłości (czasie przyszłym) i dlatego dokonujemy pewnego przewidywania zachowania się obiektu w przyszłości (dokonujemy prognozowania jego stanów technicznych), np.: jeżeli patrzymy, że chleb jest czerstwy, to nie chcemy go kupować bo przewidujemy, że jego "użytkowanie" w przyszłości będzie co najmniej ograniczone.

Na każdym obiekcie uwidaczniają się: stan świadomości jego twórców, na którą nałożone są doświadczenia z poprzednich pokoleń tego obiektu (oddziaływanie ewolucji i selekcji) oraz ślady oddziaływań środowiskowych, w których ten obiekt był użytkowany. Przykładowo: konstrukcja hamulca w samochodzie wygląda tak, jak ją zaprojektował projektant i wykonał wykonawca, oraz jak ten hamulec był obciążany (szczególnie uwidoczni się to na najczulszym elemencie tego obiektu, tj. na okładzinach szczęk hamulcowych). Jaki zatem obiekt jest, w porównaniu do innych obiektów tego samego rodzaju, mówi nam o tym jego przeszłość. Takie porównanie jednego obiektu względem drugiego może być dokonane podczas określonego badania, które nazywa się oceną jakości. Jakość obiektu jest zatem świadectwem jego przeszłości. Przeszłość ta może do nas "przemówić", kiedy będziemy umieli

ją "wysłuchać". Wobec powyższego, jeżeli będziemy chcieli prognozować przyszłe stany techniczne obiektu, a tym samym jego przydatność w określonym czasie - to należy umieć ocenić jego niezawodność działania. Pozwoli to nam użytkować dany obiekt zgodnie z naszymi potrzebami i jego możliwościami.

Projektant, konstruktor i technolog w swoich pracach, coraz to częściej, obok wielu wymagań, muszą więc dążyć do osiągnięcia założonego poziomu niezawodności. Od nich bowiem zależy, czy skutki uszkodzeń poszczególnych elementów urządzenia zostaną w jakiś sposób skompensowane, czy spotęgowane (z elementów o małej niezawodności można bowiem zbudować urządzenie o bardzo dużej niezawodności i odwrotnie). Z tego też względu, na jeden z pierwszych planów decyzji eksploatacyjnych wysuwają się problemy analizy niezawodnościowej urządzenia i problemy jej badania. Podjęcie badań niezawodności, w naukowej formie, stało się możliwe w ostatnich czasach, dzięki odpowiednio zaawansowanej technice komputerowej. Umożliwia ona bowiem zbieranie, przetwarzanie i analizę wyników badań niezawodnościowych (wytworzyło się bowiem środowisko, w którym dany "byt" może żyć). Wyniki tych badań dotyczą pewnych prawdopodobnych zachowań się obiektu ale w odniesieniu do pewnej populacji. W rzeczywistości bowiem nie poznajemy praw rządzących ściśle "historią życia" pojedynczego obiektu, ale rozpoznajemy przejawy praw rządzących zmianami trwałości w czasie, dotyczącej całej "rodziny" (populacji) tych obiektów. Może tu nasuwać się wątpliwość, że, w odniesieniu do konkretnego obiektu, taka informacja jest mało przydatna - mało pewna. Lepiej jednak kierować się świadomym prawdopodobieństwem określonego zachowania się obiektu niż złudną pewnością, że nic "złego" się nie stanie. Lepiej posługiwać się więc przybliżonym oszacowaniem trwałości, niż dowolnym jej założeniem.

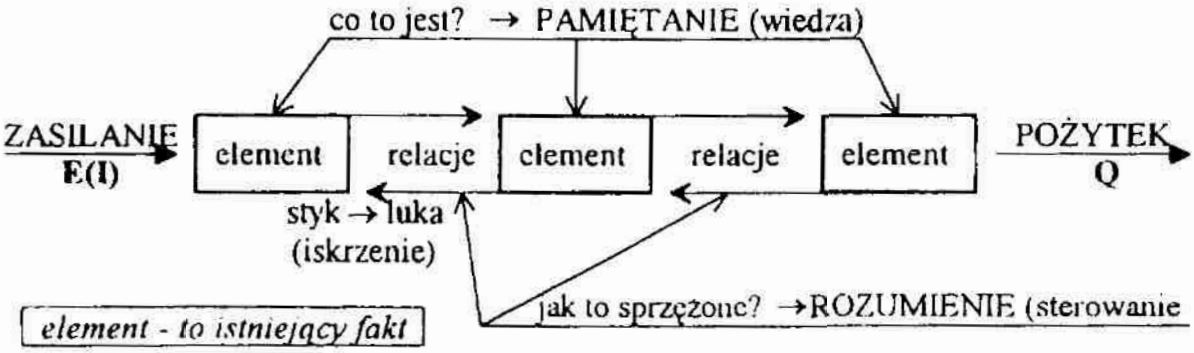
Niezawodność działania, ze względu na realizację celu, jest najbardziej istotną właściwością każdego urządzenia technicznego, a zarazem cechą najbardziej kosztowną i trudną do osiągnięcia. Nic też dziwnego, że koszty niektórych bardzo złożonych urządzeń technicznych sięgają astronomicznych wprost sum. Na przykład: koszt niektórych samolotów bojowych wraz z wyposażeniem, wyrażony w złocie, przekracza

ich wagę własną. Nie jest więc do nich adekwatne nawet powiedzenie, że są to urządzenia na wagę złota. Poważne różnice występują również w kosztach eksploatacji wywołanych różną niezawodnością urządzeń i wynikającym stąd różnym okresem ich trwałości. Dążeniem użytkownika jest zwykle chęć przedłużenia okresu trwałości - przydatności obiektu do spełniania określonych zadań.

Zbudowanie czegoś trwałego, dążenie do przedłużenia istnienia (poszukiwanie nieśmiertelności), tkwi głęboko w świadomości ludzkiej od zarania dziejów. Człowiek tworzy i kształtuje obiekt tak, aby był on przydatny - "służył mu" jak najdłużej. Osiąga to wtedy, kiedy ma nad nim władzę, tj. jest on mu poddany (jest sterowalny) a człowiek "urabia" go (kształtuje) wg własnej woli. Chcąc zatem, aby obiekt był mu "mocno poddany", musi go uprzednio odpowiednio kształtować swoim intelektem - przekazać mu część swoich myśli (część swoich zasobów energetycznych). Im więcej przekaże tych swoich myśli, im w większym stopniu nawiąże "porozumienie", tym w większym stopniu może oczekiwać, że obiekt będzie odporny na trudności "życia". Ideałem byłoby, aby wytworzony obiekt stał się samosterowalny tzn. aby mógł reagować samodzielnie na te "trudności życia". Jest to, być może, chęć stworzenia cyborga (cybernetycznego organizmu), który miałby swoją świadomość. Nie twierdzę, że jest to niemożliwe aby się nie narazić co najmniej na śmiech - tak jak przykładowo: sir W. Prece (prezes Komisji ds. zastosowań nowych źródeł światła w Brytyjskiej Izbie Gmin) kiedy po wynalezieniu przez T. Edisona, w 1879 r., żarówki z włóknem węglowym oświadczył: "podłączenie domów do prądu to czysta utopia". Dzisiaj te żarówki świecą w każdym prawie domu. Wszystko ma bowiem swój historyczny czas i może przyjdzie czas cyborgów.

EKSPLOATACJA JAKO SYSTEM

Współcześnie o rozwoju gospodarczym i dobrobycie społeczeństwa decydują rozwiązania w zakresie systemów eksploatacji środków technicznych (przykład: ekspansja IBM na rynku komputerów osobistych). Aby coś można było nazwać systemem, musi być możliwe wyróżnienie pewnych elementów (istniejących faktów o określonych własnościach) i sprzężeń (relacji) między nimi, tworzących strukturę tego systemu rys. 5. Do analizy takich układów opracowano specjalną teorię systemów ("ojcem" koncepcji systemowych jest niemiecki uczony Ludwig von Bertalanffy, który jeszcze przed II-gą wojną światową opracował ogólną teorię systemów). Połączenie ze sobą istniejących faktów tworzy nowe właściwości np. pierwiastek - jako element materii - nie ma zapachu, a kwiat zbudowany z tych pierwiastków wabi zapachami.



Rys. 5. Schemat systemu - jako "organizacji" do przetwarzania zasileń w pożytek

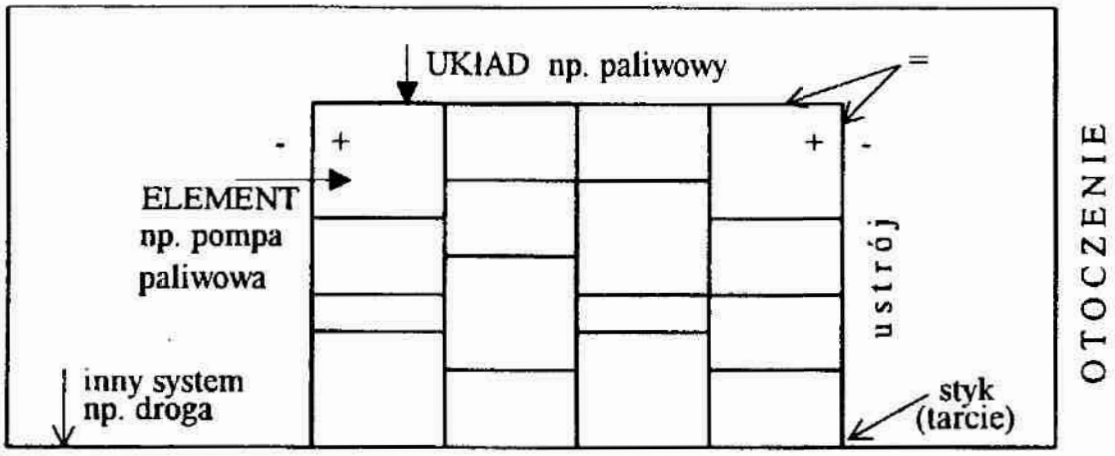
Do systemu - jako pewnej zorganizowanej całości, dopływa z zewnątrz zasilanie (energia **E** lub informacja **I**), które, poprzez ustrój tego systemu, przetwarzane jest na określony pożytek (potencjał **Q**). Poznanie elementów dowolnego systemu (np. technologii jako elementu systemu edukacyjnego) daje tylko PAMIĘTANIE - wiedzę o tym: co to jest? Sama wiedza o elementach systemu nie daje możliwości korzystania z niego. Do tego bowiem potrzebne jest MYŚLENIE SYSTEMOWE - pozwalające ROZUMIEĆ jakie są relacje pomiędzy elementami: jak to sprzężone? (jakie są np. powiązania pomiędzy konstrukcją, technologią i eksploatacją w przykładowym systemie edukacji). Myślisz systemowo, jeżeli potrafisz widzieć rzeczy w ich wzajemnych związkach i relacjach, umiesz

odwołać się do czegoś poza tymi rzeczami, aby określić, jakie one są i robisz to w możliwie najprostszy sposób. Wejść do systemu można tylko poprzez te powiązania - "styki" elementów. Jednocześnie, tylko na "stykach" występuje "iskrzenie", dające impuls do ewentualnych zmian (w organizacji) systemu. *Tylko na "stykach" szukaj więc możliwości zmiany ilości "pożytku" z dowolnego systemu.*
Na szczególne potraktowanie zasługuje system eksploatacyjny, w którego działaniu bierze udział człowiek. Człowiek może odgrywać w systemie rolę elementu działającego - analogicznie do innych urządzeń, ale przede wszystkim istotna jest rola człowieka jako organizatora systemu (członu kierowniczego), wyznaczającego cel i metody działania oraz porządkującego pod tym względem wszystkie elementy wykonawcze, aby optymalizować działanie systemu.

Z pewnością, dobrze jest być młodym, zdrowym i inteligentnym, są to bowiem cechy sprzyjające każdemu działaniu. Skuteczne działanie (optymalne) wymaga jednak coś ponad to. Człowiek jako człon kierowniczy dowolnego systemu musi być: praktycznie myślącym, posiadającym wyobraźnię, elastycznym i zdolnym do szerokiego wiedzenia rzeczy.

Wiele sprawności i umiejętności w rodzaju tych wyżej wymienionych, można w sobie kształtować. Aby działać skutecznie nie można czekać aż jakieś trudne zadania przed nami staną i wtedy myśleć, jak możemy się z nimi uporać. Działanie z wyobraźnią wymaga wcześniejszego przygotowania i rozwinięcia myślenia systemowego, które może się przydać w wielu różnych sytuacjach i rodzajach pracy.

Szczególnymi elementami systemu eksploatacji są wszelkie środki techniczne. Środki te (maszyny, urządzenia, narzędzia itp.) przyczyniają się do realizacji nadrzędnych celów systemu i z tego punktu widzenia muszą być oceniane. Dla działania środka technicznego - jako szczególnego systemu organizacji układów technicznych - istotna jest jedynie współzależność funkcjonalna elementów ze względu na realizację określonego celu (czyli ustrój - organizacja układu), nie ma natomiast bezpośredniego znaczenia powiązanie konstrukcyjne elementów, czy ich rozmieszczenie przestrzenne w układzie - rys. 6.



Rys. 6. Schemat organizacji obiektu technicznego jako systemu

Liczba i rodzaj elementów współpracującym w danym układzie oraz ustrój układu mogą zależeć od realizowanego celu i ulegać zmianie wraz z nim. Zmiany te mogą (i najczęściej są) wywołane przez zmiany w większym systemie (powiązań wszystkiego ze wszystkim). Przykładowo: układ paliwowy może być wyodrębnionym (w procesie dekompozycji) układem technicznym samochodu jako systemu, który jest elementem większego systemu (systemu eksploatacji) oraz kontaktuje się z otoczeniem, które jest elementem innego większego jeszcze systemu (systemu komunikacji) itd.

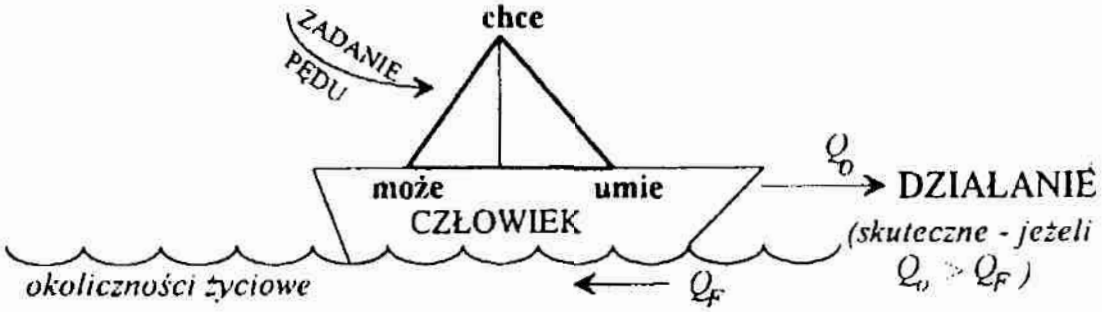
To co jest zawarte w granicach danego systemu, spełnia określony pożytek - jest więc pozytywne (+). Pomiędzy elementami istnieje bliska więź organizacyjna - nastąpiło bowiem "bliskie spotkanie I stopnia. To co jest na granicach styku jednego z drugim (przyjmując na siebie oddziaływania drugiego systemu - podczas "bliskich spotkań II stopnia"), tworzy równowagę (=) więzi organizacyjnej systemu. To co jest na zewnątrz danego systemu - nie jest z nim związane. System nie ma z tego pożytku, a więc występuje polaryzacja na (-).

Jeżeli mniejszy system całkowicie "zanurzy się" w drugim (nastąpi "bliskie spotkanie III stopnia" - np. poprzez zderzenie się systemów), to mniejszy system może utracić całkowicie pożytek ze swej organizacji na potrzeby większego systemu. Staje się wówczas jego częścią (może stać się również "śmieciem" - czyli tym, co nie jest na swoim miejscu - podlegającym unicestwieniu).

Cała "filozofia pożytku" z systemu polega więc na posiadaniu prawa własności do danego systemu. Tylko właściciel (a dokładniej mówiąc: kto steruje) decyduje bowiem o organizacji danego systemu ku swemu pożytkowi, wymuszając określone działania podrzędnych systemów - odpowiednio "karmiąc" je swoim zasilaniem.

Każdy użytkowany (eksploatowany) system pobiera najpierw część zasilania na własne potrzeby (pokonanie tarcia wewnętrznego), a dopiero nadmiar "mocy" zasilania może przetworzyć na pożytek (na słuchanie "poleceń pana" systemu).

Z prakseologicznego punktu widzenia, (prakseologia - nauka sprawnego działania) w systemie eksploatacji można wyróżnić: człowieka - jako operatora, obiekt - jako narzędzie oraz przerabiane tworzywo (zalicza się tu również przerabiane środki zasilania obiektów np.: paliwo, prąd itp.). Pomiędzy tymi elementami systemu istnieją określone sprzężenia informacyjne i następuje wymiana informacji: od obiektu do człowieka i od człowieka do obiektu. W istocie rzeczy sterowanie systemem eksploatacji odbywa się w sferze świadomości człowieka lub, używając terminologii cybernetycznej, w sferze szeroko rozumianej informacji (przy czym, informacje nie są tu rozumiane materialnie lub energetycznie: są to procesy myślowe, które przekazujemy komuś lub je odbieramy). Istotą informacji jest bowiem to, że doprowadzają one odbiorcę (w naszym przypadku obiekt techniczny) do wyboru określonego zachowania się. Chociaż nieraz, w ograniczonym obszarze przestrzeni i czasu, urządzenie techniczne może działać samodzielnie bez człowieka, człowiek pozostaje zawsze podmiotem działania w sterowaniu procesami eksploatacji. Przy tym, jak wiadomo, człowiek działa zależnie od stopnia: w jakim może, umie i chce wykonywać określone zadanie - rys. 7.



Rys. 7. Żagiel "ludzkich mocy" działania

Podstawą (bazą) działań człowieka jest to co on umie i może, a "nadbudową" jest jego wola działania wyrażona słowem "chce". Wola jest to "regulator" energii wewnętrznej człowieka, który faworyzuje jedne dążenia kosztem innych. Dzięki mechanizmowi woli w naszej psychice pojawia się swoisty "efekt żagla" (wyciągnięty słowem chcę ze "zwiniętej mocy" zawartej w słowach: może i umie), podobny do tego, gdy wykorzystujemy nawet słaby wiatr w drodze do celu. Wola wiąże się ściśle z twórczością i planowaniem przyszłości. Pozwala przekraczać istniejące ograniczenia i tworzyć nowe działania, nadając im uporczywość i konsekwencję.

Niedocenianie roli człowieka w systemie eksploatacji, i lekceważenie jego możliwości, umiejętności i woli działania, doprowadzić może do przeciwstawiania człowieka urządzeniom. Właściwa harmonia systemu eksploatacyjnego, zapewniająca mu maksymalną niezawodność i skuteczność działania, zostaje wtedy podcięta na bardzo długi czas. Naprawić bowiem niewłaściwą postawę człowieka jest wielokrotnie trudniej, aniżeli naprawić uszkodzoną maszynę. Użytkując zatem obiekty techniczne (podejmując jakieś działanie) jesteśmy zależni od swojej świadomości - jesteśmy "więźniami własnej wyobraźni": to możemy uzyskać z obiektu, co możemy uzyskać z siebie. Bowiem

Działanie jest to celowe, świadome
i dowolne zachowanie się ludzkie.

Im większa jest zatem świadomość sytuacji u danego użytkownika, tym większe może on uzyskać efekty z zastosowania określonego obiektu.

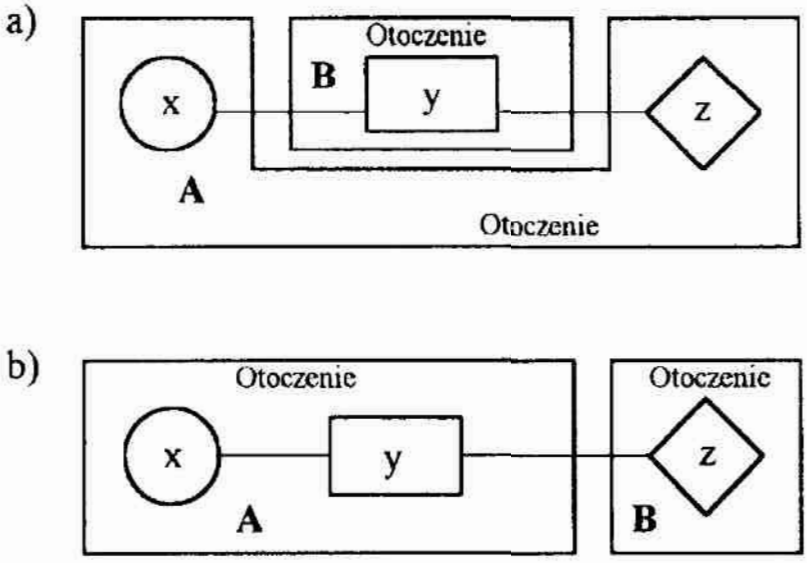
Sytuacja eksploatacyjna jest znana, jeżeli znane są następujące elementy składowe działania:
- sprawca, podmiot, użytkownik (kto?),
- cel działania (po co?),
- przyczyna (dlaczego?),
- wynik (jakie skutki, co osiągnięto?),
- narzędzie, pośrednik, środek (czym?),
- sposób, metoda (w jaki sposób?),
- przedmiot (z czego, na co się oddziaływuje?),
- warunki, otoczenie (w jakich okolicznościach?).

Warunkiem koniecznym (ale nie wystarczającym) realizowania działania eksploatacyjnego jest więc istnienie:

- użytkownika,
- narzędzia,
- przedmiotu,
- otoczenia.

Uporządkowana trójka składowych działania: użytkownika, narzędzia i przedmiotu (człowieka, środka technicznego i potrzeby) tworzą elementarny łańcuch działania. Nie może być więc żadnego działania, jeżeli nie można wyróżnić tych podstawowych elementów układu działania. Rolę sprawcy działania może spełniać tylko człowiek albo grupa ludzi. Pozostałe role w łańcuchu działania mogą spełniać: ludzie, środki techniczne, zwierzęta, rośliny, informacje, materiały, energia, systemy itp.

Jeżeli wyróżniony obiekt, np. pojazd, spełnia w łańcuchu działania rolę środka technicznego <y> - rys. 8a, to takie działanie nazywamy użytkowaniem tego obiektu przez sprawcę <x>, zwanego użytkownikiem.



Rys. 8. Interpretacja układów działania: a - układ użytkowania, b - układ obsługiwania; A - stanowisko działania, B - obiekt działania

Jest to jednocześnie działanie operacyjne przy użyciu tego obiektu na przedmiocie operacyjnym <z>. Mówi się wtedy, że

obiekt jest użytkowany, a łańcuch działania można zapisać w postaci następującej trójki uporządkowanej:

$$Ł_u = <x, p, z> , \qquad (1)$$

gdzie: $Ł_u$ - łańcuch użytkowania,
p - pojazd.

Przykłady łańcuchów użytkowania pojazdu [9]:

	x	y	z
a)	kierowca -	ciężarówka	- materiał budowlany,
b)	kierowca -	taksówka	- pasażer,
c)	kierowca -	autobus PKS	- zbiór pasażerów,
d)	kierowca -	prywatny pojazd	- kierowca.

W przykładzie "d" charakterystyczny jest przypadek, gdy podmiot działania jest zarazem przedmiotem działania, czyli x = z. Ma to oczywiście miejsce wtedy, gdy pasażer jest jednocześnie kierowcą prowadzącym pojazd. Podane przykłady nie wyczerpują wszystkich możliwych łańcuchów użytkowania tego przykładowego pojazdu. Można je mnożyć, wyznaczając kolejne cele działania.

W procesie użytkowania następuje zużycie materiałów eksploatacyjnych, zapewniających zasilanie energetyczne użytkowanego obiektu, a także starzenie jego elementów, co pogarsza właściwości użytkowe tego obiektu bądź uniemożliwia dalsze jego użytkowanie. W celu przywrócenia zdolności użytkowych, obiekt jest obsługiwany. Jest on wtedy przedmiotem działania, a celem jest nadanie wymaganych właściwości - zapewniających dalsze użytkowanie tego obiektu. Mówi się zatem, że obiekt (np. ten przykładowy pojazd) jest obsługiwany, gdy jest przedmiotem działania, a łańcuch obsługiwania można zapisać w postaci następującej trójki uporządkowanej:

$$Ł_o = <x, y, p> , \qquad (2)$$

gdzie: $Ł_o$ - łańcuch użytkowania,
p - pojazd.

Jeśli więc ten wyróżniony pojazd spełnia rolę przedmiotu <z>, to takie działanie nazywamy obsługiwaniem tego obiektu - rys. 8b.

W tym przypadku podmiotem działania może być kierowca - jeśli sam wykonuje daną obsługę, czy też właściwy mechanik stacji obsługi. Pośrednikiem działania - w zależności od wykonywanych czynności - są narzędzia, urządzenia podnośnikowe, dystrybutor paliwa itp.

Przykłady łańcuchów obsługiwania:

x	y	z
a) kierowca	- podnośnik	- pojazd,
b) pracownik CPN	- dystrybutor paliwa	- pojazd,
c) mechanik	- narzędzia	- pojazd.

Ponieważ najczęściej na proces obsługi pojazdu składają się liczne zróżnicowane czynności, dlatego też pośrednikiem działania w łańcuchu obsługiwania będzie w wielu przypadkach cały zestaw urządzeń lub narzędzi, zwanych środkami obsługi. Podobnie też na podmiot działania może w tym przypadku składać się zespół ludzi, np. brygada obsługowo - naprawcza.

Mówi się więc, że pojazd jest eksploatowany wtedy i tylko wtedy, gdy jest użytkowany lub obsługiwany, czyli:

$$Ł_e = Ł_u + Ł_o , \qquad (3)$$

gdzie: $Ł_e$ - łańcuch eksploatacji.

EKSPLOATACJA JEST TO PROCES, KTÓRY ODBYWA SIĘ OD CHWILI WYTWORZENIA OBIEKTU DO CHWILI JEGO LIKWIDACJI (ZŁOMOWANIA) I OBEJMUJE ZARÓWNO JEGO UŻYTKOWANIE JAK I OBSŁUGIWANIE

Z definicji tej wynikają trzy znaczenia pojęcia eksploatacji:
* w znaczeniu pierwszym obiekt jest eksploatowany wtedy, gdy jest użytkowany - wzór (1),
* w znaczeniu drugim obiekt jest eksploatowany wtedy, gdy jest obsługiwany - wzór (2),
* w znaczeniu trzecim obiekt jest eksploatowany wtedy, gdy jest użytkowany i obsługiwany - wzór (3).

Pojęcie "obsługa" jest pojęciem pokrewnym pojęciu "odnowa", ale niesłuszne jest utożsamianie ze sobą tych dwóch pojęć.

W odniesieniu do określonego obiektu odnowa jest celem działania (co zrobić?), a obsługa jest sposobem działania (jak to

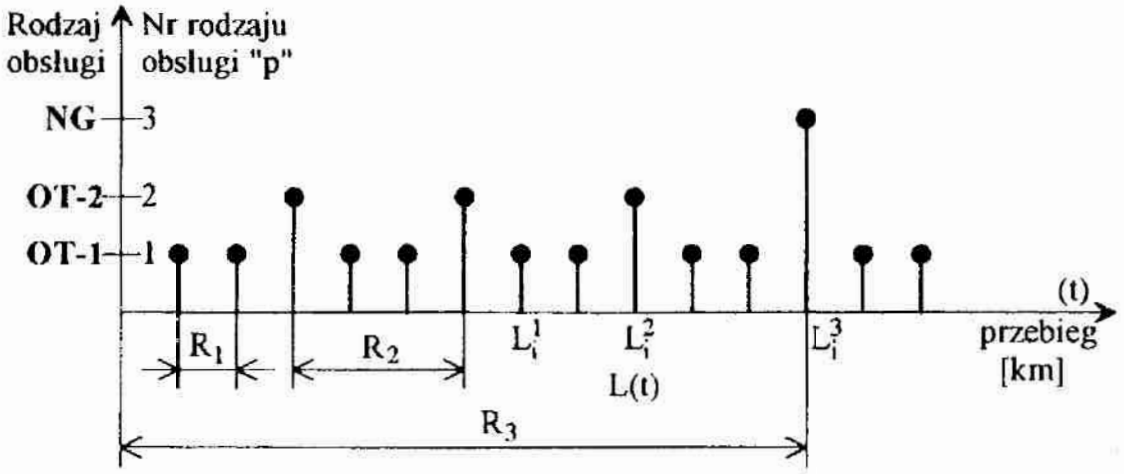
zrobić?). Odnowę rozumianą jako cel działania można podzielić na następujące rodzaje:

- odnowa potencjału eksploatacyjnego,
- odnowa resursu eksploatacyjnego (zasobu pracy użytecznej),
- odnowa stanu zdatności.

Odnowę potencjału eksploatacyjnego obiektu można uzyskać przez:

- obsługę obiektu np. naprawę (doraźną, planową itp.),
- wymianę danego egzemplarza obiektu na nowy.

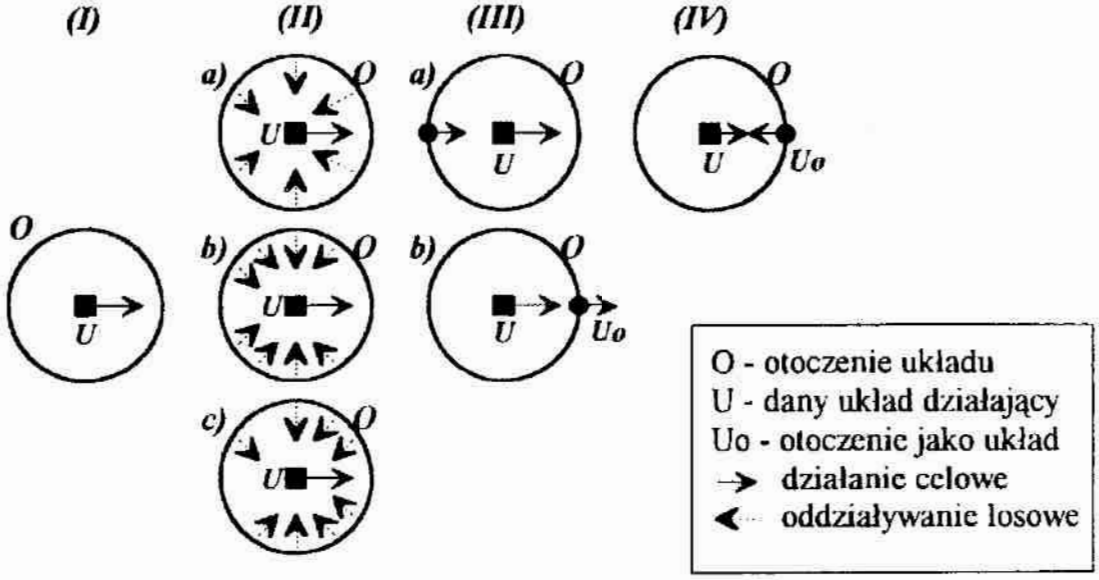
Opracowanie szczegółowych harmonogramów obsług (podawane najczęściej przez producenta w instrukcji obsługi) oraz bieżąca kontrola wykonanych jednostek pracy "R" (np. przejechanych kilometrów przez samochód) pozwala w sposób planowy i we właściwej chwili skierować obiekt do odpowiedniej (planowej) obsługi "*p*". Do potrzeb planowania eksploatacji używa się też pojęcia zapas resursu rodzaju "*p*" (np. ilość kilometrów "L" do I przeglądu, do II, czy też do naprawy głównej). Jest to zatem wielkość określająca liczbę jednostek pracy obiektu, jaką od danej chwili należy zrealizować aż do momentu wykonania obsługi rodzaju "*p*". Na podstawie rozkładu wielkości resursów w zbiorze obsług można określić harmonogramy obsług (rys. 9), które wyznaczają zbiór $\{L^p_i\}$ wartości pracy obiektu, po zrealizowaniu których należy wykonać kolejną obsługę określonego rodzaju "*p*".



Rys. 9. Harmonogram obsług przywracających "przydatność" obiektu

Celem działania użytkownika określonego obiektu jest uzyskanie szczególnie pożądanego stanu wybranej cechy przedmiotu, na który oddziaływuje ten obiekt bądź pewnej zmiany otoczenia.

Stosunki między układem działania a jego otoczeniem, ze względu na realizację określonego celu, mogą się układać w cztery zasadnicze grupy przypadków - rys. 10:



Rys. 10. Obraz elementarnych stosunków układu z otoczeniem

(I) - między otoczeniem a układem nie występują żadne oddziaływania - mamy wówczas do czynienia z układem odosobnionym - rys. 10 I,

(II) - między otoczeniem a układem występują jedynie nieuporządkowane oddziaływania o charakterze losowym, niezależne od rozważanego układu - mamy wówczas do czynienia z układem osamotnionym w otoczeniu obojętnym w przypadku, gdy w oddziaływaniu tego otoczenia nie przejawia się żadna systematyczna tendencja - rys. 10 IIa, w otoczeniu sprzyjającym - rys. 10 IIb, lub w otoczeniu nie sprzyjającym - rys. 10 IIc,

(III) - między otoczeniem a układem występuje zorganizowana współpraca przy czym: otoczenie może przyczyniać się do osiągania celów przez układ - rys. 10 IIIa (otoczenie

jest podrzędne), lub układ może sprzyjać osiąganiu celów przez otoczenie - rys. 10 III b (otoczenie jest nadrzędne),

(IV) - między otoczeniem a układem zachodzi zorganizowana walka - wówczas mamy do czynienia z układem zwalczanym przez otoczenie antagonistyczne - rys. 10IV.

Mówiąc o urządzeniach i układach technicznych, będziemy mieli naturalnie na myśli sztuczne podmioty, skonstruowane przez człowieka.

Wśród układów technicznych wyróżnić można dwie jakościowo odrębne grupy:

* układy informacyjne - związane z przesyłaniem i przetwarzaniem informacji, do których należy przesyłanie obrazów, dźwięków i sygnałów,
* układy transportowe - związane z przetwarzaniem i przesyłaniem (transportem) ciał stałych i energii.

W dalszych rozważaniach, dotyczących określonych działań eksploatacyjnych, w dominującej mierze mowa jest o układach transportowych, w tym zwłaszcza użytkowanych - tj. układach, których celem istnienia (z założenia) jest działanie. Ocena jakości takich układów wynikać więc będzie z oceny ich działania. Działamy celowo, mając na uwadze zamierzony lub osiągnięty skutek, przy czym: O CELOWOŚCI możemy mówić zanim przystąpimy do wykonania danego zadania, zaś O SKUTECZNOŚCI - dopiero wówczas, jeżeli zadanie zostało wykonane.

Nieodłącznym atrybutem takiego działania jest ***proces intelektualny***, związany z ustaleniem listy i rodzaju czynności, które umożliwiają osiągnięcie założonego celu. ***Poznawanie tego procesu jest nadrzędnym celem podanego dalej zestawu ćwiczeń***, w których ogólny cel systemu decyzji eksploatacyjnych - racjonalizacja procesów eksploatacji - musiał być oczywiście oparty na pewnych faktach: rzeczywistych lub założonych.

PODEJMOWANIE DECYZJI

Decyzja jest dla eksploatacji tym czym oddech dla życia. Nie możemy powstrzymać oddychania, chociaż mamy pewien wpływ na jego głębokość i rytm. Nie możemy działać bowiem celowo zanim wcześniej nie wybierzemy tego co będziemy czynili. Rytm decyzji przenika całą naszą aktywność.

Istotę decyzji stanowi nieustanne rozstrzyganie i wybór jakie działanie podejmujemy: co i jak chcemy uzyskać, co i jak chcemy użytkować. Wartościujemy więc informacje pod kątem swego interesu, celu, ogólnie rzecz mówiąc pożytku Q z określonego działania.

Poważną trudność, spotykaną w praktyce przy wyborze najkorzystniejszych działań, stanowi niedostateczna znajomość przyszłych warunków działania. Wiedza o poprzednich okolicznościach działania obiektu zwykle jest też zbyt mała i nieuporządkowana - a *"przewidywania dotyczące przyszłości pod żadnym względem nie mogą być ani szersze, ani dokładniejsze niż znajomość przeszłości"*. Z tego względu, właściwe ujęcie i rzetelność informacji statystycznych z wcześniejszych badań eksploatacyjnych ma podstawowe znaczenie dla prawidłowości wszelkich decyzji wyboru. Na podstawie odpowiednio opracowanych danych statystycznych nie można wprawdzie przewidzieć wartości losowych "zachowań się" (pożytku Q) konkretnego obiektu, można jednak powiedzieć coś o rozkładzie tych "zachowań się" dla grupy takich obiektów i oszacować ich prawdopodobieństwa.

W każdej chwili ogólną sytuację systemu eksploatacyjnego, ze względu na możliwości działania, charakteryzują cztery następujące zbiory:

- zbiór możliwych celów działania (potrzeby),
- zbiór, przewidywanych, warunków działania (okoliczności),
- zbiór możliwych do zastosowania urządzeń,
- zbiór możliwych metod działania (ludzie).

Stosując określone techniki postępowania, można dokonać oceny wszystkich możliwych metod działania. Z kolei, na podstawie dokonanej oceny można wybrać najkorzystniejsze, w danych okolicznościach, działanie środka technicznego, przez wskazanie potrzeby jego użycia i sposobu realizacji zadania.

Na tej właśnie drodze producent (również i użytkownik), znając koszty określonego działania (ustalone dla danego urządzenia) i możliwe efekty przy różnych technologiach, może - stosując kryterium optymalizacji (określoną funkcję celu) - wyszukać najbardziej zyskowny proces lub najwłaściwsze urządzenie.

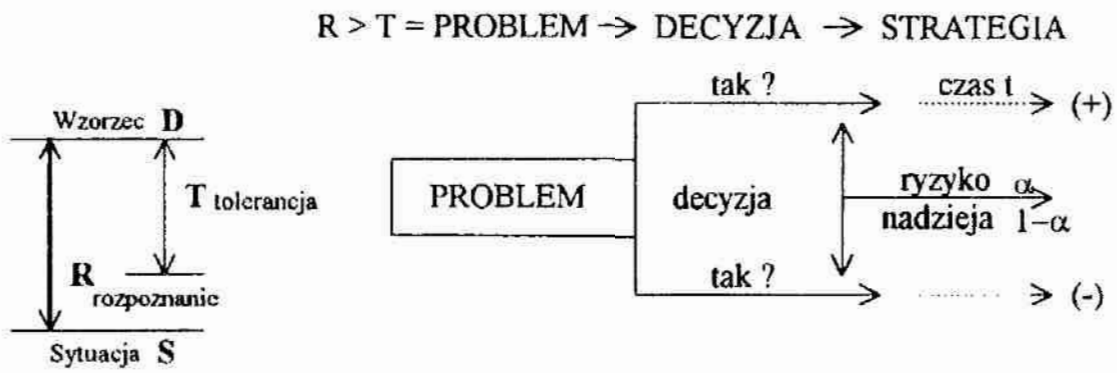
Podstawowym zagadnieniem, praktycznym, przy każdym wyborze jest możliwie dokładne i pełne określenie zbioru możliwości, spośród których ma być dokonany wybór. Zwykle ocena taka dokonywana jest za pomocą wielu, często podświadomych, kryteriów obiektywnych i subiektywnych. Dążyć należy jednak do posługiwania się w tym względzie określonymi obliczeniami rachunkowymi - dokonując pewnego zapisu matematycznego danej sytuacji - budując jej model matematyczny.

Drugim, równie ważnym zagadnieniem jest ustalenie właściwych kryteriów ostatecznego wyboru czyli ustalenie aktualnego zestawu ocen danego działania.

Dalszym wreszcie zagadnieniem, zwykle najbardziej pracochłonnym, jest przyporządkowanie wszystkim rozważanym działaniom określonych efektów z takiego działania i oceny tych efektów.

Dokonanie ostatecznego wyboru na podstawie uzyskanych ocen nie przedstawia zazwyczaj większych trudności jeżeli każdemu działaniu zostanie przyporządkowany , w określony sposób, koszt jednostkowy takiego działania (lub wartość z nim skorelowana np. wydajność).

Proces wytwarzania lub eksploatacji obiektu technicznego (ale i nie tylko tego) jest procesem decyzyjnym: zrobić tak lub tak (rys. 11). Z założenia dążymy jednak do tego, aby wytwór działania opartego na tej decyzji przyniósł pozytywny skutek tzn. sukces (+) i mamy nadzieję, że tak się stanie. Ponosimy przy każdym działaniu jednak ryzyko braku takiego sukcesu, bowiem nieodłącznym elementem każdego działania jest również możliwość porażki (-), która w decyzji ma punkt styczny z sukcesem. Jej "przyjaciele" to: niewłaściwe słowo ("tak" lub "nie") wypowiedziane w nieodpowiednim czasie lub w nieodpowiednim miejscu.



Rys. 11. Schemat decyzji eksploatacyjnych

Problem, będący podłożem decyzji (decyzja to nadbudowa problemu), pojawia się wówczas, jeżeli nasza tolerancja T na zaistniałą sytuację S, która jest różna o R (rozpoznanie) od wzorca D (rzeczywistego lub umownego), jest mniejsza od tego rozpoznania. Próbujemy wówczas "coś" zrobić, aby przywrócić pierwotny stan równowagi, tj. S = D, lub, co najmniej, wywołać taki stan aby spełniana była nierówność R < T (zaistniała odmienność sytuacji była mniejsza od naszej tolerancji na tę odmienność).

Zazwyczaj stosujemy takie **strategie działania**:

* uciekamy od problemu (bagatelizujemy problemy, lub wykazujemy, że sprzeczność jest pozorna),
* dokonujemy zmiany zaistniałej odmienności (R),
* zmieniamy naszą tolerancję (T).

Jeżeli tego nie potrafimy zrobić, pojawia się stres, i jest on tym większy im większa jest różnica pomiędzy tym co musisz - a tym co możesz. Aby zlikwidować tę różnicę, wymagany jest dopływ nowej informacji o sytuacji (wiedza), która wymaga doświadczenia (praktyki życiowej - czyli opierania się na innych, wcześniejszych doświadczeniach) lub przeprowadzenia "badania" tej sytuacji, względnie też do uciekania się do "grupowego myślenia" i rozmywania tym samym problemu decyzyjnego ("ja nie winny - to on").

Jeżeli coś trzeba robić, to zawsze jest dążenie aby zrobić to przy najmniejszym nakładzie pracy własnej - optymalnie (dla decydenta). Osiągnięcie takiego stanu jest warunkowane posiadaniem informacji o przyczynach wywołujących określony skutek - czyli wiedzą o poprzednich i przyszłych zdarzeniach, możliwych do zajścia po podjęciu danej decyzji. W każdej

jednak decyzji tkwi pewna doza niepewności, czy rzeczywiście tak się stanie - pewne ***ryzyko*** α braku zajścia danego zdarzenia zgodnie z naszymi nadziejami. Nasza nadzieja p na sukces jest więc zawsze pomniejszana o to ryzyko, czyli: $p = 1 - \alpha$.

Jaką zatem wybrać strategię działania?

W większości procesów decyzyjnych nie możemy sprawdzać, równolegle, czy podjęcie innej decyzji byłoby bardziej właściwe. W sferze intelektu, ciągle adekwatne jest więc powiedzenie filozofa, że "jakkolwiek nie postąpisz, zawsze będziesz żałował". Każda decyzja tworzy sytuację **dysonansu poznawczego** (*zjawiska odkrytego przez Ludwika Festingera*). W procesie wyboru musimy bowiem analizować warianty działania, a przekonanie o wyborze jednego wariantu jest sprzeczne z przekonaniem o wyborze drugiego. Co więc robi normalny człowiek, gdy musi podjąć decyzję i dokonać wyboru?

Teoria dysonansu poznawczego stwierdza, że ludzie w zależności od własnej samooceny postępują różnie. Osoby o wysokiej samoocenie (pozytywnym obrazie własnej osoby) po podjęciu decyzji podwyższają atrakcyjność wybranego wariantu i zmniejszają atrakcyjność odrzuconego sposobu działania. Osoby o niskiej samoocenie (negatywnym obrazie własnej osoby) po podjęciu decyzji zmniejszają atrakcyjność wybranego wariantu i zwiększają atrakcyjność odrzuconego sposobu działania.

W praktyce oznacza to trzy rzeczy [21]:

Po pierwsze, wszyscy manipulujemy informacją, najczęściej zresztą nieświadomie, przed i po podjęciu decyzji, bowiem dążymy do zmniejszenia dysonansu poznawczego. Najbardziej jaskrawe jest pozorowane podejmowanie decyzji, kiedy to zbieramy informacje i dobieramy sobie doradców selektywnie, aby usprawiedliwić wybór tego wariantu, na który zdecydowaliśmy się od początku.

Po drugie, osoby o niskiej samoocenie są złymi decydentami, bowiem mają skłonność do przewlekania procesu decyzyjnego w nieskończoność i na dodatek po podjęciu decyzji co chwila znajdują wady wybranego wariantu.

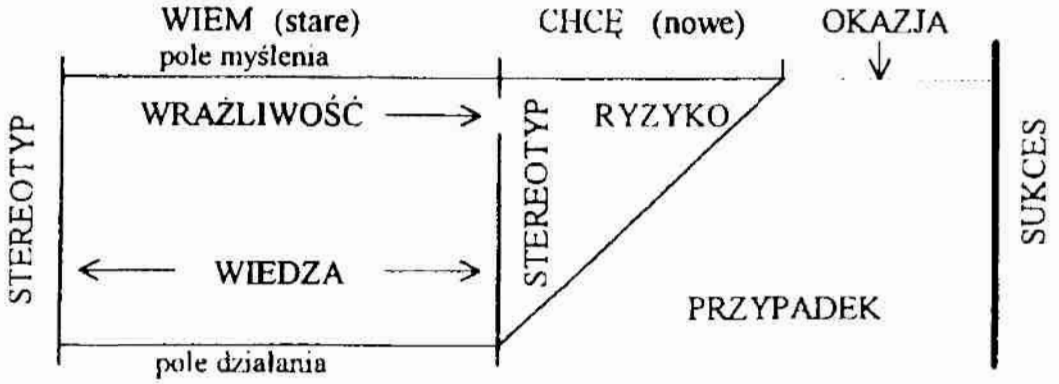
Po trzecie, trudno podjąć decyzję niezgodną z opinią grupy, którą cenimy (np. grupa studencka), bowiem wówczas nasz dysonans poznawczy będzie wyjątkowo silny.

Kiedyś trzeba jednak "dorosnąć" do decyzji. Chodzi tu o umiejętność dokonywania wyboru, a później trwania przy własnym wyborze bez kompleksów, frustracji i obwiniania innych. Chodzi tu o umiejętność korzystania z wolności: "od - do" (od przymusu do odpowiedzialności), która to umiejętność jest podstawą skutecznego uczestnictwa w wielu systemach (np. uczestnictwo w systemie komunikacji daje wolność korzystania z połączeń tego systemu, ale jednocześnie daje przymus przestrzegania określonych przepisów, pod rygorem odpowiedzialności za ich nieprzestrzeganie). Nie można zatem wyzwalając się od jednego przymusu nie wejść pod inny przymus. Wolność "od - do" jest to więc umiejętność rozstania się z myślą, że gdy dokonamy wyboru złego, ktoś pogłaszcze nas po głowie i powie: "*biedaku pomyliłeś się - nie płacz zaraz coś z tym zrobimy*". Człowiek, który chce korzystać z wolności musi ją brać całą: od - do. Biorąc wolność od przymusu bierze jednocześnie przymus odpowiedzialności za swoją decyzję i musi wiedzieć, że gdy popełni błąd, usłyszy: "*no cóż pomyliłeś się stary - to twój problem*".

Jak pisze Hubert Reeves: "być dorosłym - to pogodzić się bez większego żalu, że nie ma Świętego Mikołaja". To znaczy nauczyć się żyć wśród wątpliwości i niepewności dotyczących podejmowanych decyzji.

Mając już nawet wolność, nie zdołasz jednak osiągnąć swego celu działania, jeżeli nie wyrobisz w sobie zdolności do pokonania bezRADności, czyli nie będziesz miał swoich RAD na to: ***jak to zrobić?*** Niezwykle szybko dostaniesz je wówczas, jeżeli potrafisz wykonywać to co robisz z RADością. Podkreśliłem tu symbol pierwiastka, który - jak wskazuje na to fizyka - ma niezwykle silną energię - warto z niej skorzystać w każdym indywidualnym działaniu.

Działanie indywidualne tworzy klimat do twórczego angażowania się w rozwiązanie zaistniałego problemu - likwiduje bowiem "syndrom grupowego myślenia". Działanie twórcze jest wówczas jeżeli do "starej" wiedzy wprowadzamy nowy element wynikający z naszej woli - poprzez twórcze słowo: "chcę" - rys. 12.



Rys. 12. Schemat powiązania wiedzy i woli w osiąganiu sukcesów w działaniu

Nasza wiedza o działaniu ograniczana jest stereotypami myślenia, które mogą być zniszczone jedynie przez naszą wrażliwość. Poprzez wrażliwość i twórcze słowo "chcę", możemy uczynić krok ku sukcesowi, narażając się przy tym jednak na ryzyko (dostania po "łapkach" - nie sięgaj po to co nie twoje!). Może być ono zmniejszone przez dogodność "okazji", która zmniejsza udział przypadku, oddzielającego wytwór naszego działania od sukcesu.

Wiedza o tym jak wykorzystywać "okazję" do wdrażania twórczych pomysłów stanowi dzisiaj bazę dla czegoś, co współcześni ludzie nazwali przedsiębiorczością i co dla większości ludzi brzmi tajemniczo i zagranicznie.

Przypadek jest tu tym czymś co bez przesady można nazwać "zwrotnicą dziejów". Jego istnienie umożliwia nam wyrażanie swojej woli, a jednocześnie powoduje powstawanie niezamierzonych efektów, unaoczniając nam nową drogę działania. Gdyby we Wszechświecie nie było przypadku, świat nasz nie byłby niczym innym jak gigantyczną "machiną", obracającą się według ustalonych reguł. Przeszłość i przyszłość byłaby, w zasadzie, w każdej chwili obliczalna i dająca się albo zrekonstruować, albo przewidzieć. Nie ma też żadnej wątpliwości, że ze świata, z którego wyrzucilibyśmy przypadek, musiałyby - jako czysto subiektywne złudzenia - zniknąć pojęcia: decyzja, odpowiedzialność, moralność. Tam gdzie jest tylko ścisła reguła, nie ma już swobody.

Indywidualizacja naszych działań, to nic innego jak "mutacje" stanów dotychczasowych. Wartość takich działań (jak każdej mutacji) można ocenić dopiero retrospektywnie - po jej

zaistnieniu. Instancją oceniającą jest środowisko (otoczenie), w którym dany "mutant" musi wytrzymać próbę "życia". Szanse na to: czy tak będzie? nigdy nie można rozpoznać po mutacji. Decydują dopiero o tym skutki: sukces lub porażka - jako wynik lepszego przystosowania się mutacji do środowiska. Mutacja (inność) sama w sobie jest nie tylko przypadkowa ale jest także "bez sensu". Sens nadaje jej dopiero spotkanie ze środowiskiem (otoczeniem) dokonującym oceny selekcjonującej: dobry lub zły "mutant".

Może więc nie warto wystawiać się na "odstrzał" selekcyjny i działać stereotypowo - naśladowczo?

Jeżeli nie masz jeszcze wprawy w tym co robisz, to przepis "ekonomizacji" działań mówi o tym, że najpierw musi być faza naśladowcza (automatyzowania pewnych czynności) a dopiero potem nowatorstwo (nie należy bowiem "wyważać otwartych już drzwi"). Interesujący, autentyczny przypadek, dotyczący tego zagadnienia podaje T. Kotarbiński w swoim dziele: "Traktat o dobrej robocie", kiedy to naśladownictwu wypada przyznać przewagę w konflikcie z nowatorstwem.

"*Myśląca młoda osoba przystąpiła do studiów systematycznych w dziedzinie fizyki. Otrzymawszy w pracowni tematy eksperymentalnych zadań ćwiczebnych, zaczęła od namyślenia się nad sensem dokładnym, użytych w sformułowaniu tematu, terminów i od zabiegów indywidualnych, by wskazane doświadczenie wykonać z maksymalną precyzją przy pomocy otrzymanej aparatury, nieco nadwątlonej. Robota szła powoli, proste w zamyśle ćwiczenia komplikowały się nieoczekiwanie, młoda adeptka fizyki zamiast odrabiać ćwiczenia, ciągle domagała się wyjaśnień i majstrowała przygotowawcze ulepszenia, aż wreszcie usłyszała od kierownika ćwiczeń taką radę:* ***niech pani nie rezonuje od początku, niech pani robi tak jak wszyscy, na początku trzeba zdobyć elementarną technikę, a w tym celu trzeba na początku po prostu małpować***".

Nic tu więcej nie muszę dodawać od siebie. Taki jest po prostu przepis na skuteczne działanie - jednak tylko do pewnego etapu, bowiem

NA WSZYSTKO JEST WŁAŚCIWY CZAS
I WŁAŚCIWE MIEJSCE.

"Działanie rutynowe i naśladowcze (stereotypowe) niszczy umysł, ciało i ducha - napisał A. W. Robertson - jeżeli człowiek robi tylko to co się od niego wymaga, jest niewolnikiem; od chwili kiedy zdobywa się na coś więcej (wyrazi swoją wolę), staje się człowiekiem wolnym. Niewolnik myśli tylko o tym: jak uciec z niewoli, człowiek wolny myśli i planuje (porządkuje) tak swoje działania, aby pozwalały mu wytrwać jak najdłużej w tej wolności."

Wyższym etapem działania jest **podejście twórcze** do problemu, opierające się na wolności wyborów. Podejście twórcze obserwuje się u osób, które nie zadawalają się byle jakim rozwiązaniem problemu, lecz są gotowe szukać rozwiązań lepszych, nowych, oryginalnych lub mało popularnych. Osoba podchodząca twórczo do problemów wykonuje wielokroć większą pracę niż zwolennik trzymania się rutyny, lecz trud ten bawi ją i ekscytuje, a problem prawdziwie pochłania. Twórczość - to po prostu brak zgody człowieka na szarość, nudę i zastój.

Ludzie działają więc twórczo dlatego, by jak najczęściej przebywać w okolicznościach, w których ich cele, to co lubią i cenią jest dostępne - nie wyobraźnią, ale faktem. Aby to osiągnąć, warto zapamiętać regułę skutecznego działania:

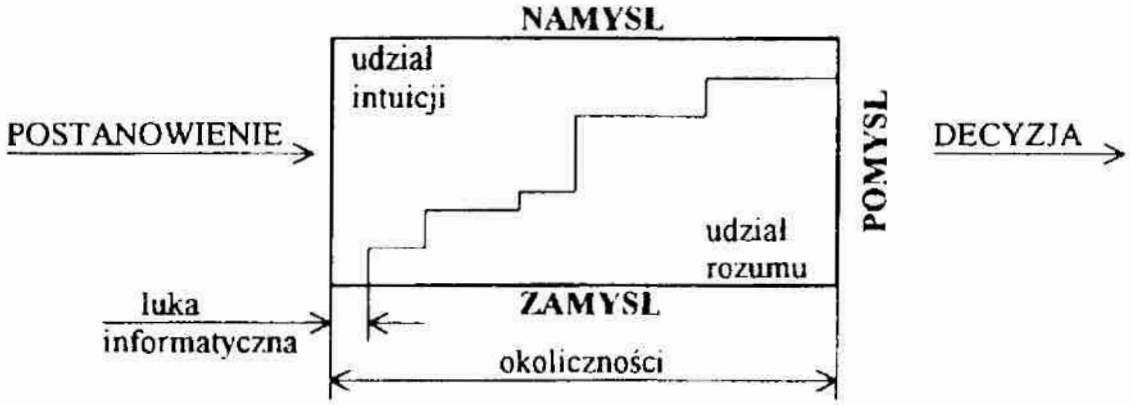
SPRZYJAJ TEMU CO SPRZYJA TOBIE

Natura wykorzystuje to prawo w swoim działaniu poprzez "spontaniczne" mutacje, "próbkujące" otoczenie: czy już są sprzyjające okoliczności, czy ich jeszcze nie ma?
W ludzkich działaniach takim spontanicznym "mutantem, próbkującym" zaistniały problem, jest **działanie intuicyjne**. Postawmy sobie pytanie czy takie intuicyjne działanie narażone jest na ryzyko porażki?
Na pewno tak - ryzyko to przecież element wbudowany w "konstrukcję" Wszechświata.

Powiedzieliśmy sobie wcześniej, że działanie występuje wówczas, kiedy jest problem - rzeczywistość R odchyliła się od wzorca D i musimy pomyśleć: jak przywrócić poprzedni bezproblemowy stan. Decyzje intuicyjne winny dominować na

początku wdrażania twórczego pomysłu na rozwiązanie problemu.

Przyjmując racjonalność - jak zasadę twórczości technicznej - należne miejsce w decyzjach ludzkich trzeba oddać też i intuicji. Wiele bowiem pomysłów jest wynikiem działania intuicyjnego, a pomysły są właśnie tym, co w istotny sposób wpływa na to jak działamy. Początkiem pomysłu jest intuicyjny namysł nad problemem - rys. 13.



Rys. 13. Schemat współdziałania intuicji i rozumu w działaniu twórczym

Intuicją próbujemy zapełnić lukę informacyjną o zaistniałej sytuacji, wywołanej okolicznościami. Nie jest to jednak informacja pełna i wystarczająca. Mimo braku takiej pełnej informacji musimy dokonywać jednak różnych wyborów. Pojawia się nowy problem - wyboru i postanowień. Postanawiamy bowiem rozwiązać "nasz" problem, podejmując "lepsze" lub "gorsze" decyzje.

> DECYZJA polega na POSTANOWIENIU opartym na podstawie WYBORU dokonywanego przy NIEPEŁNEJ INFORMACJI.

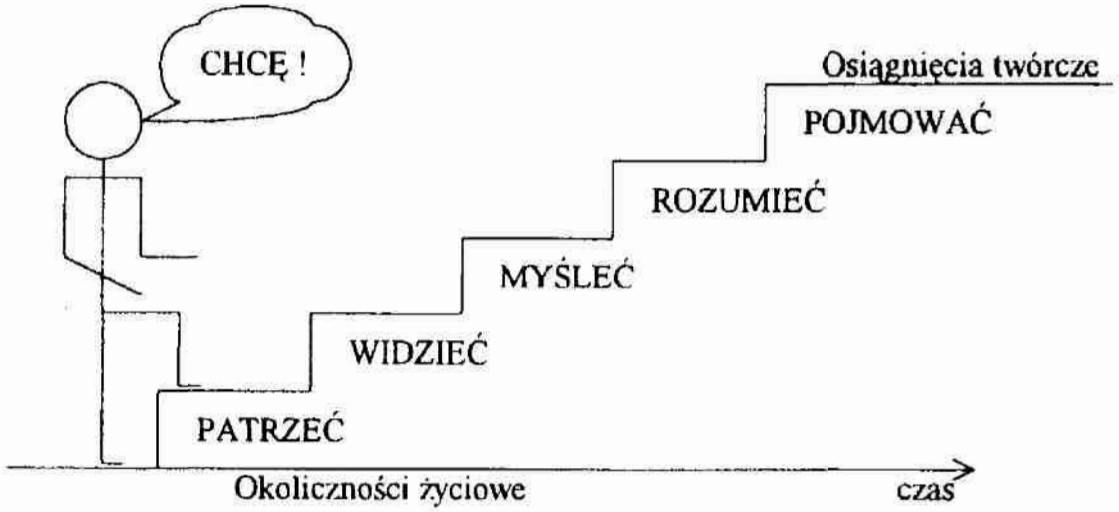
W miarę dopływu nowych (zewnętrznych) informacji o problemowej sytuacji, do głosu stopniowo winien dochodzić rozum (pewna logika współzależności zdarzeń - przyczyn i skutków), pozwalający myślom doprowadzić nasz namysł do zamysłu. Zamysł to przede wszystkim postanowienie wykorzystania swego pomysłu (poddanego krytycznej ocenie

rozumu) w czynnym działaniu. Świat pełen jest geniuszy i genialnych pomysłów, które zalegają głowy i szuflady twórców. Tylko jednak nieliczne z nich, po zamyśle, znalazły urzeczywistnienie i odbywszy długą drogę od twórcy do półek sklepowych i galerii, wzbogacają ludzkość oraz kieszeń twórcy. Drogę do takiego stanu rzeczy wytyczają więc "drogowskazy" działania myślowego twórcy: namysł, pomysł i zamysł oraz właściwy czyn i wytwór.

NAMYSŁ → POMYSŁ → ZAMYSŁ → CZYN → WYTWÓR = MD

W czasie czynu, do głosu winna dochodzić technika, a w niej zwłaszcza **technologia**, czyli wiedza o tym: jak to robić - "układać" (planować) zdarzenia, aby w efekcie powstał wytwór określany sukcesem.

Pomysły są tym, co wyróżnia nas wśród innych "stworzeń" na ziemi: żyjąc bowiem myślimy, a myśląc tworzymy. Robimy "coś", bo chcemy, by osiągnięcia twórcze (wytwory) zmieniły pozytywnie (+) zaistniałą sytuację (-), tj. pomogły rozwiązywać nasze problemy. Wytwory te powstają więc jako potrzeba zmiany okoliczności i są efektem naszego patrzenia na te okoliczności (daną sytuację). Od patrzenia na te okolicz- ności, do zmieniających je osiągnięć twórczych, droga jest jednak daleka. Jak bowiem ujął to Janusz Dietrych: patrząc - trzeba CHCIEĆ widzieć, widząc - trzeba CHCIEĆ myśleć, myśląc - trzeba CHCIEĆ rozumieć, rozumiejąc - trzeba CHCIEĆ pojmować, a pojmując - CHCIEĆ tworzyć (rys. 14).



Rys. 14. "Droga" twórczego rozwiązywania problemów życiowych

Można też rozpatrzyć "zagadnienie decyzji" i z innej strony. Czy możliwość powiększania swych szans na sukces w istocie rzeczy nie polega na konieczności wystawiania się na niebezpieczeństwo? (na to dostawanie "po łapkach", a czasem i utratę życia).

Obserwacja spektakularnych sukcesów, najzwyklejszych zdarzeń i tzw. "codziennych rzeczy" odsłania nam fakt, że zawsze łączą się one z pewnym ryzykiem: coś zawsze musi pozostać niepewne, by doszło do jakiejkolwiek przemiany rzeczy. Zasadę tę i niejako naturalną potrzebę ryzyka pokazuje nam dobrze biologia, przede wszystkim zaś zjawisko mutacji: gwałtownej przemiany cech dziedziczonych nie przez nowe uporządkowanie istniejących genów, lecz przez nabytek nowego genu. Tak jest i w technice, gdzie "nowa jakość" wyrobu powstaje nie poprzez stopniowe poprawienie "starej", ale poprzez nową (ryzykowną) myśl - zrobię "coś" lepiej, niż to "coś" co było dotychczas. Bez ryzyka więc człowiek - i cały świat - nie znałby potrzeby poszukiwań, nie znałby więc rozwoju ani postępu (byłby skończony - doskonały). Wszystko to wskazuje, że sposobności (dogodności) jednocześnie otwierają się przed nami i zamykają ("tak" lub "tak" w decyzji) i zawsze istnieje możliwość wygranej albo przegranej (+ lub -), zależnie od sposobu widzenia rzeczy. Bramy (sukcesu) otwierają się dla tego, kto jest zdolny i gotowy, by przez nie przejść. Jeżeli rzeczywiście to zrobi, to czyni krok naprzód w nieustającym postępie (zwiększania pożytku Q). Sposobność (okazja) i decyzja współdziałają więc ze sobą, aby umożliwić wszelką przemianę jakościową i rozwój życia.

Początkujący studenci pytają regularnie: czy istnieje sposób na podejmowanie pożytecznych działań bez ryzyka - czyli takich, które zawsze się udają?. Jest tylko na to jedyna odpowiedź: nie ma takich sposobów. Gdyby rzecz bowiem miała się inaczej, na pewno dawno porzuciłbym swoje obecne funkcje, oddając się owym gwarantowanym w 100 % działaniom. Pytanie to można postawić jednak inaczej: czy istnieją metody pozwalające na zmniejszenie ryzyka w działaniu?. Odpowiedź jest też tylko jedna - tak, istnieją. Najprostsza z nich oparta jest na statystyce. Obserwacje różnych działań dają bowiem niezbite dowody na to, że jedne działania "udają się" częściej niż inne i pewne techniki

postępowania okazują się bardziej skuteczne od innych. Stanowi to podstawowy sens istnienia takiego działu matematyki, jakim jest rachunek prawdopodobieństwa i statystyki matematycznej. "Coś" jest niepewne, ale jeśli tę niepewność (ryzyko) potrafimy oszacować (poznamy jego przyczyny), to mamy większe szanse na podjęcie optymalnej decyzji - mamy nadzieję (nie tylko matematyczną) na osiągnięcie pożytku z działania.

"*Szczęśliwy ten, kto zdołał poznać praprzyczyny rzeczy*" - ta sentencja Wergiliusza (70 ÷ 19 lat p.n.e.) niech będzie wskazówką w przekształcaniu naszej wyobraźni do twórczego podejmowania decyzji i działań życiowych, prowadzących do zwiększania pożytku.

WPROWADZENIE W PROBLEMATYKĘ JAKOŚCI

1. JAKOŚĆ - OD FILOZOFII DO GOSPODARKI

Z punktu widzenia eksploatacyjnego, *jakość J rozumiana może być jako "dobroć" obiektu (pośrednika w działaniu), wyrażająca się pewnym potencjałem użytkowym Q, pozwalającym zrealizować "lepiej" lub "gorzej" daną potrzebę.* Każdy obiekt, lub szerzej biorąc każde "coś", posiada więc dla użytkownika pewną wartość - wynikającą z przydatności użytkowej. Taki *niematerialny stan "czegoś" w odniesieniu do wymagań stawianych przez oceniającego* (pewnego ideału "czegoś" wg tego oceniającego), Platon (427-347 rok p.n.e.) nazwał ***jakością***, zaprzeczając tym samym poglądom swojego "kolegi" Demokryta, który głosił, że rzeczywistością jest tylko materia i wobec tego istnieje wyłącznie ilościowy opis tej rzeczywistości (bowiem, "koń jaki jest - każdy widzi").

Słowem "JAKOŚĆ", Platon nadał więc prawo istnienia "duchowi" rzeczy - czyli temu co nie jest ze świata materii (stąd może pochodzi stwierdzenie, że "istnieje litera i duch prawa"?). Nie można "tego" (jak czasu) "zobaczyć" swoimi pięcioma zmysłami, a jednak "to" istnieje. Trzeba bowiem "to" "czuć" swoim szóstym zmysłem. Mierzyć (porównywać) "to" można jedynie poprzez odniesienie.

Nasze zewnętrzne narządy zmysłów wcale świata nie odtwarzają. One go interpretują. A to jest podstawowa różnica - zauważona przez Platona.

Jakość w filozofii jest więc pojęciem pierwotnym (jedną z kategorii filozoficznych, takich jak: przestrzeń, czas itp.). Jej znaczenie wynika z samego kontekstu.

Brak definicji jakości w filozofii nie przeszkadza definiowaniu pojęcia jakości w innych dziedzinach działalności ludzkiej jeśli ma to sens praktyczny Jakość przestała więc być tylko kategorią filozoficzną, a stała się, obecnie, strategicznym elementem prawie każdej działalności gospodarczej.

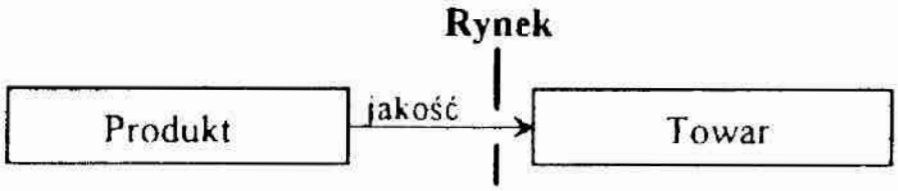
W gospodarce rynkowej ukształtowano koncepcję jakości, w której termin ten definiuje się następująco:

JAKOŚĆ - to "ogół cech i właściwości wyrobu lub usługi, decydujących o zdolności wyrobu lub usługi do zaspokajania stwierdzonych lub przewidywanych potrzeb".

W świetle tej definicji, jakość stała się podstawowym dogmatem działania najbardziej rozwiniętych firm (*dogmat ten zawiera się w słowie: "lub to" - od polubić*). Z pewnego pojęcia w filozofii stała się więc obecnie filozofią gospodarki. Idea tej filozofii polega na przesunięciu uwagi z oceny wyrobu (usługi) do obszaru oceny całego procesu produkcyjnego danego wyrobu (usługi). Chodzi bowiem o to by proces wytwarzania zapewniał wymagany przez odbiorcę poziom jakości wyrobu (usługi), ograniczając do rozsądnego minimum udział przypadku.

Pojęcie poziomu jakości odnosi się wobec tego do oceny: w jakim stopniu cechy danego obiektu spełniają określone wymagania oceniającego - jaki ten obiekt jest w porównaniu do innych obiektów tego samego rodzaju. "Wymagania" odbiorcy są swoistego rodzaju "lornetką" przez którą ogląda on cechy wyrobu. Jeżeli zobaczy tyle tego "ducha" ile się spodziewał uważa, że jakość jest "dobra" - poziom cech wyrobu równoważy (=) jego wymagania. Jeżeli zobaczy więcej niż się spodziewał uważa, że wyrób ma większą (+) jakość. Jeżeli jest sytuacja odwrotna uważa, że poziom jakości jest niższy (-) od oczekiwanego. Można oczywiście jeszcze w okularze tej "lornetki" zakreślić pewne "kręgi", dzielące te przekroczenia (+ lub -) na strefy: I, II itd. (I gatunek, II, gatunek itp.). Zwykle, na więcej stref dzieli się przekroczenie (+) niż (-).

Jakość występuje wówczas, jeżeli dany wyrób (produkt techniczny) znajdzie swojego nabywcę, mającego określone wymagania ("lornetkę"), w której ma zaznaczony "wzorzec" danego produktu i zechce przez nią popatrzyć na ten produkt. Zatem odpowiadając na pytanie: kiedy więc produkt techniczny posiada jakość? można powiedzieć, że posiada ją wówczas, jeżeli z produktu staje się towarem nabytym w akcie kupna - sprzedaży (rys. 15).



Rys. 15. Schemat oddziaływania jakości na produkt

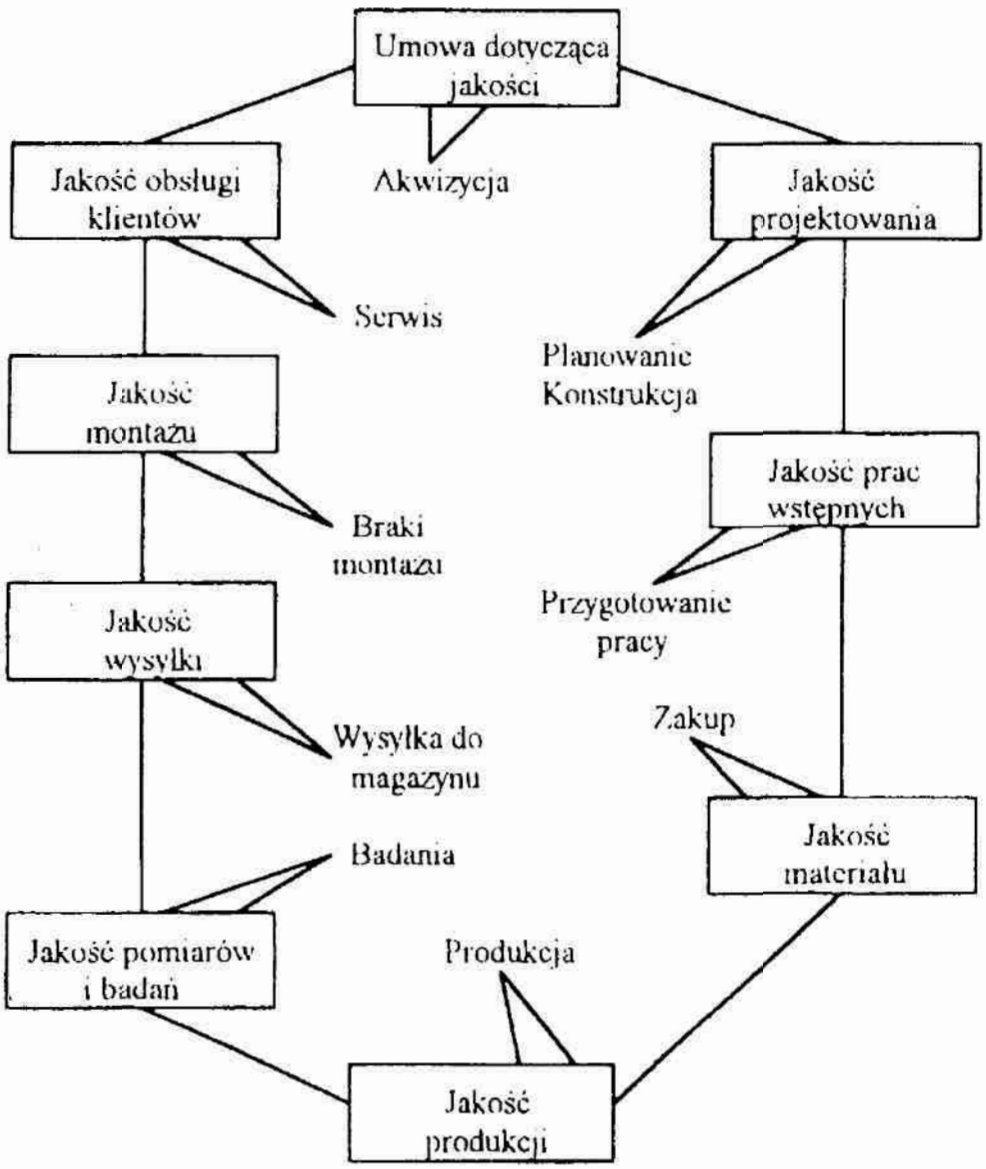
Obraz, który maluje malarz dla siebie, nie musi mieć określonych cech przynależnych temu obiektowi, jeżeli natomiast będzie chciał go sprzedać, musi mu nadać określone cechy, które będą zauważone i zaakceptowane przez ewentualnego nabywcę.

Oczywiście, wszystko można "zrobić" za odpowiednią cenę (lepsze farby drożej kosztują). Wyższa jakość ma więc odpowiednio wyższą cenę i często jest tak, że: *"jak się nie ma na to co się lubi, to się lubi to na co się ma"*.

2. KSZTAŁTOWANIE JAKOŚCI OBIEKTÓW TECHNICZNYCH

Nowe potrzeby i wymagania odbiorców skłaniają producentów do ciągłego poszerzania asortymentowego swoich wyrobów oraz ich udoskonalania, czyli podnoszenia ich jakości. Śledząc rozwój problematyki jakości w czasie, można stwierdzić, że następował on w miarę rozwoju techniki, z którą problematyka ta jest ściśle związana. Rozwój ten można zaobserwować w każdej gałęzi produkcji, a przede wszystkim w przemysłach: metalowym, chemicznym, rolno-spożywczym i lekkim.

W rozwiniętych gałęziach przemysłu tworzy się obecnie pewien system działania projakościowego, którego celem jest zapewnienie ustalonej jakości - powtarzalnej za każdym razem - poprzez (przede wszystkim) zapobieganie powstawaniu wad, a nie ich wykrywanie. W świetle reguł tego systemu, przyczyn wszelkich odchyleń od założonej jakości należy szukać w zakłóceniach procesu na wszystkich etapach produkcji, począwszy od surowca, a skończywszy na błędach kontroli - o czym mówi wewnątrzzakładowa spirala jakości - rys. 16.

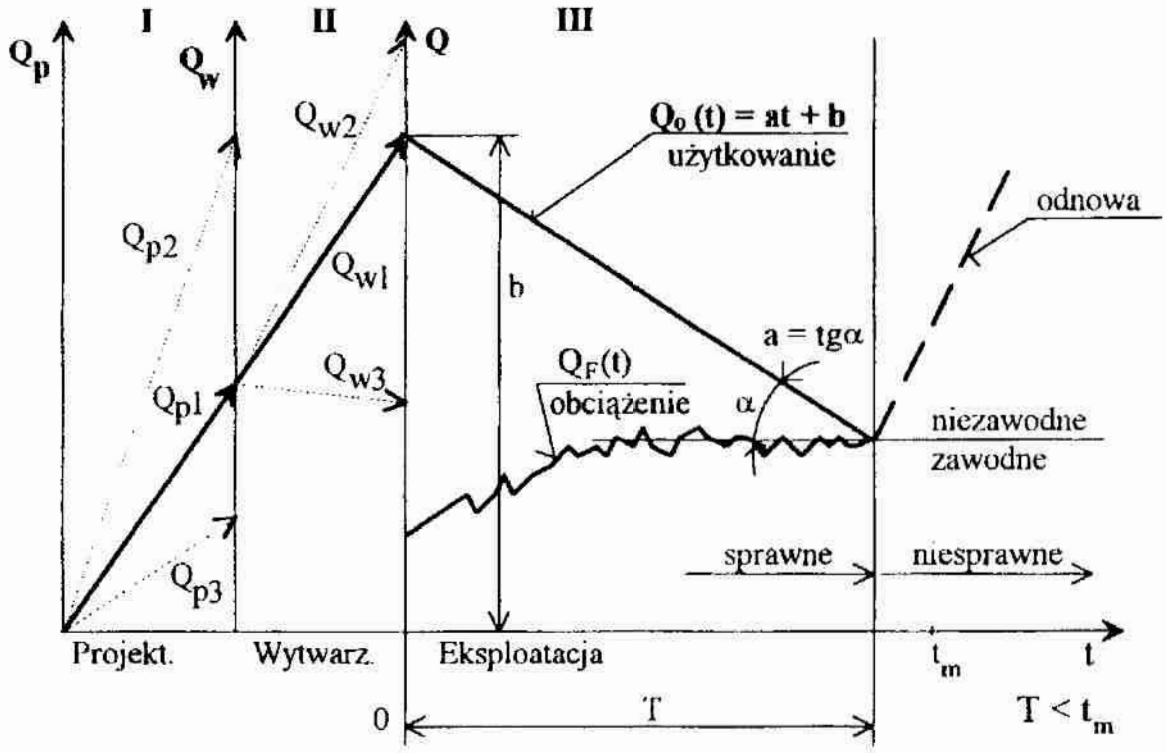


Rys. 16. Wewnątrzzakładowa spirala kształtowania jakości

Podwyższenie jakości można zatem uzyskać przez ograniczenie udziału poszczególnych wielkości zakłócających, na poszczególnych etapach procesu produkcyjnego, poczynając od etapu projektowania wyrobu aż do jego sprzedaży Proces realizacji obiektu technicznego stanowi bowiem ciąg działań od chwili powstania zamysłu wykonania obiektu do chwili wycofania go z eksploatacji.

Przydatność użytkowa obiektu - jakość w jej podstawowym znaczeniu - (pożytek Q, konsumowany podczas eksploatacji tego obiektu) nadawana jest w okresie jego wytwarzania

("młodości" obiektu). Wszystkie obiekty techniczne mają bowiem tę wspólną cechę, że przechodzą kolejno, jak gdyby, przez trzy etapy swego "życia": projektowanie, wytwarzanie i eksploatacja - rys. 17.



Rys. 17. Etapy "życia" obiektu technicznego

W dwóch pierwszych okresach (projektowanie i wytwarzanie) rzucone "słowo" (myśl, idea) przeistacza się w konkretny produkt. Podejmowane działania (decyzje) w tych dwóch okresach są wynikiem rozwiązywania problemów technicznych, tak aby produkt uzyskał odpowiednią jakość i mógł być (podczas aktu sprzedaży) zamieniony na towar. Problemy techniczne są to problemy obmyślania struktury produktu, optymalnej drogi jego wytwarzania oraz zabezpieczenia jego niezawodności podczas użytkowania.

Każdy problem charakteryzuje pewna liczba alternatywnych wyborów (sposoby, środki, procedury rozwiązań). W efekcie może powstać "coś" lepsze lub gorsze ("coś" o wyższej lub niższej jakości). W zależności od umiejętności twórcy (projektanta), obiekt osiąga na etapie projektowania (tj. modelu przedsięwzięcia, które ma zostać urzeczywistnione w przyszłości) określone cechy użytkowe.

Należy stwierdzić, że podstawowymi trudnościami, z jakimi konstruktorzy spotykają się obecnie w procesie projektowania wyrobów technicznych (proces - łac. postępowanie), jest względny nadmiar możliwych do uzyskania informacji dotyczących wymagań potencjalnych użytkowników. Są one zwykle nieuporządkowane, z tego względu trudno dostępne, o bliżej nieokreślonej wiarygodności - zatem niełatwe do porównywania i przetwarzania.

Liczne wyniki badań eksploatacyjnych podobnych wyrobów, rzeczywista różnorodność warunków (okoliczności) użytkowania powodują niemałą trudność w sformułowaniu wymagań do nowo projektowanego obiektu technicznego. Różne też są umiejętności i chęci wykonywania swego "dzieła" wśród konstruktorów. W efekcie tego, obiekt projektowany przez różnych konstruktorów przyjmuje różne poziomy jakości: Q_{p1}, Q_{p2}, Q_{p3}, lub inne.

Przez projektowanie obiektu technicznego w aspekcie jakościowym (I etap jego życia), należy rozumieć zespół czynności skierowanych na zwiększanie potencjalnego pożytku Q_p z tego obiektu. Potencjał Q_p opisuje więc "dziedziczne" zdolności obiektu do zachowywania swoich właściwości użytkowych w założonym czasie i założonych warunkach eksploatacji.

Na II etapie życia obiektu, tj. na etapie wytwarzania, odbywa się "przeistaczanie" tego potencjalnego pożytku Q_p w pożytek rzeczywisty Q_w. Na etapie tym może być on podwyższony do poziomu Q_{w1}, Q_{w2} lub pogorszona do poziomu Q_{w3} (poprzez utrzymanie, bądź nie, założeń konstruktora w określonych granicach). Zależy to zarówno od posiadanych maszyn i urządzeń technologicznych (środków technicznych) jak i ludzi obsługujących te maszyny i składających elementy produkowanego wyrobu w jedną "organizację", wypełniającą określone zadanie. "Organizacja" ta może być różnej odporności wewnętrznej Q_o na "trudy" życia Q_T, ponieważ może być "zawirusowana" genetycznie (przez konstruktorów) lub zdefektowana podczas "rodzenia" (przez technologów) i "kształcenia" (przez montażystów). Zatem, w chwili wchodzenia w "dorosłe życie" (zwracania włożonych weń zasobów energetycznych) obiekt może "startować" z różnych poziomów - opisujących potencjał eksploatacyjny Q_o.

W miarę upływu czasu t, kumulują się w tym obiekcie różne zmienne obciążenia zewnętrzne o sumarycznym potencjale niszczącym $Q_F(t)$. W trakcie użytkowania, w każdej chwili czasu t, następuje wymiana tych potencjałów. Początkowy potencjał eksploatacyjny Q_o oddając część swoich zasobów na pokonanie potencjału Q_F, ulega stopniowemu wyczerpywaniu się. Ponieważ jest to pewien proces, potencjał eksploatacyjny Q_o staje się pewną funkcją zależną od czasu: $Q_o(t)$. W pewnym momencie, gdy obciążenie zewnętrzne (potencjał niszczący) $Q_F(t)$ przewyższy potencjał eksploatacyjny $Q_o(t)$, obiekt staje się niezdatny do dalszego użytkowania - osiąga kres swego "życia" T (dotyczy to obiektów nieodnawialnych np. żarówki).

$$Q_F(t) \geq Q_o(t) = T \,. \qquad (4)$$

Dla obiektów odnawialnych, ta granica przechodzenia ze sprawnego w niesprawne jest zwykle pewnym pasmem ("cierpienia"): najpierw więc obiekt może być w stanie niewydolności technicznej (pracować z pewnymi ograniczeniami), a potem być w stanie niezdatności (nie pracować wcale). Jeżeli dokonamy odnowy jego potencjału eksploatacyjnego Q_o (przez odpowiednią obsługę), obiekt ponownie może być nam przydatny.

Najprostszym modelem opisującym utratę potencjału eksploatacyjnego, ale oddającym sens istoty sprawy, jest model opisywany funkcją liniową

$$Q_o(t) = at + b, \qquad (5)$$

gdzie: a - jest tangensem kąta nachylenia linii opisującej ten potencjał eksploatacyjny.

Wskutek zużywania się elementów obiektu zwykle jest to linia opadająca - (czasami jednak może być i wznosząca się np. dla starego wina i starych obrazów). Wydłużyć tę linię "życia" obiektu możemy trzema sposobami:

1) obniżyć wartość obciążenia zewnętrznego $Q_F(t)$ (dłużej przykładowo zachowasz buty w dobrym stanie jakościowym, kiedy zamiast zdzierać je po chodnikach będziesz jeździł samochodem). Podczas użytkowania obiektów technicznych,

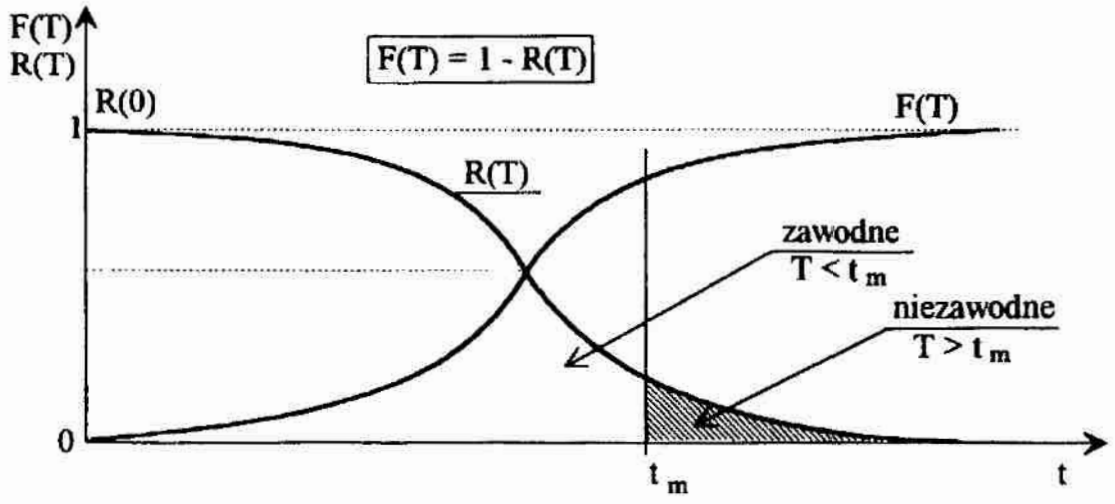
nie jest to zwykle celowe, ale tu znów "kłania się" sentencja: "*jak się nie ma ...*",

2) zmniejszyć intensywność zmian składnika "at" - osiąga się to zastępując materiały o niższej odporności na zużycie materiałami o wyższej odporności. Jest to domena działania inżynierii materiałowej i ciągłych doświadczeń eksploatacyjnych,

3) zwiększyć wartość składnika b.

Wartość składnika b wynika z poziomu kształtowania jakości na etapie projektowania i wytwarzania wyrobu. Należy więc zorganizować prace mające na celu wykrycie przyczyn odchyleń, od zakładanych charakterystyk, które mogą kryć się w materiałach technologicznych, procesach produkcji, metodach kontroli, kwalifikacjach personelu itp.

Zachowanie się obiektów nieodnawialnych podczas użytkowania - ich potencjał eksploatacyjny $Q_0(t)$ - wyczerpująco charakteryzuje dystrybuanta trwałości F(T) lub jej dopełnienie do jedności zwane funkcją niezawodności R(T). Typowe przebiegi tych funkcji obrazuje rys. 18.



Rys. 18. Graficzna ilustracja dystrybuanty trwałości i funkcji niezawodności

R(T) jest funkcją nierosnącą, na ogół monotonicznie malejącą, od R(0) (odpowiada to potencjałowi Q_0 z rys. 16) do zera, przy t dążącym do nieskończoności. Wymagania stawiane niezawodności obiektu nieodnawialnego mogą dotyczyć

niezawodności początkowej R(0) i przebiegu zmienności funkcji R w przedziale czasu (0, t_m), gdzie tm oznacza oczekiwany czas pracy obiektu. Obiekty nie zawodzą w działaniu, w chwili t_m, jeżeli ich okres trwałości T jest większy od czasu t_m($T > t_m$) oraz zawodzą - ponieważ zachodzi relacja odwrotna: $T < t_m$.

Na ogół żąda się aby niezawodność początkowa obiektu była równa lub bliska jedności. Zwykle zakłada się R(0) = 1 przyjmując, że na początku eksploatacji wszystkie obiekty są w stanie zdatności. Tego rodzaju założenie opiera się kontroli jakości tych obiektów, przeprowadzonej po zakończeniu procesu wytwarzania. Nie uwzględnia ona jednak w pełni zmian charakteru funkcji R. Analizując tę funkcję można w różny sposób stawiać obiektowi wymagania. Istotną sprawą jest również postawienie odpowiednich wymagań w stosunku do prób odbiorczych za względu na niezawodność wyrobu. Próby takie mogą polegać np. na sprawdzeniu poprawności pracy obiektu lub jego części w systemie eksploatacyjnym, przez pewien (na ogół) niewielki przedział czasu. Próby takie pozwalają także na ocenę jakości projektowej Q_p oraz sprawdzenie stabilności procesu produkcyjnego na podstawie oceny rozrzutu cech użytkowych (wartość Q_w). Pełnej oceny niezawodności można dokonać jednakże dopiero na podstawie długotrwałych badań eksploatacyjnych. Nie ma jednak sensu mówić o niezawodności urządzenia w zależności od stawianych wymagań, jeżeli wymagania takie nie były uwzględniane przy wytwarzaniu tego urządzenia i nie były sprawdzane podczas kontroli jakości. Wskazuje na to konieczność brania pod uwagę również czynników o charakterze eksploatacyjnym przy ocenie jakościowej.

Przy opisie jakości obiektów technicznych zazwyczaj zakłada się, że prowadzące do uszkodzeń zmiany właściwości obiektu mogą zachodzić również podczas przechowywania obiektu (starzenie się "moralne"). Dotyczy to zwłaszcza wielu systemów broni (np. rakiety), dla których okres przechowywania może być bardzo długi. Dla obiektów tego rodzaju celowe jest stawianie wymagań dotyczących zmian właściwości podczas przechowywania. Mogą być również formułowane wymagania dotyczące: warunków przechowywania, okresowych kontroli, sposobów mierzenia zmian poszczególnych

właściwości obiektu itp. Wymagania takie powinny być ustalane indywidualnie dla wybranych grup obiektów.

W dziedzinie badania złożonych problemów organizacyjnych, związanych z kształtowaniem jakości, stosowane są najczęściej wykresy Kaoru Ishikawy (profesora Uniwersytety Tokijskiego, uważanego za ich twórcę). Wykresy te, znane również pod postacią: wykresów przyczyn i skutków lub wykresów w postaci "rybich ości", są pomocną techniką graficzną, pozwalająca na uszeregowanie przyczyn niepowodzeń jakościowych i pokazanie ich wzajemnej więzi. W omawianych wykresach, na końcu osi poziomej podawany jest skutek, a na ościach (strzałkach) pochylonych (czasami pionowych) oraz dochodzących do nich pod kątami, podawane są przyczyny, które powodują ten skutek - rys. 16.

Przeprowadzona wg. takiego wykresu określona analiza przyczyn wadliwości wyrobu tworzy więc diagnozę stanu, która prowadzi do wyboru terapii - co jest celem działania projakościowego.

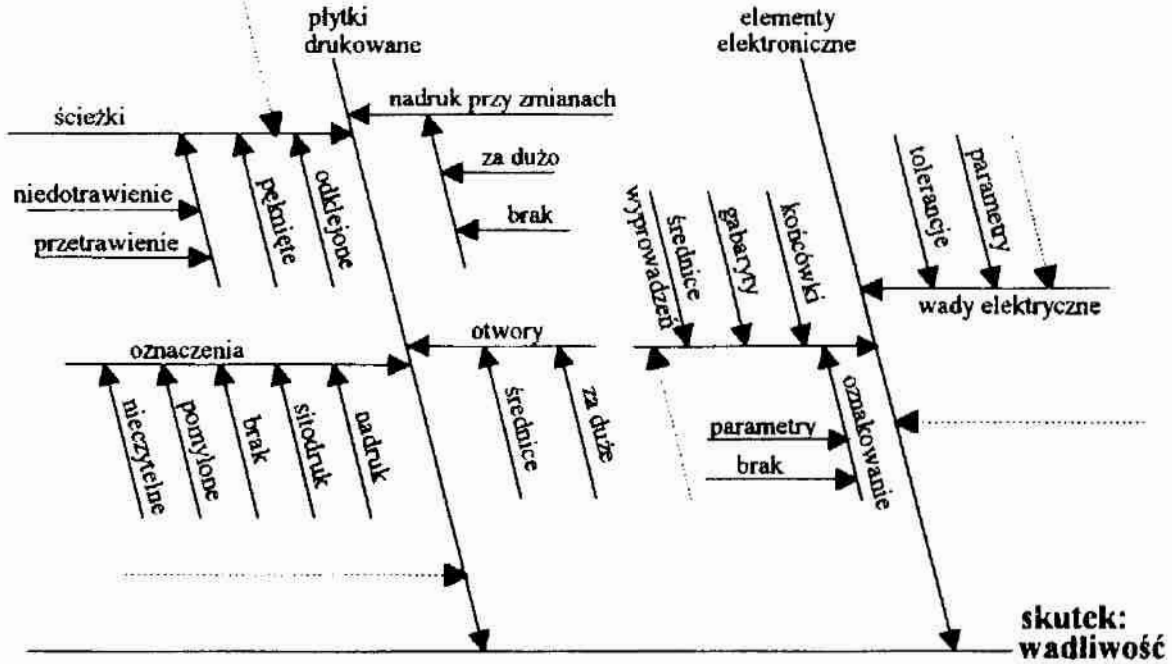
Dla ułatwienia analizy tych przyczyn warto zastosować oryginalną metodykę, proponowaną przez Kindlarskiego [13], opartą na zaobserwowaniu faktu, że wykres Ishikawy czytany:

* od głównej osi poziomej do najdrobniejszej ości odpowiada na pytanie: DLACZEGO?
* zaś w kierunku odwrotnym odpowiada na pytanie: JAKI TO PRZYNOSI SKUTEK?

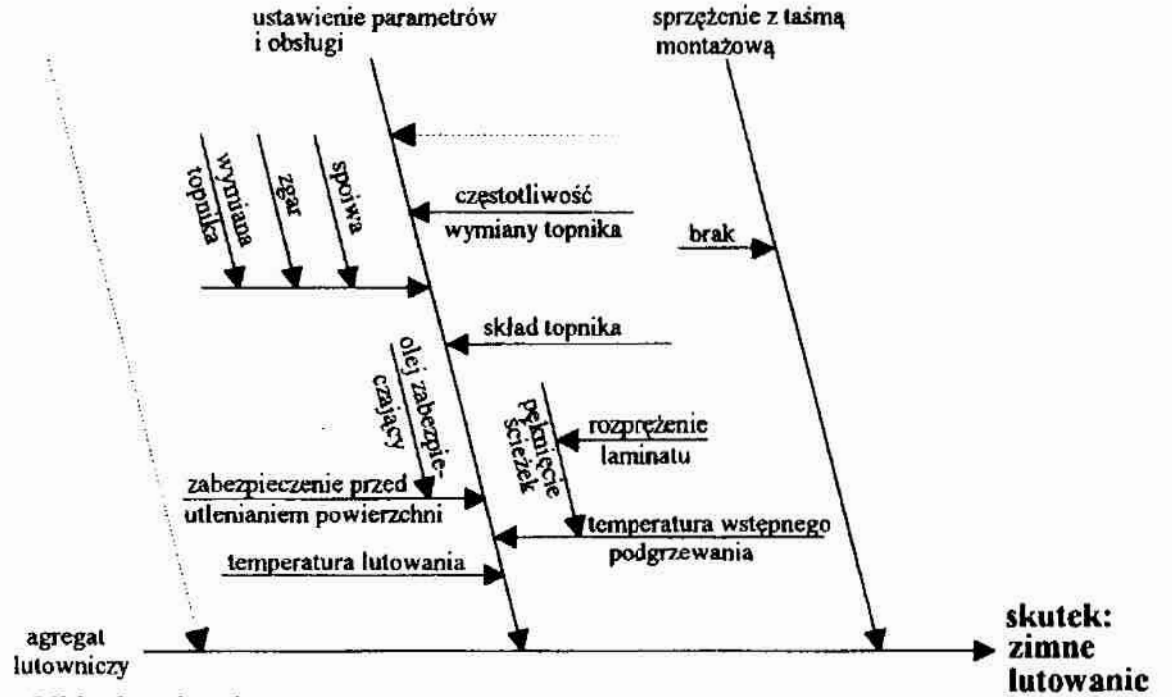
W zależności od rozwiązywanego problemu, wykres Ishikawy może ilustrować przyczyny i skutki wadliwej jakości w układzie przedmiotowym lub w układzie technologicznym. Układ przedmiotowy stosuje się wówczas, gdy z analizowanym skutkiem wadliwej jakości związane są układy: techniczny lub organizacyjny, dające się rozłożyć na oddzielne zespoły. Wtedy na osi poziomej oznacza się skutek. Na osiach (strzałkach) pionowych oznacza się zespoły analizowanego obiektu. Na osiach poziomych, (łączących się z pionowymi, oznacza się natomiast części tych zespołów itp.).

Układ technologiczny przedstawia natomiast przyczyny wadliwości wyrobów rozpatrywane na podstawie realizowanych procesów technologicznych. Układ ten pokrywa się z wykazem

operacji procesu technologicznego. Określa przyczyny źródłowe powstawania braków występujące w procesie wytwarzania.



Układ przedmiotowy przyczyn



Układ technologiczny przyczyn

Rys. 19. Wykres Ishikawy przyczyn wadliwości pakietów elektronicznych [13]

Oprócz wykresów Ishikawy, w analizie jakości stosowane są wszelkiego rodzaju histogramy (z wyników badań statystycznych), które pozwalają dostrzec charakter zmienności i swoiste uporządkowanie występujące pomiędzy badanymi zmiennymi. Ponadto, budowane są też diagramy Pareto (*Vilfredo Pareto - włoski ekonomista i socjolog, żyjący na przełomie XIX i XX wieku, który odkrył znamienny fakt, że 80 procent wszystkich braków jest spowodowane 20 % przyczyn, a pozostałe 80 % przyczyn ma na nie niewielki wpływ. Trzeba zatem cały swój wysiłek badawczy skupiać na odnalezieniu tych 20 % przyczyn i ich usunięciu*). Znaczenie zasady Pareto w rozwiązywaniu problemów jakości (i innych problemów decyzyjnych) jest wręcz fundamentalne - pokazuje bowiem sposób myślenia o problemach i ich przyczynach. W wielu doskonałych firmach na całym świecie nie można obecnie w ogóle prezentować czegoś - jako problemu - jeśli nie zbuduje się wykresu Ishikawy i diagramu Pareto.

Zasadniczym celem takich prac jest utrzymanie technologicznej dyscypliny w przedsiębiorstwie i żądanych właściwości materiałów, a także odpowiedniego poziomu i organizacji kontroli jakości. W dalszej kolejności należy opracować szczegółową dokumentację niezbędną do zrealizowania każdego punktu programu. Wytycznymi w tym względzie są zalecenia organizacji jakościowej procesu wytwarzania wyrobu, ujęte europejskimi normami ISO 9000.

3. JAKOŚĆ WEDŁUG NORM ISO 9000

Do roku 1979 o rynku wyrobów technicznych decydowali producenci. Od lat 80-tych dominuje, w krajach wysoko rozwiniętych, rynek nabywcy. Producenci zmuszeni więc zostali do położenia większej uwagi na oczekiwania rynku. Zebrane doświadczenia, w rozwiązywaniu problemów jakości, pozwoliły sformułować najlepsze zasady postępowania w tej dziedzinie i ogólne metody praktyki menadżerskiej. Przedstawiono je w formie norm międzynarodowych ISO 9000, dotyczących zarządzania jakością, które zatwierdzono (bez zmian) jako europejskie normy EN 29000 i uzupełniono normami EN 45000, określającymi zasady działania laboratoriów i jednostek certyfikujących - rys. 20.



Rys. 20. Schematyczne przedstawienie norm serii ISO 9000 -9004

Normy ISO 9000 przyjęto - jako normy krajowe - w ponad 50 krajach, w tym we wszystkich krajach WE i EFTA, a także USA i Japonii. Zostały one również ustanowione jako polskie normy PN-EN 29000 i PN-EN 45000. Sformalizowana normami ISO serii 9000 filozofia gospodarki, ujmująca systemowe zapewnienie jakości, stanowi coraz powszechniej akceptowaną praktykę w dziedzinie jakości. Na tę serię składa się pięć norm: od ISO 9000 do 9004.

W normach ISO 9001/2/3 wymaga się dokumentowania pewnych elementów ustanowionego **systemu jakości** w takim zakresie, aby system był sterowalny. Dotyczyć to więc powinno głównych działań wpływających na jakość. Wg ISO 9001, dokumentowania wymagają w szczególności (wg Jana Bagińskiego "Systemy jakości serii norm ISO 9000"):

* cele i polityka jakości,
* opis systemu; księga jakości,
* procedury postępowania dotyczące w/w głównych działań,
* plany jakości oraz wybrane instrukcje robocze,
* instrukcje kontroli, wzorcowania, badania i prób,
* kontrakty i dokumenty z tym związane.

Waga w/w dokumentów z punktu zapewnienia jakości nie jest jednakowa. Polityka jakości, cele dot. jakości oraz opis systemu jakości zamieszczone w **księdze jakości** dokumentują **poziom strategiczny** systemu jakości. Poziom ten obejmuje też strukturę organizacyjną i podział odpowiedzialności w zakresie jakości pośród najwyższego kierownictwa. Księga jakości, stanowi zwykle pierwsze źródło informacji na temat podejścia przedsiębiorstwa do zapewnienia jakości. Dokument ten oprócz polityki jakości podpisany przez dyrektora naczelnego i opisu systemu jakości powinien zawierać indeks procedur oraz schemat organizacyjny przedsiębiorstwa z podziałem odpowiedzialności pośród najwyższego kierownictwa.

Procedury, dla odmiany, opisują **taktykę** działań wydziałów, funkcji, osób średniego szczebla zarządzania związanych z realizacją ustalonej polityki jakości i celów jakościowych w codziennej pracy przedsiębiorstwa. Procedury odpowiadają na pytania: *kto*, *kiedy*, *gdzie* i w odniesieniu *do czego* podejmuje działania. Procedury obejmują głównie relacje pomiędzy ludźmi lub pomiędzy zespołami ludzi i zawierać winni jako minimum: cel wyrażający intencje dokumentu, jego zakres, odpowiedzialność za omawiane działania, niezbędne definicje, opis działań oraz dokumenty związane i ilustracje.

Plany jakości i instrukcje dokumentują **poziom operacyjny** działań na szczeblu wykonawczym pracownika biurowego przyjmującego zamówienia operatora maszyn, inspektora kontroli, montera. Instrukcje odpowiadają na pytanie *jak* i obejmują relacje człowiek - maszyna, człowiek - narzędzie pomiarowe, itp. Instrukcje określać powinny wymagania

odnośnie miejsca kontroli i prób, schematy pobierania próbek, tablice, ilustracje, itp.

Układ działań wg w/w dokumentacji przedstawia się zwykle w układzie hierarchicznym odpowiadającym piramidzie z wyróżnieniem trzech poziomów - rys. 21.



Rys. 21. Piramidalny model dokumentacji systemu jakości

4. JAKOŚĆ JAKO MIARA ZGODNOŚCI

Dla producentów działających na konkurencyjnym rynku wytwarzania wyrobów, czy świadczenia usług zaspokajających potrzeby klientów, jakość jest dogmatem. Jakość więc bardziej niż cena stała się kryterium zawierania transakcji handlowych. Jej miernikiem przestała być zgodność wyrobu z wymaganiami określonych norm, a stała się satysfakcja klienta. Stopień spełnienia jego oczekiwań i życzeń jest miarą jakości na konkurencyjnym rynku.

Każde wartościowanie "czegoś" (w nieco węższym zakresie pojęciowym - mierzenie) wymaga posiadania wzorca tego "czegoś" i miary zbliżenia się do tego wzorca. W odniesieniu do jakości, jeżeli przyjmiemy, że doskonałość (wzorzec) D jest najkorzystniejszym z możliwych stanów wszystkich cech (przymiotów jakości) rozpatrywanego wyrobu, to jakość J (quality Q) wskazuje stopień zbliżenia "z" stanu tych cech

rzeczywistego wyrobu do wyrobu doskonałego (rzeczywistego lub nie).

$$Q = z \cdot D , \qquad (6)$$

gdzie: $z \leq 1$.

Nasuwa się tu uwaga, że doskonałość jest względna: to co jednemu jest "chodzącą doskonałością", przez innego jest ledwo zauważane i zmienne z upływem czasu. Czas odbija swoje piętno również i na "doskonałościach", a ponadto, zaczynamy stawiać coraz to większe wymagania naszemu obiektowi. Zatem jakość też jest pojęciem względnym.

Jakość rzeczywistego wyrobu zależy od:

* trafności przewidywań potrzeb użytkownika i warunków środowiskowych użytkowania tego obiektu, ujętych dokumentacją konstrukcyjną, tj. jakości projektowej Q_p,
* dokładności wykonania obiektu, tj. jakości wykonania Q_w.

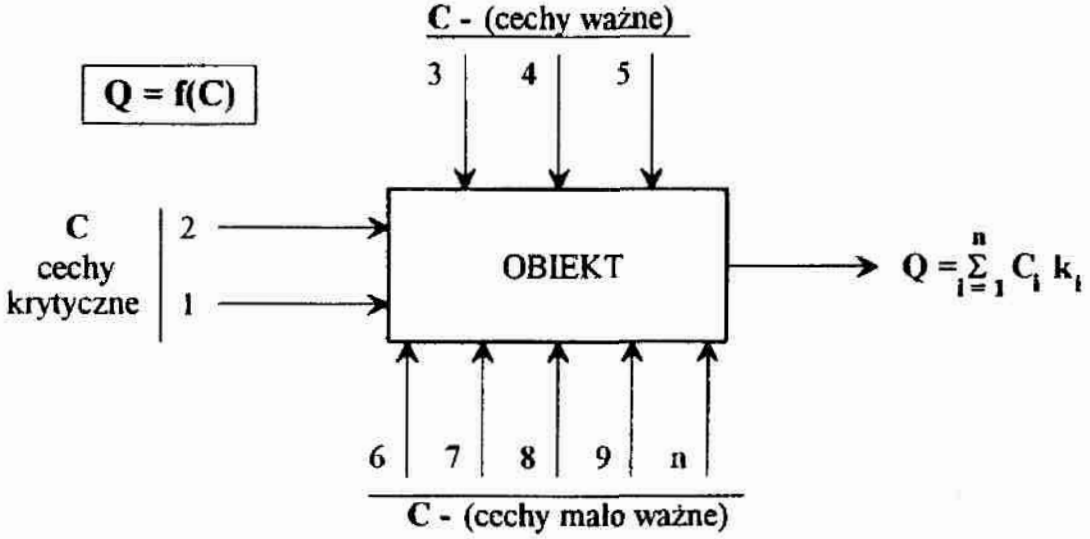
Obiekty wykonane wg różnej dokumentacji konstrukcyjnej mogą mieć więc inną jakość - mogą to być obiekty innej klasy. Włożona została bowiem w nie inna myśl (informacja) konstrukcyjna - powstała więc inna organizacja systemu użytkowego.

Obiekty wykonane według tej samej dokumentacji mogą być też obiektami innej klasy, ponieważ mogą mieć lepsze lub gorsze wykonanie elementów i wynikające stąd: lepsze bądź gorsze cechy użytkowe układów roboczych.

5. WYBÓR I PODZIAŁ CECH OKREŚLAJĄCYCH JAKOŚĆ

Konstruktor i technolog wytwarzając określony obiekt, kształtuje jego cechy i związane z nimi właściwości użytkowe. Poszczególne jednak cechy (cecha - odrębna właściwość) obiektu mają różne znaczenie dla użytkownika, różne też stawiane są im wymagania i tym samym różny winien być ich wpływ na jakościową ocenę obiektu. Zwykle nie wszystkie wymagania są jednakowo ważne, przy czym, na ogół, zauważane są wszystkie właściwości obiektu odbiegające od

normy zarówno w jedną jak i drugą stronę. Jeżeli poszczególne cechy obiektu, i odniesione do nich wymagania, oznaczymy przez $C_1 \ldots C_n$, a ich ważność dla użytkownika przez odpowiednie wagi $k_1 \ldots k_n$, to jakość Q wyrazi się sumą tych cech - rys. 22. Trzeba oczywiście uwzględniać, że wartości poszczególnych cech wyrażane są w różnych jednostkach miar i nie mogą być sumowane wprost. Wymagane jest przejście na wskaźniki względne.



Rys. 22. Schemat cech jakościowych obiektu

Na powyższym rysunku ilością strzałek pokazano zróżnicowanie ilościowe określonych cech obiektu. Najważniejsze wymagania stawiane obiektowi przez użytkownika, nazywane są wymaganiami krytycznymi, a cechy obiektu, do których odnoszą się te wymagania, są cechami najistotniejszymi (krytycznymi). Jest ich zwykle najmniej i na ogół zalicza się do nich te, dla których przewidziane (odpowiednimi normami) wymagania muszą być bezwzględnie spełniane. Niespełnianie ich może bowiem prowadzić do zagrożeń życia ludzkiego lub dużych strat materialnych. Mniej istotne wymagania odnoszą się do cech ważnych - dotyczących dla funkcji użytkowych obiektu, a najmniej istotne do cech mało ważnych, ale których zwykle można wyróżnić najwięcej. Przy kontroli jakości obiektów, cechy krytyczne winny podlegać 100 % sprawdzaniu, cechy ważne - kontroli wyrywkowej w połowie tej ilości, tj. 50 % na partię, a cechy

mało ważne - kontroli wyrywkowej w ilości jeszcze o połowę mniejszej, tj. 25 % na partię.

Opisy cech obiektu podaje się w zbiorze wymagań, które winien ten obiekt spełniać. Zbiór ten może zawierać wymagania określające jakość tego obiektu z różnych punktów widzenia: potrzeb użytkownika, interesów producenta, wymogów transportu, potrzeb handlu zagranicznego itp. Punktem wyjścia do sporządzania specyfikacji wymagań jakościowych jest, w pierwszej kolejności, wyodrębnienie istotnych cech obiektu, z danego punktu widzenia, a następnie przypisanie tym cechom określonych miar i metod ich sprawdzania. Powstaje tu jednak pytanie: jakie cechy można i należy uznać za istotne?

Odpowiedź jest pozornie prosta: dominuje punkt widzenia użytkownika, istotne są więc te cechy, które dotyczą funkcji użytkowych obiektu oraz wymagań, jakie stawiają użytkownicy. Powinna zatem istnieć zgodność pomiędzy charakterystyką obiektu - określaną odpowiednimi normami i warunkami technicznymi - a charakterystyką, którą narzuca funkcja użytkowa tego obiektu. Czy tylko jednak sama funkcja użytkowa obiektu jest istotna w ocenie jakościowej? Odpowiedź na to pytanie można prześledzić na prostym przykładzie: kubek aluminiowy i filiżanka porcelanowa spełnią tę samą potrzebę użytkową - przeniesienia napoju. Spróbujmy jednak napić się kawy z jednego i drugiego naczynia, a odczujemy, że nie smakuje ona tak samo. Dla jakości obiektów technicznych (i nie tylko) istotne są zatem też inne cechy, nie związane bezpośrednio z jego funkcją użytkową. Cechy te można pogrupować w pewne zestawy, dotyczące określonych wymagań. Zestawy te dotyczą następujących obszarów - wyróżników znamionowych jakości:

A - przydatności,
B - poprawności,
C - użyteczności,
D - doznaniowości,
E - opłacalności.

Jakość Q jest zatem funkcją:

$$Q = f(A, B, C, D, E) . \qquad (7)$$

Obiekt o wysokiej jakości winien wobec tego posiadać: dobre cechy użytkowe, być dobrze wykonany, być użytecznym w długim okresie czasu, mieć określone cechy estetyczne i niską cenę zakupu. Nie wszystkie wymagania dla danego użytkownika są jednakowo ważne, ale istnieje zasada, że dla dobrej jakościowej oceny obiektu należy rozpatrywać jego cechy w minimum 3 różnych grupach wyróżników znamionowych jakości.

Patrząc na cechy jakościowe obiektu nieco z innej pozycji, można je podzielić na dwie grupy:

1) techniczno-użytkowe, tj. cechy pierwotne, które mają charakter obiektywny (są niezależne od odczuć oceniającego),
2) emocjonalno-estetyczne, tj. cechy wtórne, dotyczące tych właściwości obiektu, które mają zdolność oddziaływania na zmysły ludzkie.

Z takiego podziału, wynika inny, stosowany w praktyce, podział cech obiektu na: - **mierzalne**, tj. takie, które możemy określić w wyniku odpowiednich pomiarów, - **niemierzalne** tj. takie, które możemy określić subiektywnie za pomocą naszych zmysłów. Przykładem cech mierzalnych i niemierzalnych jest np: - zapach mydła - niemierzalna cecha wtórna tego obiektu, - zawartość kwasów żywicznych w mydle - cecha pierwotna i mierzalna tego obiektu.

Tworzenie cech pierwotnych obiektu i ich pomiar należy do działań technicznych i jest głęboko analizowany przy omawianiu zarówno konstrukcji, technologii jak i metrologii technicznej.

Tworzenie cech wtórnych jest domeną działań artystycznych, ale z ich skutkiem spotykają się użytkownicy obiektów technicznych i wobec tego nieodzowna jest im pewna znajomość sposobu oceny tych cech.

6. OCENA CECH ESTETYCZNYCH

Cechy obiektu, zaliczane do grupy doznaniowych, odbierane są subiektywnie przez człowieka w kategoriach wartościowania estetycznego. Człowiek, świadomie lub nieświadomie, czerpie z otaczającego go środowiska wytyczne

do tego, co nazywa estetyką. Jego artystyczne wyczucie formy (wszystko ma bowiem swoją formę i treść) rozwija się i szkoli w kontakcie z tym wszystkim, co go otacza (otoczeniem bliższym i dalszym). Od dawien dawna kojarzymy wszystko co zdrowe i naturalne z pięknem i harmonią. Wszystko co nienaturalne, zwyrodniałe, chorobliwe - odczuwamy jako brzydkie i fałszywe. Już Platon napisał: "*to - dla czego warto żyć to oglądanie piękna*". Człowiek, dzieło sztuki, przedmiot użytkowy - jeśli były piękne, podobały się, wywoływały chęć bliskiego kontaktu. Zatem piękno jest jedną z najważniejszych kategorii wartościowania estetycznego. Jest jednak prawdą, że nie ma jakiejś ogólnej formuły piękna, raz na zawsze ustalonej definicji tej kategorii estetycznej. Jak wszystko inne, podlega ono subiektywizmowi i oddziaływaniu czasu. To co było kiedyś piękne "wczoraj", nie musi się podobać "dzisiaj", a ponadto, każdy ma indywidualne poczucie piękna - swój ideał piękna. Czy wobec tego są pewne stałe przymioty piękna, pozwalające znaleźć punkt odniesienia.

Różne są stanowiska w tej sprawie. Już w 1810 r. filozof angielski S. Stewart pisał: "ulubionym zajęciem filozofów jest od dawna określanie wspólnej cechy lub cech , które upoważniają do nadania dziełu nazwy piękne". Wcześniej nadmieniono, że to, co zdrowe i naturalne człowiek odbiera jako piękne, a więc każdy "przerost formy nad treścią" obiektu, jego udziwnienie, będzie odbierane jako nieestetyczne pozbawione piękna. Czy zatem jest tu jakaś "miara" czy też pozostaje tylko "wczuwanie się" - czy: "*czucie i wiara silniej mówi do mnie niż mędrca szkiełko i oko*".

Stanowisko dotyczące tej sprawy każdy zajmie sam, tak jak je zajął Adam Mickiewicz tym stwierdzeniem. Nauki ścisłe i ludzie techniki przychylają się jednak raczej do "mędrca szkiełka i oka" niż do jego "czucia", to drugie zostawiając sztuce. Jakie zatem przymioty piękna można uznać za dające się zmierzyć?

Już w starożytnej Grecji przyjęty był pogląd, że jednymi z głównych atrybutów piękna jest: odpowiednia miara (piękno jako miara i liczba) oraz symetria (piękno jako proporcja i układ części). Antyczna koncepcja piękna mówi, że piękno wzrokowe (przez wzrok odbieramy prawie 70 % wrażeń zmysłowych) wytwarza symetria i odpowiednie proporcje części

w stosunku do siebie i do całości. Punktem wyjścia w tworzeniu pięknych dzieł (obiektów), wg tej koncepcji, jest więc znalezienie pewnej wspólnej miary (modułu) dla wszystkich części i dla całości, dających proporcję i harmonię przyjemną dla oka.

W matematyce i sztuce znany jest np. stosunek liczb 21 : 34 (ściślej biorąc: 0,618034 do 1) jako złoty podział, zwany też podziałem harmonicznym. Artyści już od czasów antycznych wykorzystują w swoich dziełach zasadę proporcjonalności, polegającą na podziale odcinka na dwie różne części, z których mniejsza pozostaje w takim stosunku do większej, jak większa do całości. Na przykład: obraz " Bachus i Ariadna" (Tycjana) skomponowany jest dokładnie wg zasady złotego podziału.

Zasadę tą stosowano także do kanonów piękna człowieka, w których geometryczna analiza struktury człowieka oparta jest na długości twarzy - jako podstawowej miary innych jego części. Najbardziej znana w tym zakresie zależność to ta, że "piękna" wysokość człowieka odpowiada 9 długościom jego twarzy.

Zasadę tą znał i stosował też Leonardo da Vinci (znany jest jego rysunek człowieka wpisanego w kwadrat i koło). Był on jednak zwolennikiem proporcji "normalnej". Wychodził bowiem ze stanowiska, że nie ma idealnie doskonałej proporcji. "Coś", a tym bardziej człowiek, może być proporcjonalny - jakkolwiek jest gruby i krótki, czy też długi i cienki. Umiarkowane stanowisko tego artysty w kwestii proporcji, związane było z niezmiernie dużą liczbą praktycznych prób i doświadczeń, które ujawniły różne formy piękna człowieka i przedmiotów. Proporcja jest zatem ważna, ale nie pomaga w pełni zauroczeniu się kimś lub czymś, gdzie decyduje "namiętność duszy ludzkiej". Problem wydaje się być zatem w kategoriach filozoficznych nierozwiązywalny. Jak zatem podejść do tego zagadnienia przy ocenie estetyki obiektów technicznych? Sądzę, że należy stosować ewangeliczną zasadę "*co cesarskie cesarzowi, a co boskie - Bogu*". Tam gdzie można zmierzyć - należy mierzyć, a tam, gdzie się nie daje - winno dominować odczucie. W ocenie zbiorczej może więc wystąpić ocena podwójna - tak jak ma to miejsce, przykładowo, przy ocenie jazdy figurowej na lodzie.

7. METODOLOGIA OCENY JAKOŚCI OBIEKTÓW TECHNICZNYCH

Jakość obiektów technicznych może być oceniana z różnych punktów widzenia i z różnych aspektów:

1) Ze względu na spełnianie przez obiekt określonych wymagań:
   - użytkownika,
   - producenta,
   - odpowiednich norm,
   - organizacji konsumenckich,
   - handlu krajowego i zagranicznego,
   - innych (specyficznych), np. ergonomicznych itp.

W zależności od punktu widzenia, ocenie mogą podlegać różne cechy obiektu (mierzalne i niemierzalne) i odniesione do nich wymagania. Często u poszczególnych użytkowników badań mogą być one ze sobą sprzeczne. Nie są tu również do pominięcia koszty takich badań, zwłaszcza w odniesieniu do badań niezawodności.

2) Ze względu na zakres wyróżniamy ocenę:
   - pełną, badane są wszystkie cechy i rozpatrywane są wszystkie wymagania odnoszące się do jakości obiektu,
   - niepełną, obejmującą ocenę jednej lub kilku wybranych cech obiektu.

3) Ze względu na sposoby i metody oceny wykonywać można:
   a) badania laboratoryjne (szeroko rozumiane):
      - fizyczne, techniczne, techniczno-użytkowe itp.
      - organoleptyczne (za pomocą zmysłów), do tej grupy zalicza się również ocena walorów estetycznych obiektu,
   b) badania eksploatacyjno-użytkowe (u wybranych użytkowników),
   c) badania jednorodności produkcji - oparte na wynikach kontroli bieżącej produkcji, danych o reklamacjach i naprawach gwarancyjnych,
   d) badania wskaźników ekonomicznych obiektu, dotyczące np.: kosztów użytkowania w przyjętym okresie, relacji pomiędzy kosztem wytwarzania, ceną zakupu i jakością,
   e) badania preferencji konsumenckich (co poszukują konsumenci?),

f) badania porównawcze, które winny dać odpowiedź na pytanie: jaki jest poziom jakości ocenianego obiektu w stosunku do innych obiektów tego typu?

Należy jednocześnie mieć na uwadze, że badania i ocena jakości są tylko jednym z fragmentów systemu informacyjnego o eksploatowanym obiekcie. Do ogólnego celu funkcjonowania obiektu potrzebne są bowiem informacje z różnych źródeł, dające odpowiedzi na pytania dotyczące celów cząstkowych, związanych z funkcjonowaniem tego obiektu.

Ilościowa ocena jakości

Z dotychczasowych rozważań wynika, że obiekt techniczny, tak jak i każda inna wyodrębniona jego część, może podlegać pewnej ocenie jakościowej. Przez "ocenę" rozumie się przy tym pewien sąd wartościujący, powstający w toku określonego działania, zwanego ocenianiem (klasyfikacją). Celem takiego działania jest zmiana stanu wiedzy oceniającego o ocenianym obiekcie. Zatem, w trakcie działania ocenowego sam obiekt nie ulga zmianie, zmieniają się tylko nasze wyobrażenia o nim. Działanie ocenowe stanowi szczególny przypadek procesów informacyjnych, których informacja dotyczy stopnia spełnienia (lub niespełnienia) pewnych wymagań. Tylko takie informacje umożliwiają ocenę, tj. zmianę stanu wiedzy oceniającego o obiekcie. Zatem, aby dokonać jakiejkolwiek oceny, musimy mieć pewien wzorzec (nasze wymagania), do którego będziemy odnosili uzyskaną informację wartościującą stan badanego obiektu.

Czy chcesz mieć dziesięć złotych, czy tysiąc? Pytanie to dotyczy ilości tych środków i odpowiedź na nie jest retoryczna. Czy byłaby jednak odpowiedź tylko retoryczna na takie pytanie: czy chcesz mieć ten tysiąc w kilku banknotach, czy w monetach 10 groszowych? Pytanie to dotyczy tej samej ilości pieniędzy (ilość złotych nie ulega zmianie), ale innej ich cechy - jakie one są (jaka jest ich jakość?). Jakość tę możemy wyrazić w sposób ilościowy: chociażby przez zważenie banknotów i monet. Odnosząc wagę monet do wagi banknotów (w tym przypadku jest to nasz wzorzec) dokonamy oceny jakości tych pieniędzy w sposób ilościowy.

Opis ilościowy jakości polega więc na przyporządkowaniu jej określonych ocen ilościowych, wyrażających się iloczynem jednostki miary przez liczbę określającą, ile razy jednostka miary mieści się w mierzonej wielkości.

Każdy obiekt posiada określoną ilość i jakość, które odnoszą się do całego obiektu jak i do pojedynczych jego cech. Wszystko co da się zmierzyć jest ilością. Określając ilość jakiejś cechy nie mierzymy jej jakości lecz przejawy oddziaływania tej cechy, charakteryzujące jej natężenie składające się na ilość np.: 120 km/godz, 100 mm, 50 % itp.

Jeżeli tę ilość (danej cechy) odniesiemy do ilości tej cechy innego obiektu (rzeczywistego lub nie), to mamy już do czynienia z ilościową oceną jakości danego obiektu: jest on "o tyle" gorszy lub lepszy od tamtego - ma więc on taki lub inny poziom jakości. Zatem, jedynym sposobem wartościowania jakości jest określanie tego poziomu w arbitralnie wybranej skali, o stopniach oznaczonych w dowolny sposób np.: jakość wysoka, średnia, niska, normowa, pozanormowa itp. Poziomy jakości oznacza się niekiedy nazwami np: elita, super, selekt, 1 gatunek, 2 gatunek itp. Ma to zwłaszcza miejsce przy ocenie jakości owoców, warzyw, wyrobów przemysłu lekkiego itp.

Reasumując:
- 1 obiekt - mierzenie (pomiar ilości),
- więcej niż 1 obiekt - porównywanie (ocena jakościowa).

Metody oceny jakości

Przy każdej działalności zmierzającej do oceny jakości, występuje przynajmniej jedno z poniższych pytań, wymagające odpowiedzi:

1. Czy dana partia wyrobów odpowiada przepisanym wymaganiom?
2. Czy w danym procesie jest możliwe dotrzymanie tolerancji?
3. Czy przypisane wymagania odzwierciedlają potrzeby użytkownika?

Odpowiedź przynajmniej na jedno z tych pytań, jest nie tylko koniecznością, ale musi być oparta na faktach (określonych badaniach), a nie na opinii - stereotypie (*"na pewno to tak jest"*). Aby przy ocenie jakości opierać się na "faktach", należy mierzyć jej ilość według określonej metody.

Poniżej przedstawiono najszerzej stosowane w praktyce metody oceny jakości, uporządkowane wg sposobu postępowania (ocena szacunkowa, pomiar) oraz według czynników uwzględnianych przy ocenie - rys. 22.



Rys. 22. Metody oceny jakości

A. MAŁOCZYNNIKOWE METODY OCENY

A1. Metoda porównawcza

Polega na porównywaniu stanów wytypowanych do oceny cech: 1) wzajemnie między sobą, 2) z wzorcem reprezentującym stan poprawny. Ocena stanu wynika z uznania oceniającego.

A2. Ocena porządkowa

Istota tej metody polega na szeregowaniu ocenianych wyrobów w kolejności pogarszających się (lub polepszających) stanów kilku cech. Stany te oceniane są subiektywnie - szacunkowo. Sumy kolejnych liczb porządkowych, uzyskanych dla poszczególnych wyrobów, są podstawą ich ostatecznego wzajemnego uporządkowania.

B. WIELOCZYNNIKOWE METODY OCENY

B1. Ocena punktowa

Istota tej metody polega na subiektywnym przyporządkowaniu poszczególnym kryteriom odpowiedniej liczby punktów według uznania oceniającego. Jest to jedna z częściej stosowanych metod.

B2. Metoda alternatywno-punktowa

Jej nazwa wynika z samej istoty postępowania, mianowicie: stosuje się alternatywne rozstrzygnięcie przy ocenie poszczególnych cech: czy wyrób spełnia określone wymaganie, czy nie spełnia, a ustalone grupy ważności cech różnicuje się odpowiednią liczbą punktów (w postaci współczynników korekcyjnych: dla cech ważnych: $a_w = 50$, dla cech średnioważnych: $a_s = 10$, a dla cech małoważnych: $a_m = 1$).

C. MAŁOCZYNNIKOWE METODY POMIARU

C1. Wskaźnik wadliwości

Wyrażony jest on jako procentowy stosunek ilości wyrobów uznanych za wadliwe do ilości wszystkich wyrobów. Stosowany zwłaszcza tam, gdzie obowiązuje podział na gatunki danych wyrobów, np.: w przemyśle spożywczym, lekkim itp. Podstawą zakwalifikowania do danego gatunku jest liczba wad (błędów).

C2. Metody statystyczne

Zbiór szczegółowo opracowanych matematycznie zasad, zwanych potocznie statystyczną kontrolą jakości (SKJ). Istota tych metod polega na bieżącej kontroli wartości tych kryteriów, które uznane zostały za najistotniejsze dla danego wyrobu. Do wnioskowania o jakości wykorzystuje się zasady (reguły) analizy statystycznej.

D. WIELOCZYNNIKOWE METODY POMIARU

D1. Wskaźnik kosztu efektu użytkowego

Wskaźnik ten jest obliczany według wzoru:

$$K_u = \frac{K_z + K_r + K_e}{Q_e}, \qquad (8)$$

gdzie: K_z - koszty zakupu wyrobu,
K_r - koszty konserwacji i remontów,
K_e - koszty eksploatacji (amortyzacji),
Q_e - okres eksploatacji (efekt użytkowy).

Wskaźnik ten może być też wykorzystywany do porównywania opłacalności eksploatowanych maszyn i urządzeń produkcyjnych. Wówczas wzór ten ma postać:

$$K_u = \frac{K_j + K_e + K_r}{P}, \qquad (9)$$

gdzie: K_j - koszty jednostkowe (fabryczne) wyrobów produkowanych na danym urządzeniu,
K_e - koszty eksploatacji maszyny (urządzenia),
K_r - koszty remontów i konserwacji maszyny,
P - liczba jednostek wytwarzanego wyrobu.

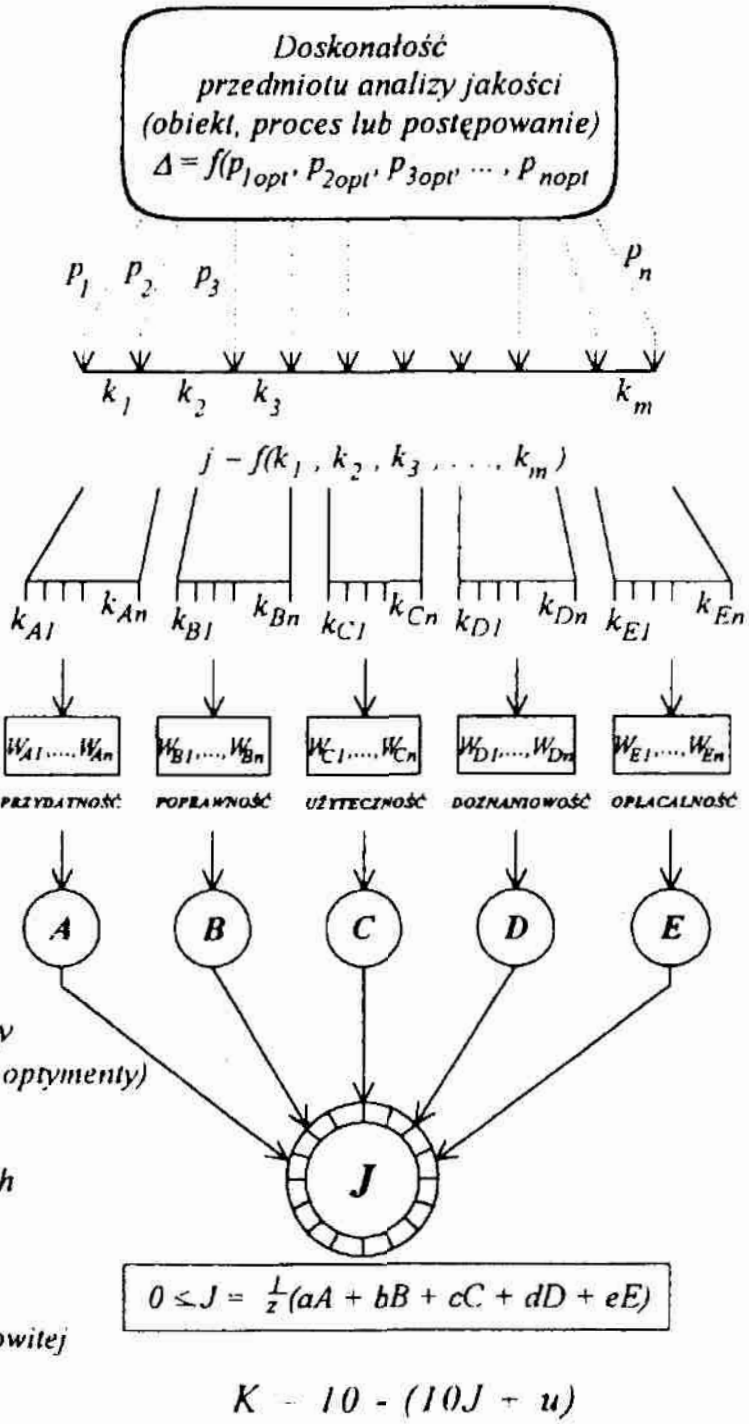
D2. Metoda uśrednionych znamion jakości

Istota tej metody polega na obliczaniu uśrednionego wskaźnika jakości z wartości znamion jakości poszczególnych grup znaczeniowych (przydatności - A, poprawności - B itd.).

Schemat metody uśrednionych znamion jakości (według Kolmana) przedstawiono na rysunku 23.

Zgodnie z tym rysunkiem, ogólny tok postępowania w metodzie uśrednionych znamion jakości można więc sprowadzić do:

1. Wyboru kryteriów ze stawianych wymagań i warunków.
2. Selekcji i segregowaniu kryteriów na poszczególne grupy znamionowe.
3. Kwantyfikacji stanów bezwzględnych do stanów względnych poprzez transformację stanów bezwzględnych do stanów względnych na skalę 0 - 1 , tj. dokonywanie tzw. uniteryzacji zerowej.



I. Rozpoznanie (identyfikacja przedmiotu i cech analizy)

II. Wybór przymiotów jakości $p_1 - p_n$

III. Zestawienie kryteriów jakości $k_1 - k_m$

IV. Selekcja kryteriów

V. Zestawienie grupowe kryteriów jakości

VI. Wyróżniki kryterialne

VII. Wyróżniki znamionowe

$0 \le x = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} W_{ix} \le 1$

$X = f(A, B, C, D, E)$

W_{ix} - *i-ty wyróżnik kryterialny grupy X (walory, mankamenty, optymenty)*

VIII. Wskaźnik jakości

$z = 1 - 5$, *liczba uwzględnianych znamion jakości*

$a, b, c, d, e \le 1$ - *wagi*

K - klasa jakości

u - uzupełnienie do liczby całkowitej

$K = 10 - (10J + u)$

IX. Analiza wyniku

J_{iv} - *wskaźnik jakości dla przedmiotu i w wariancie v*

X. Wnioski

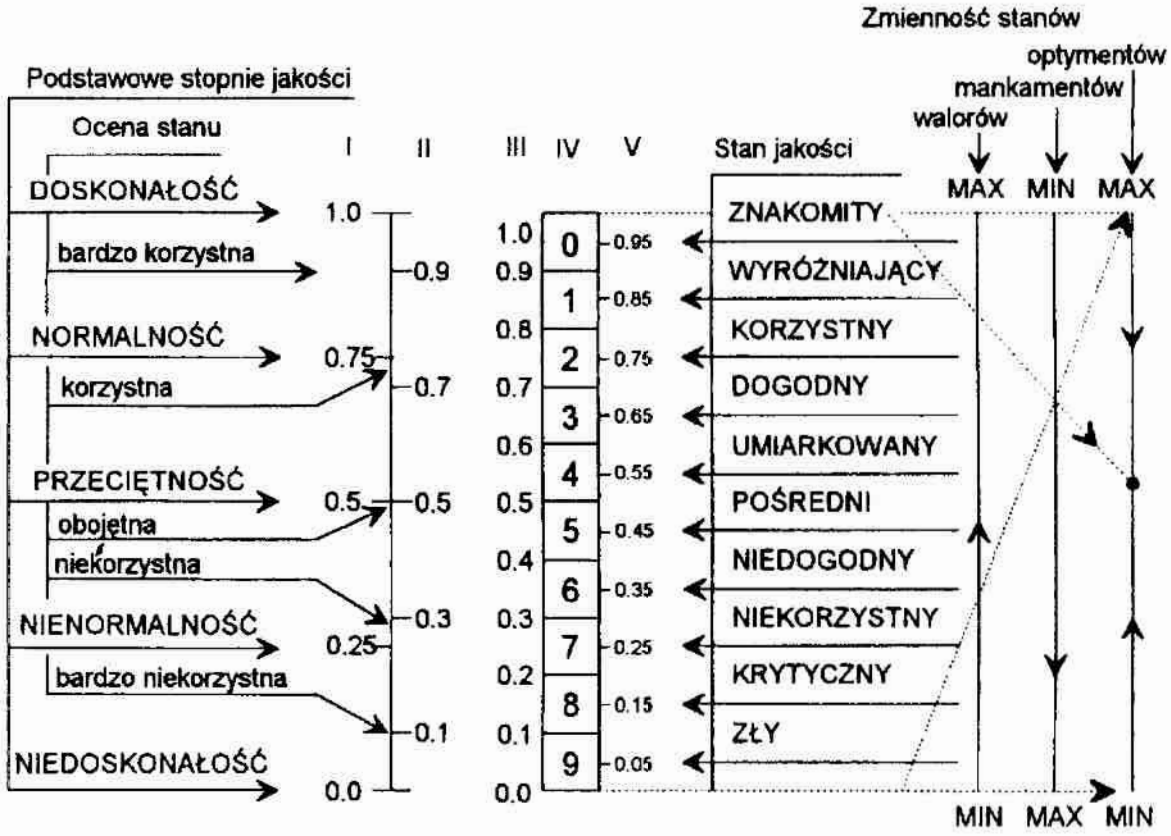
Wykazanie możliwości uzasadnionego polepszenia jakości.

Rys. 23. Etapy analizy jakości wg metody uśrednionych znamion jakości (według Kolmana)

4. Obliczaniu wyróżników znamionowych, jako średnich z transformowanych stanów kryteriów.
5. Obliczaniu wskaźnika jakości, jako średniej arytmetycznej z przyjętych wskaźników znamionowych.
6. Przypisanie określonego poziomu jakości na podstawie wartości wskaźnika jakości (ze skali 0 - 1).

Do określenia nazw stanów jakości można korzystać np. ze skali stanów zaproponowanej także przez Kolmana - rys.24.

Na rysunku tym ujęto: stopnie, skale, klasy i stany jakości w łącznym zestawieniu, z którego łatwo odczytać wzajemne korelacje pomiędzy ujętymi czynnikami. Symbolem N (N = 0,7) oznaczono na skali I, granicę normalności, tzn.: skrajną dopuszczalną wartość wskaźnika jakości J, którą uważa się jeszcze za poprawną. Liczba 0,7 reprezentuje więc stan korzystny, uważany za normalny.



Rys. 24. Skale stanów jakości (według Kolmana)

W zależności od celu badania jakości oraz odmiany kryterium (mierzalne lub niemierzalne), w metodzie tej rozróżnia się cztery sposoby ilościowego określania (kwantyfikacji) stanów jakości. Sposobami tymi są:

1) metryzacja,
2) segregacja szczegółowa,
3) segregacja przybliżona,
4) taksacja.

Metryzacja jest to postępowanie, które ma na celu określenie stanów mierzalnego kryterium jakości przez pomiar i obliczenie wyróżnika kryterialnego według podanej wyżej metodyki.

W przypadkach, gdy badane kryterium określone jest dopuszczalną zmiennością (tolerancją), stosujemy porównywanie wartości rzeczywistych z dopuszczalną tolerancją (segregacja szczegółowa lub przybliżona).

Taksacja jest to natomiast takie postępowanie, które ma na celu określenie stanu niemierzalnej cechy, stanowiącej kryterium jakości poprzez szacunkową (przybliżoną) ocenę tej cechy.

Szczegółowe sposoby postępowania przy korzystaniu z poszczególnych metod badania i oceny jakości obiektów technicznych podane będą przy ćwiczeniach praktycznych z jakości. Poniżej pokazany zostanie tylko przykład analizy jakości zgodnie z etapami podanymi na rys. 23.

Przykład analizy jakości wg uśrednionych znamion jakości

1. Rozpoznanie (identyfikacja obiektu analizy, cel analizy).

   Przedmiotem analizy jakości jest 5 gatunków chleba: x_1, x_2, x_3, x_4, x_5. Celem analizy jest wykazanie ilościowych różnic poszczególnych gatunków chleba, wynikających z sondowania opinii konsumenckiej.

2. Wybór przymiotów jakości.

   Konsument kieruje się przy wyborze takimi, łatwo sprawdzalnymi, przymiotami chleba jak:
   - wygląd ogólny (przypalony, rumiany itp.),
   - zapach (wskazujący na świeżość),
   - smak (różny dla różnych gatunków),
   - rozmiar bochenka,
   - kształt bochenka,
   - wady chleba (łatwo sprawdzalne np. zakalcowatość),
   - cena.

3. Zestawienie kryteriów jakości (istotne, nieistotne).

Mając na względzie prostotę postępowania - możliwego do wykonania przez przeciętnego konsumenta - wyżej wymienione przymioty chleba uznano jako jego kryteria jakości.

4. Selekcja kryteriów (podział na grupy znaczeniowe).

Ze względu na stosunkowo małą liczbę kryteriów, selekcja jest w tym przypadku zbędna. Postanowiono, że wszystkie wady chleba będą przyjmowane jako jego cechy istotne i uwzględniane analizą preferowaną (współczynnikiem korekcyjnym).

5. Zestawienie grupowe kryteriów (podział na grupy: A, B, C, D, E).

A) przydatność (rozmiar i kształt bochenka, cena),
B) poprawność (ta cecha nie jest tu rozpatrywana),
C) użyteczność (ta cecha nie jest tu rozpatrywana),
D) doznaniowość (wygląd, smak, zapach, wady),
E) opłacalność (cena - włączona w grupę A).
Zatem jakość chleba J = f(A, D).

6. Wyznaczanie wyróżników kryterialnych (mankamenty, walory, optymenty)

Wyróżniki kryterialne ustalono metodą taksacji. Kryteria D oceniane są według indywidualnych odczuć konsumentów (sondaż opinii).

7. Obliczenie znamionowych wyróżników jakości (jako średniej arytmetycznej kryteriów jakości danej grupy znaczeniowej.

Wyróżnik znamionowy przydatności (wg p. 5.A):

$$A = 1/3\ (k_1 + k_2 + k_3), \qquad (10)$$

przy czym: k - nazwy kryteriów, a 1 do 3 - ich numery kolejne.

Wyróżnik znamionowy doznaniowości (wg p. 5. D):

$$D = 1/4\ (k1 + k2 + k3 + k4), \qquad (11)$$

przy czym: k - nazwy kryteriów, a 1 do 4 -ich numery kolejne.

8. Obliczanie wskaźnika jakości (średnia arytmetyczna).

Wskaźnik jakości chleba:

$$J = 1/2\ (aA + dD)\ , \qquad (12)$$

obliczony dla 5 badanych gatunków przy czym:
a oraz d - współczynniki ważności (wagi) danej cechy.
Po obliczeniach, otrzymano następujące wyniki:

dla x_1 J = 0,595,
dla x_2 J = 0,869,
dla x_3 J = 0,412,
dla x_4 J = 0,030,
dla x_5 J = 0,821.

9. Analiza wyniku.

Wynik np: J = 0,595 oznacza, że jakość chleba gatunku x_1 stanowi 59,5 % stanu uznawanego za doskonały - co odpowiadałoby stanowi umiarkowanemu według skali na rys. 24.

10. Wnioski.

Wnioski winny w miarę potrzeby uwzględniać następujące sformułowania:

1) Jaka jest merytoryczna poprawność analizy (obiektywizm, wszechstronność)?
2) Czy ujawniony stan jakości spełnia stawiane w tym zakresie wymagania?
3) Które znamiona mają znaczenie dominujące i czy taki stan jest właściwy?
4) Czy analiza wykazuje jednolity, czy zróżnicowany stan przedmiotu analizy (o czym świadczą wzajemne proporcje między wartościami znamion jakości)?
5) Czy stan przedmiotu analizy wymaga korekty?
6) Które czynniki, jako najmniej korzystne, mogą spowodować ewentualne polepszenie jakości?
7) Który wariant jest optymalny spośród wielu innych rozpatrywanych w analizie (wraz z uzasadnieniem).

Podsumowanie

W powyższym wprowadzeniu .do praktycznych ćwiczeń z jakości starano się przekazać informację, że ilościowa ocena

jakości obiektów technicznych jest możliwa i może być oparta na rzeczowym podejściu do problemów. Dlaczego więc się tak nie robi? Różne są tego powody: pewne dogmatyczne poglądy obciążają sposób myślenia osób odpowiedzialnych za te sprawy, brak im czasu lub uzdolnień do wykonania badań, brak im odpowiednich przyrządów lub nie zdają sobie z tego sprawy; boją się też czasami, że fakty zaprzeczą głoszonym przez nich od lat opiniom. Tymczasem okazuje się, że zdobycie brakujących danych może być stosunkowo proste i oparte na "faktach", a nie tylko na "stereotypowej opinii". Przejdźmy zatem do ćwiczeń praktycznych.

LITERATURA

1. Adamkiewicz A.: Wstęp do racjonalnego wykorzystania urządzeń technicznych. WKiŁ, Warszawa 1982 r.
2. Bojarski W.: Wprowadzenie do oceny niezawodności działania układów technicznych. PWN, Warszawa 1967 r.
3. Beichelt F.: Problemy niezawodności i odnowy urządzeń technicznych. WNT, Warszawa 1974 r.
4. Benjamin J.R., Cornell A.C. Rachunek prawdopodobieństwa, statystyka matematyczna i teoria decyzji dla inżynierów. WNT, Warszawa 1977 r.
5. Borys T.: Elementy teorii jakości. PWN, WArszawa 1980 r.
6. Cygan Z., Jędrzejowicz P., Zięba S.: Badania systemów eksploatacyjnych. Wyd. Ossolineum, Wrocław, Warszawa, Kraków, Gdańsk, Łódź 1983 r.
7. Cyklis J. (red.): Optymalne decyzje w procesie produkcyjnym. Skrypt Politechniki Krakowskiej, Kraków 1984 r.
8. Dubowikow B.N.: Podstawy naukowej organizacji kierowania jakością. PWE, Warszawa 1969 r.
9. Hebda M., Mazur T., Pelc H.: Teoria eksploatacji pojazdów. WKiŁ, Warszawa 1978 r.
10. Juran J.M., Frank M., Gryna I.R., Jakość - projektowanie, analiza. WNT, Warszawa 1979 r.

11. Kiliński A.: Jakość. WNT, Warszawa 1979 r.

12. Kiliński A.: Podstawy teorii procesów realizacji. Wyd. Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1972 r.

13. Kindlarski E. Jakość wyrobów. PWN, Warszawa 1988 r.

14. Kolman R.: Ilościowe określanie jakości. PWE, 1973 r.

15. Konieczny J.: Sterowanie eksploatacją urządzeń. PWN, Warszawa 1975 r.

16. Kotarbiński T. Traktat o dobrej robocie. Wyd. Ossolineum Wrocław 1975 r.

17. Kożusznik B., Adamiec M.: 21stopni do sukcesu. Agencja Wydawniczo-Księgarska "KS". Warszawa 1993 r.

18. Maxwell J.: Być liderem. Wydawnictwo MEDIUM Warszawa 1994 r.

19. Longlois-Berthelot R. Trwałość, niezawodność, funkcjonalność wyrobów przemysłowych. WNT, Warszawa 1972 r.

20. Nosal Cz.S.: Umysł menedżera. Problemy - Decyzje - Strategie. Wrocławskie Wydawnictwo "Przecinek", Wrocław 1993 r.

21. Obłój K.: Mikroszkółka zarządzania. PWE Warszawa 1994 r.

22. Pawłow B.W.: Badania diagnostyczne w technice WNT, Warszawa 1967 r.

23. Piasecki S.: Optymalizacja systemów obsługi technicznej. WNT, Warszawa 1972 r.

24. Sadowski W.: Decyzje i prognozy. PWE, Warszawa 1977 r.

25. Smalko Z.: Podstawy projektowania niezawodnych maszyn i urządzeń mechanicznych. PWN, Warszawa 1972 r.

26. Wołgin L.N. Optymalizacja. WNT, Warszawa 1970 r.

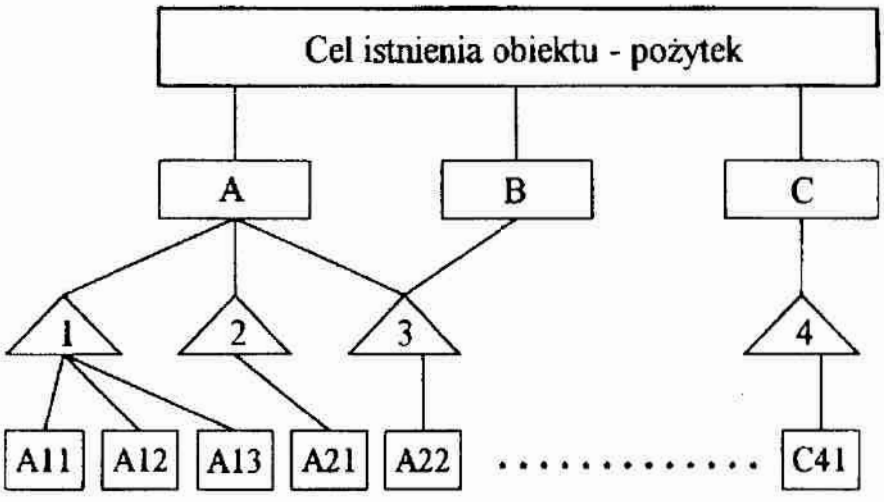
Ćwiczenie 1

Temat: WYZNACZANIE WSPÓŁCZYNNIKÓW WAŻNOŚCI KRYTERIÓW JAKOŚCI

1. Wprowadzenie

Zestaw kryteriów i jakości jest to uporządkowany wg określonych przesłanek zbiór czynników informujących o składowych jakości, a umożliwiający, po odpowiednim przystosowaniu, obliczanie jej poziomu. Sporządzanie zestawu kryteriów należy rozpocząć od sformułowania celu istnienia obiektu.

Najczęściej stosowane podejście za punkt wyjścia przyjmuje zbiór wymagań stawianych obiektowi. Następnie, odbywa się szukanie wśród elementów funkcjonalnych lub strukturalnych obiektu takich, które spełniają te wymagania. Sposób spełniania wymagania przez element funkcjonalny lub strukturalny stanowi podstawę do sformułowania kryterium. Schematycznie ujęto takie postępowanie na rys. 1.



Rys. 1. Schemat analitycznego podejścia do sporządzania zestawu kryteriów jakości

Obliczając wskaźnik jakości dla określonego wyrobu, lub procesu, bierze się pod uwagę wartości wyróżników kryterialnych, wyodrębnionych w trakcie analizy kryteriów jakości. Z punktu widzenia potrzeb użytkownika, jak i interesów producenta, rzadko jednak bywa, że wpływ wszystkich kryteriów na jakość wyrobu jest jednakowy. Istnieje prawo Pareto, które mówi o tym, że zwykle 20 % przyczyn decyduje o 80 % skutków. Na te przyczyny należy wobec tego, w pierwszej kolejności, skierować cały swój wysiłek badawczy, dążąc do podniesienia jakości wyrobu. Powstaje więc zagadnienie: jak wyodrębnić te najistotniejsze cechy wyrobu, względnie jak zróżnicować wagę wpływu poszczególnych cech na przydatność użytkową wyrobu? Inaczej mówiąc: jak obliczyć wskaźniki natężenia (współczynniki ważności - wagi) poszczególnych kryteriów jakości danego wyrobu?

2. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest przedstawienie kilku prostych metod różnicowania i stopniowania ważności kryteriów jakości.

3. Dane wyjściowe

Zaznajomienie się (z możliwymi do wykorzystania) metodami różnicowania kryteriów jakościowych wyrobów zostanie pokazane na przykładzie wyrobów codziennego użytku:

Zad. A.
Pralka automatyczna, której kryteria jakościowe to:

1. Cena katalogowa.
2. Koszty eksploatacji (tj. koszt wody i prądu, przy 4 osobowej rodzinie i 10 letnim okresie eksploatacji).
3. Wymiary (zajmowana przestrzeń).
4. Masa bielizny, którą można prać jednorazowo.
5. Czas prania.
6. Wielostronność programu prania.
7. Samoczynność wyłączania się.
8. Osiągana temperatura wody.
9. Cichobieżność.
10. Trwałość.

11. Bezpieczeństwo elektryczne.
12. Wygoda eksploatacji (łatwość ładowania, rozmieszanie środka piorącego, łatwość zmiany programu prania, wyraźne oznaczenia i prostota obsługi, możliwość kontroli przebiegu programu prania itp.).
13. Wyniki prania (stopień wyprania, stopień wybielenia, stopień zniszczenia bielizny itp.).
14. Wygląd ogólny.

Zad. B.
Chłodziarka domowa - o kryteriach jakościowych:

1. Pojemność [dm^3].
2. Zużycie energii w ciągu doby/na 1 dm^3 pojemności [Wh].
3. Cena zakupu.
4. Bezpieczeństwo elektryczne.
5. Sprawność.
6. Rozkład temperatur w komorze chłodniczej.
7. Trwałość.
8. Niezawodność.
9. Stabilność regulacji.
10. Estetyka.
11. Funkcjonalność.
12. Stosunek pojemności użytkowej do całkowitej.
13. Odporność na korozję.
14. Stosunek masy chłodziarki do jej pojemności użytkowej.

4. Sposób realizacji

Do różnicowania ważności kryteriów jakościowych, zwykle stosuje się postępowanie ankietowe. W ankiecie prosi się respondentów o różnicowanie ważności kryteriów według opisanych w ankiecie metod.

Najczęściej stosowane są przy tym metody:
a) stopniowania naturalnego: w skali dwustopniowej, pięciostopniowej lub dziesięciostopniowej,
b) techniczna,
c) uniwersalnego zestawu kryteriów.

Ad a)
Przy stopniowaniu naturalnym grupuje się kryteria odpowiednio: w dwóch, pięciu lub dziesięciu grupach,

w zależności od przyjętej skali. W każdej z grup winny się znajdować kryteria, których waga jest zbliżona. Każdej z grup przyznaje się następnie wartość wyrażoną liczbą naturalną (odpowiednio ze skal: 1-2, 1-5 lub 1-10).

Ad b)
Metoda techniczna polega na przypisaniu cząstkowych udziałów procentowych poszczególnym kryteriom w zależności od: ich znaczenia funkcjonalnego, usankcjonowania wymagań wobec nich, typu, sposobu wyznaczania i złożoności. Udziały cząstkowe poszczególnych kryteriów można wyliczyć ze wzoru (1):

$$a_i = \frac{k_i}{k_{\min}}, \qquad (1)$$

gdzie: $a_1 \ldots a_i$, udziały cząstkowe współczynników ważności poszczególnych kryteriów, będące stosunkiem poziomu ważności określonego wskaźnika k do minimalnego k_{min}.

Ad c)
W metodzie uniwersalnego zestawu kryteriów, ocenia się stopień informacyjności kryterium, tzn. ustala, się: w jakim stopniu kryterium to informuje o: bezpieczeństwie, nowoczesności, nowości, użyteczności, wadliwości, wyglądzie, kosztach, trafności, skuteczności i niezawodności obiektu. Stopień informacyjności ocenia się w skali 0 - 5. Po przeprowadzeniu postępowania ankietowego, ustala się ważność kryteriów, jako średnią z otrzymanych ocen.

5. Tok postępowania

Dla podanych (w zad. A, B) wyrobów, ustalić istotność kryteriów jakościowych przez przyporządkowanie im określonego współczynnika ważności k, wykorzystując: do zadania A metodę naturalną ze skalą 1 - 10, a do zadania B - metodę techniczną. Do każdego wyrobu opracować tabelę zbiorczą według poniższego wzoru.

Uwaga: *przed wpisaniem do tabeli I, z podanego zbioru kryteriów należy odrzucić 4 kryteria, które mają najmniejszy wpływ na przydatność użytkową analizowanych wyrobów.*

Tab. I. Ankieta współczynników ważności kryteriów jakości wyrobu .....

Inicjały ankietera	Nr kryterium jakości									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A.K.										
B.S.										
. . .										
suma punktów										
średnia arytmet.										
wsp. ważności										

Uwaga: *W pierwszym wierszu wpisujemy swoje wyniki, a w następnych wierszach wyniki pobrane od swoich kolegów z grupy (min 5).*

Współczynniki ważności, w metodzie technicznej, wyznacza się, przyjmując za podstawę najmniejszą ze średnich. Kryterium o najniższej średniej arytmetycznej otrzymuje wartość równą 1, a pozostałe współczynniki powstają przez podzielenie pozostałych średnich przez wartość najmniejszą. Wartości tych współczynników należy wpisać w ostatnim wierszu powyższej tablicy. Najwyższy z tych współczynników określa najważniejsze z kryteriów jakości danego wyrobu. Dalszą kolejność kryteriów wyznaczają malejące wartości tych współczynników (w metodzie naturalnej, taką kolejność wyznaczają średnie arytmetyczne dla danego kryterium jakości).

6. Sprawozdanie

W sprawozdaniu należy podać zestawienia wybranych przez siebie kryteriów jakości poszczególnych analizowanych wyrobów (pralki i chłodziarki) oraz wypełnić tabelę z wynikami ankiety dotyczącej współczynników ważności kryteriów jakości. Na podstawie otrzymanych średnich arytmetycznych, wykreślić histogram ważności poszczególnych kryteriów (oś odciętych - numer kryterium, oś rzędnych - wartość średniej) w kolejności

od największej wartości do najmniejszej. Podzielić ten wykres na dwie strefy: A - dwa pierwsze kryteria oraz B - pozostałe 8.

Z podanego zestawienia kryteriów jakości dla pralki i dla chłodziarki wybrać (indywidualnie, według siebie) dwa najistotniejsze kryteria jakości (20 %), które (zgodnie z prawem Pareto) mają decydujący wpływ (80 %) na przydatność użytkową tych wyrobów. Porównać swój wybór z wyborem "ankietowym". Podać wnioski dotyczące najistotniejszych kryteriów jakości pralek i chłodziarek domowych oraz zgodności ocen indywidualnych (subiektywnych) z ocenami uogólnionymi poprzez ankietowanie.

7. Literatura

1. Kolman R.: Ilościowe określanie jakości. PWE, Warszawa 1973 r.
2. Kolman R., Preihs J., Dambek Z.: Sterowanie jakością wytwarzania. Ćwiczenia audytoryjne. Skrypt Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 1990 r.

Ćwiczenie 2

Temat: OCENA JAKOŚCI WYROBU NA PODSTAWIE CECH NIEMIERZALNYCH

1. Wprowadzenie

Pewne istotne cechy wyrobu, określające jego jakość, zalicza się do grupy emocjonalnych i estetycznych. Są to cechy wtórne, dotyczące tych właściwości wyrobów, które mają zdolność oddziaływania na zmysły i wywołanie w nich określonych wrażeń. Są one, na ogół, cechami niemierzalnymi. Dokonując oceny wyrobu według tych cech, dokonujemy najczęściej wartościowania estetycznego, opierając się na pewnych doznaniach wewnętrznych.

Ocena cech niemierzalnych wyrobu polega zatem na prostych badaniach:

* Za pomocą zmysłów (organoleptycznie):
  - za pomocą słuchu (badania akustyczne),
  - za pomocą wzroku (badania wizualne),
  - za pomocą dotyku (badania chropowatości),
  - za pomocą węchu (badania zapachu),
  - za pomocą smaku (degustacje).
* Za pomocą zmysłów przy zastosowaniu aparatury pomocniczej, zwłaszcza mechanicznej i optycznej:
  - badania dźwięku,
  - prześwietlanie,
  - próba palenia,
  - powiększenie za pomocą lupy lub mikroskopu.
* Za pomocą zmysłów, przy użyciu materiałowych środków pomocniczych: woda, wzorce porównawcze itp.
* Badania chemiczne - jakościowe: reakcje identyfikujące wyrób, analizy jakościowe itp.
* Inne proste badania technologiczne i biologiczne.

2. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z wybranymi metodami oceny jakości wyrobu według cech niemierzalnych.

3. Dane wyjściowe

Zad. A.
Danych jest 10 jednakowych wyrobów o różnej wytrzymałości mechanicznej (kształtki ceramiczne). Posegregować te wyroby na klasy jakościowe, różniące się między sobą właściwościami mechanicznymi, stosując badania akustyczne za pomocą słuchu. Pożądana jest przy tym wyższa wytrzymałość mechaniczna kształtki. *Uwaga: wzrost właściwości wytrzymałościowych objawia się wzrostem wysokości dźwięku wydawanego przez wyrób.*

Zad. B.
Danych jest 10 wyrobów o różnym stopniu wybłyszczenia (połysku). Posegregować te wyroby pod względem ich wybłyszczenia, stosując metodę wizualną, przy pomocy wzroku. Pożądany przez odbiorcę jest wyrób o większym połysku.

Zad. C.
Danych jest 10 wyrobów o różnej chropowatości powierzchni. Posegregować te wyroby, biorąc pod uwagę stopień ich gładkości, stosując porównawcze badania chropowatości za pomocą dotyku. Pożądany jest wyrób o mniejszej chropowatości powierzchni.

4. Sposób realizacji

Do oceny jakościowej badanych wyrobów można zastosować metodę taksacji (subiektywnej oceny według swoich zmysłów). Taksacja jest to postępowanie mające na celu określenie stanu niemierzalnej cechy, stanowiącej kryterium jakości, poprzez szacunkową ocenę tej cechy według jednolitej skali stanów i przyjęcie odpowiedniego wyróżnika kryterialnego - jako wartości średniej z oceny dokonanej przez różne osoby.

5. Tok postępowania

Aby ustalić jakość wyrobu według tej metody, należy:

1. Oszacować badaną cechę wyrobu przez odwołanie się do opinii pewnej grupy osób (próbki reprezentatywnej), podając im pewną skalę ocen badanej cechy np.: od 0 (brak danej cechy) do 1 (pełny stan nasycenia tej cechy).
2. Zestawić wyniki ankiety i obliczyć średnią arytmetyczną z ocen wystawionych przez ankietowane osoby.
3. Przyporządkować danej średniej wartość wyróżnika kryterialnego W, stanowiącego granicę danego stanu jakości. Przy postępowaniu tym pomocne mogą być informacje o minimalnych wartościach wyróżnika W dla danego stanu jakości (patrz rys.24 we wprowadzeniu do ćwiczeń).
   W ćwiczeniu proponuje się wykorzystać II skalę stanów, według której:

   - stan bardzo korzystny - wartość wyróżnika W = 0,9 (1)
   - stan korzystny - " " W = 0.7 (2)
   - stan obojętny - " " W = 0,5 (3)
   - stan niekorzystny - " " W = 0,3 (4)
   - stan bardzo niekorzystny - " " W = 0,1 (5)

   Jest to jedno z możliwych przyporządkowań stanów badanych wyrobów (w ćwiczeniu można wykorzystać do tego celu również i inne skale stanów podane na rysunku 24).

4. Nazwać klasy jakości badanej cechy wyrobu. Według proponowanej skali stanów, wartości wyróżników kryterialnych W podzieliły przestrzeń 0 - 1 na 5 klas jakości, przy czym: klasie 1 odpowiadałaby co najmniej wartość W = 0,9. Zwykle przyjmuje się też, że jeżeli jakość analizowanego wyrobu jest dobra (korzystna), to liczbą określającą jego stan (a tym samym i wartość kryterialnego wyróżnika jakości) winno być W nie mniejsze od 0,7. Poniżej W = 0,3 można uważać daną cechę za niekorzystną dla jakości danego wyrobu - co oznacza, że nie znajduje ona akceptacji u ankietowanych osób. Jest to sugestią do budowy wykresu "rybich ości" (Ishikawy), tj. prac organizacyjnych związanych z poprawą jakości.

Taksację stosuje się z konieczności tylko wtedy, gdy pewnych istotnych kryteriów ocenianego wyrobu nie można zastąpić przez kryteria mierzalne, albo gdy wyznaczenie kryteriów mierzalnych ze względu na trudności pomiaru jest niemożliwe.

Uwagi organizacyjne:

A) Do każdego zadania opracować tabelę zbiorczą, według poniższego wzoru (Tab. I), wpisując w pierwszym wierszu wartość (oszacowanej przez siebie) oceny ze skali 0 - 1.

B) Zebrać wyniki taksacji (od min 5 kolegów z grupy wykonujących dane ćwiczenie) i wpisać je do następnych wierszy danej tabeli.

C) Obliczyć średnie wartości wyróżników kryterialnych danych wyrobów

D) Na podstawie wartości wyróżników kryterialnych zakwalifikować dany wyrób do określonej klasy jakości (od 1 do 5), którą należy wpisać w ostatni wiersz tabeli.

E) Opracować wykres Ishikawy (w układzie technologiczno - organizacyjnym) przyczyn źródłowych, wpływających na poprawę gładkości powierzchni przy toczeniu (zad. C). Do analizy przyczyn można stosować układ czynników uczestniczących w procesie produkcyjnym - tzw. układ 5 M. Są nimi: Man (człowiek), Material (materiał), Machine (maszyna), Method (metoda), Management (organizacja - kierowanie).

Tabela I. Wyniki oceny jakościowej wyrobu .....

Inicjały ankietera	Nr wyrobu									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A.K.										
B.S.										
. . .										
średnia arytmet.										
wart. wyróżnika										
klasa jakości										

6. Sprawozdanie

W sprawozdaniu należy zamieścić: treść poszczególnych zadań, opracowaną tabelę wyników oraz wnioski dotyczące trafności swoich ocen jakościowych badanych wyrobów, na tle oceny uzyskanej w wyniku ankietowania szerszego grona osób. Ponadto, zamieścić (opracowany indywidualnie) wykres Ishikawy, dotyczący przyczyn wpływających na poprawę gładkości powierzchni po toczeniu.

7. Literatura

1. Kindlarski E.: Wykresy Ishikawy i Pareto. Zarządzanie przez jakość (TQM). Wydawnictwo Bellona. Warszawa 1993 r.
2. Kolman R. Ilościowe określanie jakości. PWE, Warszawa 1973 r.
3. Kolman R., Ślusarczyk J., Dambek Z.: Sterowanie jakością wytwarzania - ćwiczenia audytoryjne. Skrypt Pol. Gdańskiej, Gdańsk 1979 r.

Ćwiczenie 3

Temat: OCENA WARTOŚCI UŻYTKOWEJ WYROBU

1. Wprowadzenie

Nie istnieje dla nas żadna wartość bez oceny. Ocena bowiem stanowi o wartości. Ocena przypisuje danemu stanowi rzeczy masz subiektywny stosunek do tej rzeczy - ile to dla nas jest warte (obojętnie przechodzi się jedynie wobec rzeczy bezwartościowych). Tak więc powiedzenie "ocena wartości" jest dużym skrótem myślowym i z psychologicznego punktu myślenia nie ma sensu, gdyż właśnie ocena - niezależnie od tego na czy była oparta i jak uzasadniona - tworzy wartość.

Na jakość wyrobu składa się jego wartość użytkowa i wartość estetyczna. Wartość estetyczna wynika z cech wtórnych wyrobu, dotyczących tych jego właściwości, które mają zdolność oddziaływania na zmysły i wywołanie w nich określonych wrażeń. Metodyka oceny tej wartości rozpatrzona była w ćwiczeniu poprzednim (ćwicz. 2). Wartość użytkowa wynika natomiast z sumy cech wyrobu, które dają żądane funkcje użytkowe, lub też są tym funkcjom przyporządkowane. Analiza wartości użytkowej dotyczy więc podstawowych funkcji wyrobu. Analizie podlega nie wartość w sensie kosztu, lecz wartość techniczna wyrobu, która jednak w wyniku zmian nie wpływających na zmniejszenie użyteczności winna dać obniżkę kosztów. Za przyczyny zbędnych kosztów uznaje się: brak odpowiedniej informacji o nowoczesności wyrobu oraz o specyficznych potrzebach odbiorcy.

Do oceny jakości wyrobów w aspekcie użytkowym można zastosować wzory matematyczne. Jeżeli potrafimy bowiem wyrazić jakość wyrobu za pomocą ogólnego wskaźnika liczbowego j, to efektywność jakości E można obliczyć z równania (1):

$$E = \frac{k}{j}, \qquad \text{lub} \qquad E = \frac{c}{j}. \qquad (1)$$

Efektywność jakości E jest tu więc wyrażona jako stosunek jednostkowego kosztu k wyrobu, lub jego ceny c, do wskaźnika liczbowego jakości j.

Przy porównywaniu dwóch wyrobów o analogicznym przeznaczeniu użytkowym, wyższą efektywność jakości (a tym samym wyższą wartość użytkową) będzie przedstawiał wyrób, dla którego wskaźnik E będzie mniejszy. Kierując się wskaźnikiem efektywności jakości (czy za wyższą jakość wyrobu opłaca się ponieść większe koszty), świadomy nabywca będzie preferował oczywiście wyroby o wyższej efektywności, bowiem przy wyborze wyrobu obliczy różnicę:

$$\frac{c_1}{j_1} - \frac{c_2}{j_2}, \tag{2}$$

która daje wyraz preferencji konsumenckiej.

Należy zdawać sobie tu jednak sprawę z tego, że w określonych przypadkach, wartość wskaźnika jakości może być korzystna, ale cena wyrobu może być wtedy nadmiernie wysoka i użytkownik nie będzie chciał go nabyć. Patrząc również z innej strony, wskaźnik E będzie korzystny, gdy cena wyrobu będzie niska - ale przy małej jakości j. Użytkownik w takim przypadku będzie tylko częściowo zadowolony z przydatności nabytego wyrobu, oglądając np. wyroby tego samego przeznaczenia, ale bardziej nowoczesne. Wynika stąd wniosek, że wszelkie wskaźniki (a zwłaszcza uśrednione) są tylko wskaźnikami pomocniczymi przy ocenie wyrobów i w konkretnych przypadkach mogą być preferowane określone cechy wyrobu bez zwracania większej uwagi na inne cechy, np. kierowca rajdowy przy wyborze samochodu będzie znacznie większą uwagę przykładał do maksymalnej prędkości osiąganej przez ten samochód niż do zużycia paliwa.

Jako miernik efektywności jakości mogą być również przyjęte łączne koszty użytkowania (K_u) w określonym czasie eksploatacji, np. okresie gwarancji, obliczone wg wzoru (3)

$$K_u = \frac{K_z + K_r + K_e}{Q_e}, \tag{3}$$

gdzie: K_z - koszty zakupu wyrobu,

K_r - koszty konserwacji i remontów,
K_e - koszty bieżącej eksploatacji,
Q_e - okres eksploatacji.

2. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z metodyką ocen porównawczych, dotyczących wartości użytkowej wyrobów codziennego użytku.

3. Dane wyjściowe

Zad. A.
Dane są trzy typy chłodziarek absorpcyjnych i trzy typy chłodziarek sprężarkowych. Wytypować najkorzystniejszy dla użytkownika typ chłodziarki, biorąc pod uwagę cechy jakościowe w aspekcie użytkowym. Charakterystykę techniczno-ekonomiczną analizowanych chłodziarek domowych przedstawiono w tab. 1

Tabela 1.

Dane techniczno ekonomiczne	Typ chłodziarki					
	sprężarkowa			absorpcyjna		
	A	B	C	D	E	F
Cena sprzedaży [zł.]	140	160	220	240	300	270
Pojemność [dm^3]	40	80	120	120	190	160
Zużycie energii w ciągu 24 godzin [Wh]	1400	1500	1000	500	700	1100
Jedn. zużycie energii na 24 h/dm^3 pojemn. [Wh]	35	18,8	8,3	4,6	3,7	6,9

Uwaga: *Koszty remontów nie zależą od pojemności chłodziarki i mogą być przyjmowane jako stałe, niezależne od typu chłodziarki. Koszty K_r można przyjąć w wysokości 10 zł/rok.*

Jak wykazuje praktyka, wszystkie typy chłodziarek domowych mają żywotność nie mniejszą niż 10 lat, zatem Q_e należy przyjmować co najmniej równe temu okresowi.

Zad. B.
Dane jest 5 typów pralek wirnikowych, produkowanych przez Myszkowską Fabrykę Naczyń Emaliowanych. Wytypować najkorzystniejszy typ pralki wirnikowej, biorąc pod uwagę cechy jakościowe w aspekcie użytkowym. Charakterystykę techniczno - ekonomiczną analizowanych pralek podano w tab. 2.

Tabela.2

Typ pralki	M 13	M 15	M 16	M 10	M 21
Wymiary gabarytowe (średnica × wysokość) [mm]	400× 730	400× 730	350× 610	350× 620	400× 670
Masa całkowita pralki [kg]	27	25	17	15	23
Minimalna ilość wody potrzebnej do prania [l]	16	16	10	10	13
Jednostkowy ładunek bielizny suchej [kg]	1,5	1,2	0,8	0,8	1,25
Czas prania jednego ładunku [min]	5	5	5	5	5
Moc silnika elektrycznego [W]	150	250	150	150	250
Cena sprzedaży [zł.]	130	150	110	100	140

4. Sposób realizacji

Ad. zad. A.
Jak wynika z praktyki, trwałość, niezawodność, a także parametry chłodzenia chłodziarek domowych, produkowanych przez różnych producentów, są do siebie zbliżone. Różnorodność stosowanych rozwiązań umożliwia spełnienie również wymagań estetycznych, stawianych przez różnych użytkowników. Wobec powyższego, do rozważenia pozostaje sprawność, która decyduje o zużyciu energii elektrycznej i kosztach eksploatacji bieżącej. Analiza przydatności użytkowej tych wyrobów może być więc przeprowadzona przez porównanie łącznych kosztów użytkowania w przewidzianym okresie amortyzacji (korzystnie jest przy tym, porównywać

koszty jednostkowe, tj. koszty przypadające na jednostkę pojemności chłodziarki). Okres amortyzacji - odpowiadający czasowi użytkowania - nie powinien być przyjmowany mniejszy niż 10 lat. Do celów dydaktycznych, okres użytkowania chłodziarek jest różnicowany dla każdego studenta i wynosi: $Q_e = 10 + u$ (wartość u - przyjąć dowolnie z zakresu 1 do 8). Korzystając ze wzoru (3) i danych zestawionych w tabl. 1, można wyznaczyć koszty użytkowania K_u poszczególnych typów chłodziarek oraz koszty K_u' przypadające na 1 dm^3 objętości komory chłodniczej.

Ad. zad. B.
Rozwiązując to zadanie, można skorzystać ze wzoru (2). W tym celu niezbędne jest wyznaczenie poziomu jakości j poszczególnych typów pralek. Należy to dokonać metodą uśrednionych znamion jakości. Istota tej metody polega na obliczaniu wskaźnika W (wyróżnika) jakości dla poszczególnych cech jakościowych "k", reprezentującego uśrednione stany najważniejszych aspektów jakości:

A) przydatności,
B) poprawności,
C) użyteczności,
D) doznaniowości,
E) opłacalności.

Jakość J jest więc średnią arytmetyczną wyróżników znamionowych tych aspektów jakości:

$$J = \frac{A + B + C + D + E}{n}, \qquad (4)$$

przy czym - n jest liczbą uwzględnianych, w konkretnym przypadku, znamion jakości.

W przypadku jednakowej ważności kryteriów poszczególnych znamion jakości, wzór na j ma postać taką jak wyżej. Natomiast w przypadku zróżnicowanej ważności kryteriów (znacznie częściej spotykany przypadek), wzór (4) przyjmie postać:

$$j = \frac{aA + bB + cC + dD + eE}{a + b + c + d + e}, \qquad (5)$$

gdzie: a, b, c, d, e - współczynniki ważności (wagi) wyróżników kryterialnych, będące stosunkiem poziomu ważności określonego wskaźnika do poziomu ważności najmniejszego wskaźnika, przy czym wartości tych wag, praktycznie, winny się zawierać w zakresie liczb 1 do 10.

Ogólny tok postępowania przy stosowaniu omawianej metody można sprowadzić do (patrz metodyka postępowania podana we wprowadzeniu do ćwiczeń - rys. 23):

- wyboru kryteriów jakości (cech) ze stawianych wymagań użytkowych,
- selekcji i segregowaniu kryteriów na grupy znaczeniowe reprezentowane przez poszczególne znamiona jakości,
- wartościowaniu stanu kryteriów przez dokonanie tzw. uniteryzacji zerowej, tj. ich redukcję w obszarach zmienności i transformację do jednolitej, 0 - 1, skali stanów,
- obliczeniu wskaźnika jakości, jako średniej arytmetycznej ze wskaźników znamionowych.

Sposób wyznaczania poziomu jakości określonego wyrobu w metodzie uśredniania znamion jakości sprowadza się w istocie rzeczy do następujących czynności:

A. Zmierzenia lub stwierdzenia wartości rozpatrywanej cechy wyrobu, odtwarzającej jej aktualny stan k_z (np. rozpatrując masę całkowitą pralek, dla pralki M 13, $k_z = 27$).

B. Określenia zakresu zmienności danej cechy: k_a do k_i, gdzie k_a - górna granica, k_i - dolna granica zmian cechy (np. dla masy pralek: $k_a = 27$, $k_i = 15$).

C. Określeniu, jaką część przedziału zmienności danej cechy zajmuje jej wartość zmierzona tj. obliczeniu różnicy $k_z - k_i$ (np. dla pralki M 21; 23 - 15 = 8). Pokazano to przykładowo na poniższym schemacie:

$$\frac{k_i \overset{15}{\llcorner\!\!\!

a) dla cech, których wzrost jest korzystny dla wyrobu,

walory : $$W_w = \frac{k_z - k_i}{k_a - k_i} , \qquad (6)$$

b) dla cech, których wzrost jest niekorzystny dla wyrobu,

mankamenty: $$W_m = 1 - \frac{k_z - k_i}{k_a - k_i} , \qquad (7)$$

c) dla cech, które posiadają wartość optymalną dla wyrobu,

optymenty: $$W_o = 0{,}3 \frac{k_z - k_i}{k_a - k_i} + 0{,}7 . \qquad (8)$$

Przykładowo dla masy pralek - jako analizowanego kryterium jakościowego - wzrost masy całkowitej jest cechą niekorzystną tego typu wyrobów. Adekwatny do tego przypadku jest wzór (7). Wobec powyższego, wartości wyróżnika kryterialnego tej cechy przedstawiają się następująco;

Typ pralki	M 13	M 15	M 16	M 10	M 21
Wyróżnik W	0	0,17	0,84	1,0	0,33

a więc niekorzystność tej cechy analizowanej pralki M21 jest rzędu 33 % w stosunku do wszystkich badanych typów tych wyrobów.

E. Podstawieniu obliczonych wartości (W_w, W_m lub W_o) do wzoru (4), jeżeli waga analizowanych cech jakościowych jest jednakowa, lub do wzoru (5) - jeżeli stosujemy zróżnicowane wagi badanych cech. Przykładowo: jeżeli uznamy, że masa całkowita pralek jest ich najważniejszą cechą jakościową i przyznamy jej współczynnik ważności (wagę) $a = 10$, to mamy:

$$j = \frac{10\, W_m + \ldots\ldots}{10 + \ldots\ldots\ldots} , \qquad (9)$$

przy czym hipotetycznie założono, że najmniejszy współczynnik ważności ma wartość równą 1.

Powyższy wzór nie jest zakończony, ponieważ dla właściwej oceny jakościowej należy oceniać wyrób z różnych punktów widzenia (stosować należy regułę - min 3 cechy).

F. Obliczeniu wskaźnika efektywności jakości wg wzoru (1), podstawiając w liczniku tego wzoru cenę zakupu wyrobu.

G. Obliczeniu różnicy wskaźników jakości analizowanego wyrobu i wyznaczeniu najlepszego z rozpatrywanej populacji (wzór 2).

5. Tok postępowania

Zad. A.

Obliczyć efektywność użytkowania chłodziarek, poszczególnych typów, wykorzystując w tym celu wzór (3), a następnie wyciągnąć wnioski dotyczące zagadnień:

* które typy chłodziarek charakteryzują się większą sprawnością?
* czy ze względu na sprawność opłaca się kupować chłodziarki o większych pojemnościach?
* która chłodziarka wykazuje największą sprawność?

Zad. B.

* Określić, które z analizowanych cech pralek (tabl. 2), stanowiących wyróżniki jakości tych wyrobów, można uznać za walory, które za mankamenty, a które za optymenty.
* Określić rozstępy zmienności poszczególnych wyróżników jakości badanych pralek.
* Określić: jaką część tych rozstępów zajmują analizowane wartości wyróżnika jakości danego typu pralki.
* Obliczyć stan wyróżnika jakości danego typu pralki, przetransformowanego na skalę 0 - 1 według wzoru: (6), (7) lub (8).
* Obliczyć wskaźniki efektywności poszczególnych typów pralek według wzoru (5).
* Zakwalifikować (graficznie) stany jakościowe poszczególnych typów pralek do określonej klasy jakości według poniższej skali stanów:

klasa	10	min:	$j = 0,05$	- stan zły,
"	9		$j = 0,15$	- stan krytyczny,
"	8		$j = 0,25$	- stan niekorzystny,
"	7		$j = 0,35$	- stan niedogodny,
"	6		$j = 0,45$	- stan pośredni,
"	5		$j = 0,55$	- stan umiarkowany,
"	4		$j = 0,65$	- stan dogodny,
"	3		$j = 0,75$	- stan korzystny,
"	2		$j = 0,85$	- stan wyróżniający się,
"	1		$j = 0,95$	- stan znakomity.

6. Sprawozdanie

W sprawozdaniu z ćwiczenia podać: treść wykonywanych zadań oraz tablice danych wyjściowych (tab. 1 oraz tab.2), wszystkie wykonane obliczenia oraz wyniki obliczeń i wynikające z nich wnioski. W obu zadaniach pokazać graficznie różnice jakościowe pomiędzy poszczególnymi typami badanych wyrobów.

7. Literatura

1. Kolman R.: Ilościowe określanie jakości. PWE, Warszawa 1973
2. Pietras S.: O jakości wyrobów. Ustalanie wymagań. Kryteria oceny. Wyd. Normalizacyjne, Warszawa 1981 r.

Ćwiczenie 4

Temat: BADANIE JAKOŚCI WYKONANIA WYROBÓW TECHNICZNYCH

1. Wprowadzenie

Użytkownikom wyrobów technicznych znane jest zagadnienie zróżnicowania właściwości takich samych wyrobów produkowanych przez różnych producentów - a nawet produkowanych przez tego samego producenta. Wynika to bowiem z niejednorodności użytych surowców, dużej przypadkowości kojarzeń elementów w wyrobie i innych różnych oddziaływań losowych na przebieg procesu technologicznego obróbki i montażu. W wyniku tego procesu, wyrób uzyskuje swoją określoną jakość zwaną jakością wykonania.

Jakość wykonania dotyczy więc tego: jak wiernie wykonany wyrób odpowiada dokumentacji projektowej, czy pewne cechy wyrobu są zgodne z normami w tym zakresie, czy też są większe od tolerancji dopuszczonej tymi normami. W tym pierwszym przypadku możemy powiedzieć, że wyrób ma normatywną jakość wykonania. W drugim zaś, że ma jakość pozanormatywną i nie powinien być dopuszczony do użytkowania. W szczególnych przypadkach wyrób może mieć jakość ponadnormatywną - co oznacza, że zmienność badanych cech wyrobu mieści się w bardzo wąskim przedziale. Wyroby o ponadnormatywnej jakości wykonania są zatem bardzo jednorodne i na ogół mogą uzyskiwać wyższą cechę sprzedaży (cena za jakość).

Nadanie partii wyrobów takiej czy innej jakości wykonania, wymaga przeprowadzenia określonych badań jakościowych. Zbadanie wszystkich wyrobów danego producenta, a nawet jednej ich partii nie zawsze jest możliwe ani też ekonomicznie uzasadnione.

Oceny określonej populacji wyrobów dokonuje się na podstawie próbki tych wyrobów pobranej z tej populacji.

Liczność tej próbki jest znacznie mniejsza od liczności całej populacji i uwarunkowana regułami statystyki matematycznej [1].

Wyniki badań próbki pozwalają przy pomocy tej dziedziny matematyki oceniać (z pewnym stopniem prawdopodobieństwa), jaka część wyrobów z całej populacji spełnia, a jaka nie spełnia wymagań przyjętych za podstawę oceny.

Do oceny jakości wykonania wyrobów technicznych mogą być stosowane różne metody. Preferowane jednak będą nieniszczące metody pomiaru cech mierzalnych lub przejawów oddziaływania tych cech.

2. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z metodyką postępowania przy ocenie klasyfikacyjnej jakości wykonania wyrobów technicznych oraz stosowania metody badań nieniszczących do tego typu klasyfikacji.

3. Dane wyjściowe

Dana jest partia ściernic ceramicznych o określonej charakterystyce technicznej, stosowanych do obróbki pierścieni łożysk tocznych (ściernice małogabarytowe). Ocenić jakość wykonania populacji tych wyrobów. Oceny dokonać na podstawie badań modułu sprężystości podłużnej E, wyznaczanego metodą akustyczną (przyrządem ZWUK - 107).

Uwaga: *do celów dydaktycznych, w tabeli 1 zestawiono wyniki badań akustycznych ściernic ceramicznych o charakterystyce: T1 35×20×10/CrA-80-K-8-V (metodą pomiaru częstotliwości drgań własnych f, przy użyciu przyrządu ZWUK-107 [1]), które mogą być wykorzystywane w tym ćwiczeniu. Z tej 100 elementowej populacji należy wybrać w tym przypadku losowo próbkę o liczności* $n \geq 30$.

Tabela 1.

L.p.	f [kHz]	m [g]	L.p.	f [kHz]	m [g]	L.p.	f [kHz]	m [g]
1	35,0	38,0	34	37,4	38,0	67	38,2	38,3
2	36,4	38,0	35	34,0	37,4	68	37,8	38,0
3	36,6	37,9	36	36,6	38,0	69	38,0	38,8
4	36,0	38,0	37	35,2	38,1	70	36,5	38,0
5	35,4	38,0	38	34,5	38,1	71	34,6	38,2
6	37,0	38,0	39	36,6	38,0	72	37,0	38,2
7	34,5	38,0	40	36,4	37,9	73	37,0	38,2
8	35,8	38,0	41	37,0	37,9	74	36,3	38,1
9	37,2	38,0	42	36,6	38,0	75	37,1	38,0
10	37,2	37,9	43	35,5	38,0	76	37,0	38,1
11	36,4	38,0	44	35,1	38,0	77	37,6	38,0
12	36,9	38,0	45	36,0	37,9	78	34,4	38,0
13	38,1	38,8	46	37,0	38,0	79	37,0	38,0
14	36,9	38,0	47	36,6	38,0	80	37,5	38,2
15	36,7	38,1	48	37,4	38,2	81	38,0	38,2
16	36,0	38,0	49	37,6	37,9	82	36,6	37,9
17	37,6	38,1	50	37,4	38,0	83	36,3	38,2
18	35,5	38,1	51	35,3	38,0	84	36,9	38,1
19	36,0	38,0	52	35,0	37,6	85	36,6	38,1
20	35,2	38,1	53	38,0	38,0	86	36,8	38,2
21	35,5	37,9	54	34,6	37,9	87	34,0	38,0
22	35,5	38,2	55	36,6	38,1	88	35,0	38,0
23	38,0	38,1	56	35,7	37,9	89	37,8	38,0
24	34,0	37,9	57	37,5	38,1	90	35,3	38,0
25	37,0	38,0	58	34,8	38,0	91	37,4	38,0
26	36,4	38,0	59	37,5	38,5	92	37,2	38,1
27	34,9	37,9	60	37,5	38,3	93	37,4	38,0
28	35,8	38,0	61	35,2	37,9	94	36,5	38,0
29	38,1	38,7	62	37,2	37,9	95	36,6	38,0
30	36,3	38,0	63	37,6	38,0	96	37,6	38,0
31	36,2	38,0	64	37,2	38,0	97	37,0	38,0
32	36,8	37,9	65	36,6	38,1	98	34,0	38,0
33	36,8	38,0	66	36,7	38,0	99	37,0	38,0
						100	36,5	38,0

f - częstotliwość drgań własnych ściernicy - podstawowa f_1,
m - masa ściernicy,
$k_1 = 7{,}85$ [m^{-1}] - współczynnik "kształtu" badanych ściernic.

4. Sposób realizacji

Najbardziej rzetelną oceną jakości wykonania jakiegoś wyrobu dają pomiary jego rzeczywistego stanu technicznego przed wysyłką do użytkownika lub już u tego użytkownika.

Tego rodzaju pomiary nazywamy oceną klasyfikacyjną, a proces zbierania danych kontrolą ostateczną. W kontroli takiej winny być rozpracowane następujące zagadnienia:

1. *Cel oceny klasyfikacyjnej*. Ostatecznym celem takiej oceny jest zazwyczaj rozpoznanie w jakim stopniu rzeczywiste właściwości (cechy) wyrobu odpowiadają potrzebom użytkownika.

2. *Zbieranie danych*. Zakres badań jest zwykle ograniczany do próbki wyrobów z danej populacji. Rozpracowane winno być zagadnienie liczności tej próbki i losowości wyrobów w próbce. Wyniki próbki są przeszacowywane (estymowane) na całą populację.

3. *Określenie wad*. Gdy jest pożądana ocena klasyfikacyjna jakości wyrobów, trzeba ustalić stopnie ważności poszczególnych wad i przypisać każdej klasie wad liczbę określającą jej względną wagę uwzględnianą przy ocenie jakości. Liczby te mogą być przyjmowane dość dowolnie, tak jednak aby pozwoliły wykryć kierunki zmian jakości wyrobu.

4. *Jednostka miary*. Przy ocenie klasyfikacyjnej, globalną ocenę jakości wykonania daje ważona suma wad podzielona przez liczbę sztuk wyrobów w próbce. Czasem też może być stosowana inna forma tego wskaźnika (wygodniejsza dla użytkownika) tak, aby wynikały z niej rozsądne wnioski dla posługującego się tą oceną.

5. *Wzorzec do porównań*. Każda ocena wymaga swojego wzorca odniesienia. Jako wzorce do porównań jakości wyrobów przy ocenie klasyfikacyjnej służą zwykle:
- dane z poprzedniej produkcji w danym zakładzie,
- jakość wyrobów produkowanych w innych zakładach,
- jakość normatywna (ujęta odpowiednimi normami krajowymi, branżowymi lub zakładowymi) - najczęściej stosowana w praktyce,
- inne ustalenia szczegółowe pomiędzy użytkownikiem a producentem.

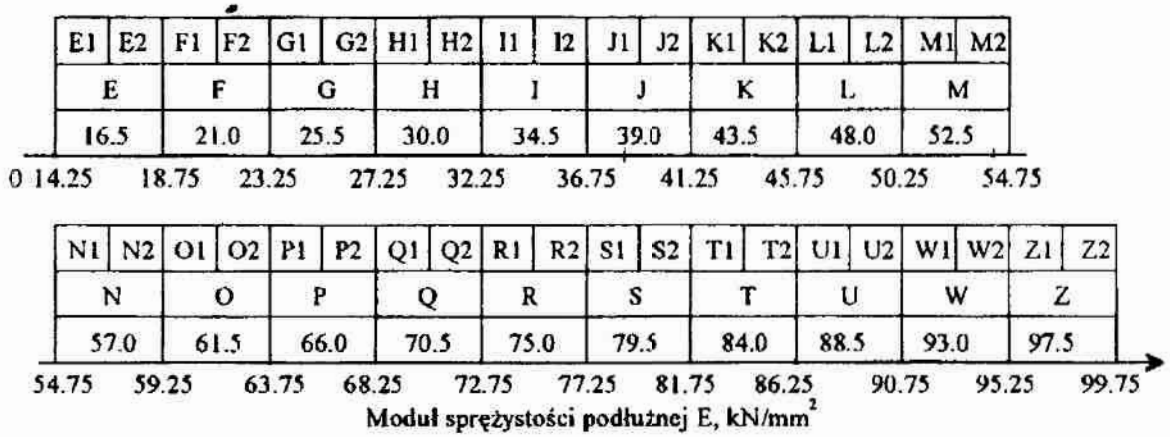
6. *Korelacja ocen*. Gdy jest to możliwe, opłaca się trud sprawdzenia korelacji ocen jakości wykonania wynikającej z badań przedeksploatacyjnych (laboratoryjnych) z rzeczywistymi ocenami tych wyrobów podczas ich eksploatacji

(najczęściej chodzi tu o ich trwałość lub niezawodność). Prowadzi to bowiem do ewentualnej korekty cech użytkowych wyrobu i zmniejszenia wyrobów nie akceptowanych przez użytkownika.

W stosunku do narzędzi ściernych - jako obiektów badawczych podlegających ocenie klasyfikacyjnej - ich rzeczywiste osiągi eksploatacyjne są w bardzo dużej korelacji z wartością modułu E danego narzędzia. Jest to czułe kryterium zarówno na zmiany rodzaju i ilości składników narzędzia jak i zmiany warunków procesu wytwarzania. Istnieje liniowa zależność pomiędzy twardością takich narzędzi (opisywanej określoną literą alfabetu G, H, I ...) a modułem E.
Dla narzędzi ściernych o spoiwach ceramicznych ma ona najczęściej postać:

$$\bar{E} = 165 - 3\ V_p\ [\mathrm{kN/mm^2}]\ , \qquad (1)$$

przy czym: V_p jest procentowym udziałem por w narzędziu, który odpowiada danej literze twardości, występującej w charakterystyce technicznej, np. $(V_p)_J = 42\ \%$, $(V_p)_K = 40{,}5\ \%$, $(V_p)_L = 39\ \%$. Przejście z jednego stopnia twardości na inny wywołane jest zatem zmianą V_p o 1,5 % - co, zgodnie z równaniem (1), objawia się zmianą modułu E o 4,5 $\mathrm{kN/mm^2}$. Na podstawie tej zależności została opracowana, przez autora, E-skala twardości narzędzi ściernych o spoiwach ceramicznych - rys. 1.



Rys. 1. Fizyczna skala twardości (E-skala) dla narzędzi ściernych o spoiwach ceramicznych

Wartość modułu E można wyznaczyć dowolną metodą akustyczną, wykorzystując np. przyrząd Grindo-Sonic. Do ściernic małogabarytowych - stosowanych przy obróbce otworów - nieodzowne jest tu jednak zastosowanie przyrządu ZWUK -107 [1]. Przy pomocy tej metody można wyznaczyć prędkość fal podłużnych C_l w badanym narzędziu, mierząc jego częstotliwości drgań własnych f i korzystając z ogólnej zależności, że:

$$f_n = k_n C_l \quad [\text{Hz}] , \tag{2}$$

gdzie: f_n - częstotliwość drgań własnych określonej postaci (podstawowe, giętne, skrętne, płaskie itd.),

k_n - współczynnik poprawkowy, związany z kształtem i rozmiarami badanego wyrobu,

C_l - prędkość fal podłużnych w badanym materiale, przy czym istnieje zależność(3):

$$C_l = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad [\text{m/s}] , \tag{3}$$

Mierząc, przy pomocy przyrządu, częstotliwość drgań własnych f (określonej postaci n), przy znajomości współczynnika "kształtu" k_n (z tablic poprawkowych przyrządu), który ma jednakową wartość dla wyrobów o jednakowym kształcie i rozmiarach, moduł E można wyznaczyć z przekształcenia wzoru (2) do postaci (4):

$$E = \left(\frac{f_n}{k_n}\right)^2 \rho \quad [\text{kN/mm}^2] , \tag{4}$$

gdzie: ρ - oznacza gęstość [kg/mm^3], wyznaczaną znanymi metodami fizycznymi (pomiar objętości i masy).

Założenie badawcze.

Jeżeli wyznaczymy wartości modułu E dla partii ściernic o określonej charakterystyce technicznej i jego rozrzut, tj.: E_{min} - E_{max}, będzie się mieścił w zakresie 4,5 kN/mm^2 (równoważnym zakresowi jednej klasy twardości), to możemy powiedzieć, że dana partia narzędzi charakteryzuje się jakością normową.

Oceniając całą populację badanych ściernic o danej charakterystyce (a więc nie tylko te, które były badane, ale również wszystkie inne), należy taką ocenę wyprowadzać na podstawie analizy rozkładu teoretycznego, opisującego tę populację. W tym celu należy:

- dla danej próbki narzędzi wyznaczyć wartość modułu E każdego egzemplarza ściernicy zaliczonej do tej próbki (w badaniach rozpoznawczych celowe jest aby liczność próbki n była nie mniejsza niż 30 sztuk),
- na podstawie otrzymanych wyników dokonać obliczeń: wartości średniej E oraz odchylenia standardowego σ_n dla próbki,
- przeszacować wyniki obliczeń statystycznych z próbki na populację, tj. średniej wartości modułu E, która odpowiada średniej wartości tego parametru dla próbki, oraz wyliczyć wartość odchylenia standardowego dla populacji σ_{n-1}, wykorzystując istniejącą zależność (5) (lub odczytując wynik bezpośrednio z kalkulatora z funkcjami statystycznymi),

$$\sigma_{n-1} = \sigma_n \sqrt{\frac{n}{n-1}} \quad , \tag{5}$$

gdzie: n - oznacza liczność próbki,

- obliczyć wartość współczynnika zmienności $v = \sigma_{n-1}/\bar{E}$,
- określić typ rozkładu badanej cechy. Orientacyjnie można założyć, że jeżeli współczynnik zmienności v jest mniejszy od 0,33 to badany rozkład może być opisywany rozkładem normalnym, jeżeli natomiast v jest większe od tej wartości, należy zastosować inny typ rozkładu teoretycznego np. gama.

Dokładną weryfikację hipotezy o typie rozkładu należy przeprowadzić przy użyciu parametrycznych testów istotności, zakładając określony poziom istotności a (w powyższym założeniu, tj. $v \leq 0{,}33$ przyjęto 99 % poziom istotności). Oparto się tu na znanej regule trzech sigm. Z reguły tej wynika, że bezwzględna różnica między średnią arytmetyczną wartości w próbie pobranej z populacji normalnej i hipotetyczną średnią populacji przekraczająca trzykrotną wartość błędu standardowego winna być uważaną za wysoce istotną. Dla rozkładów zbliżonych do normalnego takie odchylenie również można uważać za istotne).

Jeżeli dla rozkładu normalnego wartość $6\sigma_{n-1}$ (przy 99 % poziomie ufności), lub $4\sigma_{n-1}$ (przy 95 % poziomie ufności) jest mniejsza od wartości 4,5 kN/mm^2, to badana populacja ma jakość normatywną. Jeżeli wartości te będą się mieściły w mniejszym zakresie (do połowy klasy tj. do wartości 2,25 kN/mm^2), to można przyjąć, że badana populacja ma jakość ponadnormatywną wzorcową (na E-skali wartości takie oznaczono przez podzakresy 1 oraz 2). Wobec powyższego, stosunek rzeczywistego rozrzutu modułu E w badanej partii (oznaczmy go symbolem R) mierzonego rozstępem 6 lub 4 sigmowym do tego wzorcowego (oznaczmy go symbolem r), wynoszącego r = 2,25 kN/mm^2 określi nam pewne poziomy jakości wykonania badanych narzędzi. Zgodnie z tym założeniem: współczynnik zgodności z (zbliżenia stanu rzeczywistego J do doskonałego D, tj. $J = z\ D$) może przyjmować wartości:

$z = r/R$ = 2,25/2,25 = 1	jakość ponadnormatywna (doskonała),
$z = r/R$ = 2,25/4,5 = 0,5	jakość normatywna (dobra),
$z = r/R$ = 2,25/6,75 = 0,33	jakość normatywna (umiarkowana),
$z = r/R$ = 2,25/9,0 = 0,25	jakość normatywna (niska),
$z = r/R$ = 2,25/13,5 = 0,17	jakość pozanormatywna (zła).

6. Tok postępowania

1) Wybrać metodą losową z partii ściernic o jednakowej charakterystyce (podanej przez prowadzącego zajęcia), próbkę o liczności n = 30 sztuk.

2) Dla wybranej charakterystyki ściernic określić wartość współczynnika kształtu k_n badanych oraz przewidywaną częstotliwość pomiarową f_n przy pomocy programu komputerowego dotyczącego badań przyrządem ZWUK107.

3) Pomierzyć rzeczywistą częstotliwość drgań własnych wszystkich egzemplarzy ściernic tworzących próbkę badawczą (zapisać należy celem weryfikacji wyniku, dwie różne częstotliwości drgań własnych). Poszukiwania rzeczywistej częstotliwości drgań własnych badanych ściernic rozpocząć należy od przewidywanej wartości tego parametru, wyznaczonej komputerowo.
   Można tu wykorzystać wyniki badań zamieszczone w tab. 1.

4) Zważyć badane ściernice i pomierzyć ich rozmiary celem wyznaczenia objętości V, a następnie obliczyć ich gęstość wg zależności $\rho = m/V$ [kg/m^3], przy czym: m - masa ściernicy.

5) Obliczyć rzeczywiste wartości modułu E badanych ściernic zgodnie ze wzorem (4), a następnie wartość średnią $\bar{E}$ i odchylenie standardowe σ_n korzystając z kalkulatorów z funkcjami statystycznymi.

6) Przeszacować (estymować) wyniki z próbki na populację, a następnie sprawdzić, czy badany rozkład może być opisany rozkładem normalnym.

7) Wykreślić funkcję gęstości prawdopodobieństwa $f(E)$ wg rozkładu teoretycznego badanej populacji, korzystając z tablic rozkładu normalnego i zmiennej unormowanej - opisywanej wzorem:

$$u_i = \frac{E_i - \bar{E}}{\sigma_{n-1}}, \qquad (6)$$

8) Na wykresie funkcji gęstości zaznaczyć wartość średnią $\bar{E}$ oraz dopuszczalny zakres zmienności badanego parametru przy 99 % poziomie ufności (plus, minus 3 sigma od wartości średniej $\bar{E}$).

9) Obliczyć granice zmienności badanego parametru (E_{min} i E_{max}) dla jakości: ponadnormatywnej, normatywnej (dobrej umiarkowanej i niskiej) oraz pozanormatywnej dla danej klasy twardości wychodząc od wartości średniej $\bar{E}$ dla tej klasy (E-skala).

10) Na wykresie tym zaznaczyć pionowymi liniami normatywny, ponadnormatywny i pozanormatywny zakres zmienności badanego parametru

11) Ocenić jakość wykonania danej partii narzędzi obliczając wyróżnik jakości W_j zgodnie z wzorem (7):

$$W_j = 1\, n_1 + 0{,}5\, n_2 + 0{,}33\, n_3 + 0{,}25\, n_4 + 0{,}17\, n_5, \qquad (7)$$

gdzie: $n_1 \div n_5$, procentowa liczebność ściernic w danym poziomie jakości, opisywanym współczynnikiem zgodności z (podzielone przez 100 %).

12) Zkwantyfikować jakość wykonania ściernic o danej charakterystyce wg wyróżnika jakości W_j, przyjmując poniższe wartości graniczne dla danej klasy jakości: (włącznie)

1	Wj	> 0,75	jakość doskonała,
2	Wj	> 0.50	jakość dobra,
3	Wj	> 0,33	jakość przeciętna,
4	Wj	> 0,25	jakość umiarkowana,
5	Wj	> 0,17	jakość niska,
6	Wj	< 0,17	jakość pozaklasowa.

Wykorzystując wartości obliczonego wskaźnika jakości W_j, można porównywać z sobą jakość różnych partii narzędzi pochodzące np. od różnych producentów i to niezależnie od liczności tych partii. Można zatem, przykładowo, porównać jakość partii narzędzi badanych przez siebie, z partią narzędzi badanych przez kolegów z grupy wykonującej dane ćwiczenie.

7. Sprawozdanie

W sprawozdaniu podać wszystkie uzyskane wyniki badań i obliczeń, wykresy i obliczenia jakości wykonania badanych ściernic zgodnie z poleceniami do wykonania.

8. Literatura

1. Słowiński B.: Metodyka badania własności mechanicznych ściernic małogabarytowych metodą akustyczną. Mechanik Nr 2/1985, str. 66 ÷ 70.

Ćwiczenie 5

Temat: PROGNOZOWANIE JAKOŚCI EKSPLOATACYJNEJ WYROBÓW

1. Wprowadzenie

Zwyczaj i odpowiednie przepisy prawne ustalają, że producent po sprzedaży swego wyrobu ma jeszcze pewne zobowiązania dotyczące jakości, związanej z niezawodnym użytkowaniem tego wyrobu w pewnym okresie czasu.

W stosunku do wielu wyrobów, użytkownik otrzymuje od producenta wyraźną deklarację i informację co do pewnego zakresu odpowiedzialności za jakość eksploatacyjną. Producent daje więc ***gwarancję***, że jego wyrób jest zgodny z odpowiednimi wymaganiami założonymi, w dokumentacji wyrobu (warunki techniczne, warunki odbioru itp.) i nie ulegnie uszkodzeniu przed upływem określonego czasu - najczęściej 1 roku. Jeżeli takie uszkodzenie nastąpi, producent zobowiązuje się je usunąć na własny koszt, lub też, w szczególnych przypadkach, wymieni wyrób na nowy (jeżeli np. uszkodzenie nastąpiło w czasie 1 tygodnia od daty zakupu wyrobu).

Producent jest zobowiązany także, określonymi przepisami, do usunięcia (bezpłatnego) uszkodzeń swojego wyrobu również i w dłuższym okresie, niż precyzują to warunki gwarancji, z tytułu tzw. ***rękojmi***. Zobowiązania z tego tytułu występują, jeżeli wyrób miał wady ukryte, o których użytkownik nie wiedział przy nabywaniu wyrobu. Okres rękojmi rozpoczyna się po upływie okresu gwarancji i może trwać rok lub dłużej.

Po sprzedaży swojego wyrobu producent może więc ponosić określone koszty z tytułu napraw gwarancyjnych. Koszty te uwzględnia w kalkulacji ceny wyrobu, ale musi przewidywać wysokość takich kosztów - wynikających z ilości i rodzaju napraw gwarancyjnych.

Podstawą kalkulacji kosztów napraw i ustalania okresów gwarancji są przewidywania (prognozy) co do utrzymywania się określonej jakości wyrobu (jakości eksploatacyjnej) w przyjętym

okresie eksploatacji i warunkach użytkowania zgodnych z założonymi. Prognozy te najczęściej oparte są na ocenie niezawodności wyrobu.

Niezawodność - jest to zdolność wyrobu do użytkowania go w określonych warunkach i określonym czasie. Miarą niezawodności jest prawdopodobieństwo dobrego użytkowania go w danym okresie czasu, lub gwarantowany czas sprawności wyrobu (przy określonym, bardzo dużym prawdopodobieństwie takiej sprawności).

2. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z metodyką prognozowania niezawodnych okresów pracy wyrobów technicznych.

3. Dane wyjściowe

Zad. A.

Dana jest partia ściernic ceramicznych, o określonej charakterystyce (poddawana ocenie klasyfikacyjnej na jakość wykonania w ćw. 4). Oszacować, jaki procent narzędzi z tej partii prawidłowo wykona zadanie obróbcze w operacji obróbki szlifowaniem pierścieni łożyskowych, jeżeli czas maszynowy tej operacji wynosi t_m (do celów dydaktycznych, t_m przyjąć z zakresu 30 ÷ 60 s).

Zad. B.

Zbadano, że partia telewizorów pewnej marki ma średni czas do pierwszej naprawy równy u dni (do celów dydaktycznych, wartość u przyjąć indywidualnie, jako sumę swojej daty urodzenia np.: 20.11.1972 daje u = 2003 dni). Wyznaczyć prawdopodobieństwo tego, że zakupiony telewizor tej marki nie ulegnie uszkodzeniu w okresie gwarancji (1 rok) i w okresie rękojmi (2 lata). Jakie jest prawdopodobieństwo takiego uszkodzenia w okresie 1 tygodnia, 1 miesiąca, 10 lat? Podaj odpowiedź w postaci wykresu zależności niezawodności $R(t)$ od czasu t użytkowania telewizora, zakładając wykładniczy rozkład niezawodności.

4. Sposób realizacji

Ad. zad. A.

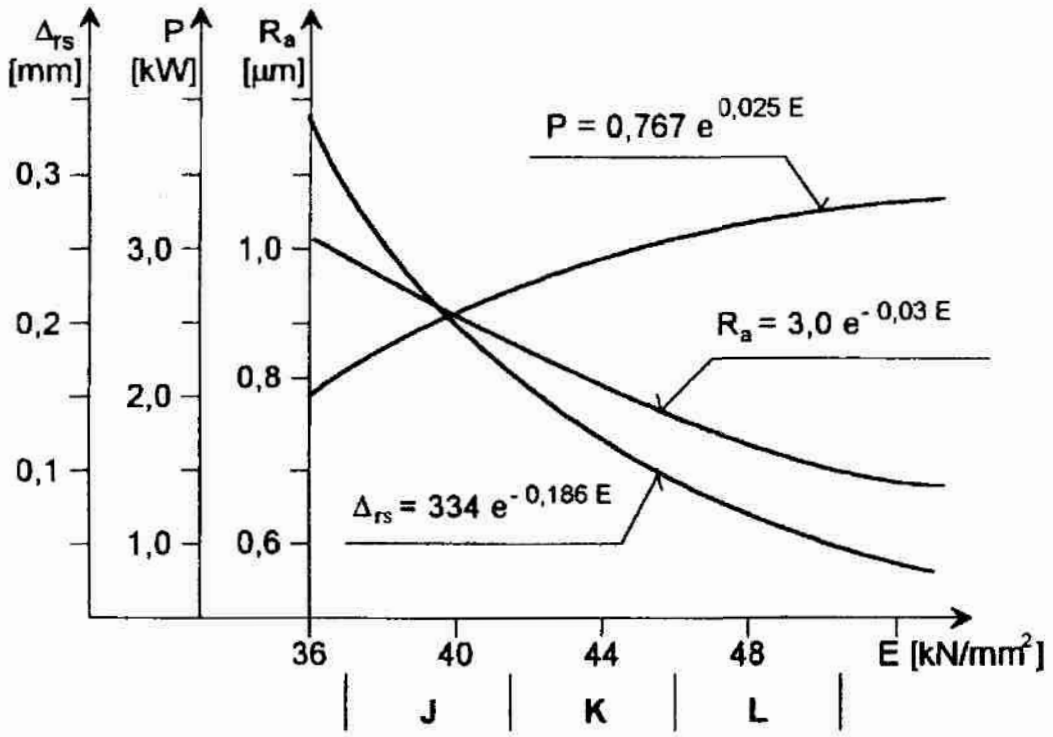
Początkiem wszelkiej działalności związanej z prognozowaniem przyszłych stanów dowolnego obiektu jest znajomość stanu bieżącego. Uzyskuje się ją w wyniku przeprowadzenia określonego badania eksploatacyjnego - diagnozy technicznej. W odniesieniu do omawianych narzędzi, przeprowadzono próby eksploatacyjne na automacie szlifierskim (zapewniało to powtarzalne warunki pracy), szlifując pewną liczbą ściernic pierścienie łożyskowe, wykonane z takiego samego materiału (stal ŁH-15). Dokonywano pomiarów: zużycia objętościowego ściernicy Δ_{rs}, poboru mocy P oraz chropowatości szlifowanej powierzchni wg parametru R_a.

Do celów dydaktycznych, w tab. 1 zestawiono wyniki badań zużycia objętościowego Δ_{rs} 100 egzemplarzy ściernic o charakterystyce: T1 35×20×10/CrA-80-K-8-V (analizowanych w ćwiczeniu 4).

Tabela 1.

L.p.	Δrs[mm]	L.p.	Δrs[mm]	L.p.	Δrs[mm]	L.p.	Δrs[mm]	L.p.	Δrs[mm]
1	0,125	21	0,215	41	0,085	61	0,105	81	0,030
2	0,136	22	0,315	42	0,030	62	0,065	82	0,030
3	0,455	23	0,245	43	0,100	63	0,185	83	0,115
4	0,300	24	0,100	44	0,080	64	0,035	84	0,025
5	0,500	25	0,085	45	0,080	65	0,025	85	0,025
6	0,380	26	0,280	46	0,065	66	0,055	86	0,030
7	0,280	27	0,225	47	0,045	67	0,085	87	0,035
8	0,075	28	0,085	48	0,100	68	0,060	88	0,060
9	0,065	29	0,235	49	0,055	69	0,045	89	0,055
10	0,045	30	0,155	50	0,065	70	0,130	90	0,040
11	0,085	31	0,035	51	0,050	71	0,060	91	0,060
12	0,075	32	0,065	52	0,040	72	0,060	92	0,040
13	0,050	33	0,055	53	0,080	73	0,060	93	0,060
14	0,045	34	0,080	54	0,050	74	0,105	94	0,065
15	0,045	35	0,040	55	0,075	75	0,070	95	0,025
16	0,095	36	0,040	56	0,026	76	0,080	96	0,040
17	0,115	37	0,060	57	0,040	77	0,035	97	0,035
18	0,045	38	0,055	58	0,035	78	0,030	98	0,040
19	0,046	39	0,035	59	0,065	79	0,050	99	0,035
20	0,040	40	0,030	60	0,025	80	0,035	100	0,040

Na podstawie uzyskanych wyników, opracowano modele matematyczne tych parametrów w funkcji modułu sprężystości (E) badanych narzędzi. Przebiegi tych funkcji pokazano na rys. 1.



Rys. 1. Zależność parametrów wyjściowych procesu szlifowania od modułu sprężystości podłużnej E ściernic z tej samej partii produkcyjnej

Na parametry wyjściowe mogą być nałożone pewne ograniczenia (wynikające z analizy danego procesu). Któreś z tych ograniczeń, stanie się ograniczeniem krytycznym - wyznaczającym obszar dopuszczalnych zastosowań zmiennej niezależnej procesu (w naszym przypadku jest nią wartość E).

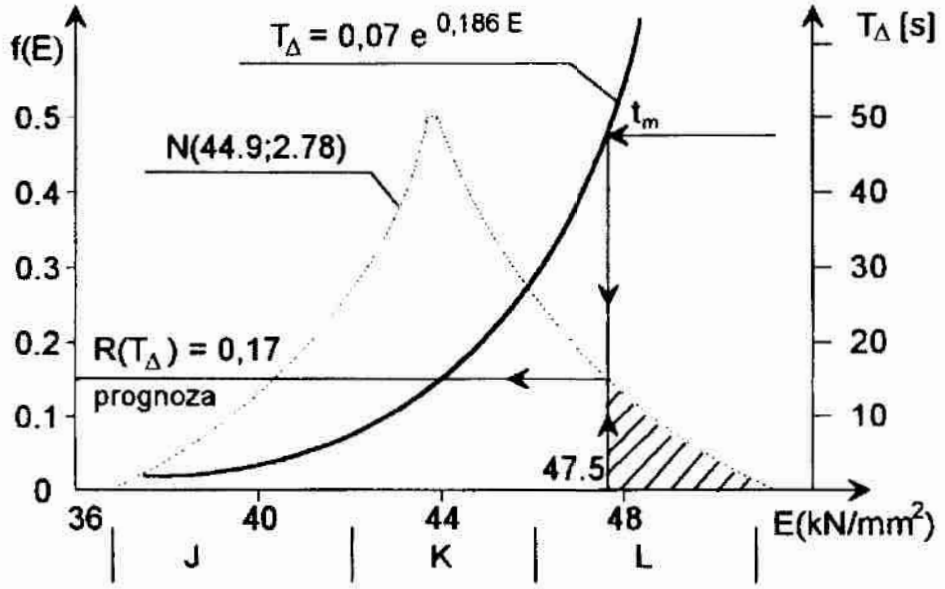
Przyjęcie granicznych dopuszczalnych wartości parametrów danego procesu pozwala określić przydatność użytego narzędzia ze względu na ograniczenie krytyczne - wyznacza więc niezawodny okres trwałości T narzędzia ze względu na to kryterium. W analizowanej operacji takim kryterium było dopuszczalne zużycie ściernicy wynoszące $(\Delta_{rs})_g = 0,05$.

Dla danego przypadku, wzór na okres trwałości T (z indeksem określającym dane ograniczenie) ma postać;

$$T_{\Delta} = \frac{(\Delta_{rs})_g \, t_m}{334 \, e^{-0,186\,E}} \,. \qquad (1)$$

Dla innych ograniczeń (P_{gr} lub Ra_{gr}) wzór (1) będzie miał w mianowniku inną funkcję, opisującą zależność czasu od modułu E.

Graficzny obraz tej zależności, naniesiony na otrzymany rozkład E (po estymacji wyników z próbki na populację) obrazuje rys. 2. Pokazuje on również prognozowaną niezawodność $R(T_{\Delta})$ badanej partii narzędzi.



Rys. 2. Przewidywany zakres modułu E danej partii narzędzi ściernych o niezawodnym okresie trwałości T ze względu na dopuszczalne zużycie objętościowe Δ_{rs}

Ad. zad. B.

Jeżeli funkcja trwałości jakiegoś wyrobu opisywana jest rozkładem wykładniczym (co oznacza, że intensywność uszkodzeń λ ustabilizowała się na stałym poziomie), to niezawodność takich wyrobów opisywana jest prawem wykładniczym (2):

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad \text{lub} \quad R(t) = e^{-t/u} \,, \qquad (2)$$

gdzie: t - określony czas działania wyrobu bez uszkodzenia,
u - średni czas między uszkodzeniami partii tych wyrobów,
λ - intensywność uszkodzeń w okresie dobrej eksploatacji wyrobu, przy czym istnieje zależność (3):

$$\lambda = \frac{1}{u} . \qquad (3)$$

Znając wartość λ, lub u, dla danej partii wyrobów, można dokonywać określonych obliczeń związanych z czasem t niezawodnej pracy wyrobów należących do tej partii, korzystając z wzoru (2).

5. Tok postępowania

Zad. A.

1) Korzystając z badań jakości wykonania ściernic, przeprowadzonych w ćwiczeniu 4, sporządzić tabelę danych (dla $n = 30$ obiektów), gdzie w pierwszej kolumnie należy przepisać wyniki pomiaru modułu E dla 30 badanych ściernic.
2. Założyć, indywidualnie, czas maszynowy operacji szlifowania pierścieni łożyskowych badanymi ściernicami t_m [s] (w zakresie 30 do 60 s).
3. Przyjąć dowolne ograniczenie funkcji pokazanych na rys. 1 (do celów dydaktycznych, każdy student może sobie przyjąć dowolne ograniczenie i dowolną jego wartość, byleby dotyczyła zakresu wartości zbliżonych do pokazanych na rys. 1).
4. Obliczyć okres trwałości T, ze względu na przyjęte ograniczenie, wg wzoru (1). Obliczone wartości wpisać do drugiej kolumny w tabeli danych.
5. Naszkicować teoretyczną funkcję gęstości rozkładu normalnego E badanych narzędzi $f(E)$. *Sposób obliczenia danych tej funkcji jest następujący:* znając parametry tego rozkładu z badanej próbki $(\bar{E}, \sigma_{n-1})$, można wyznaczyć dystrybuantę trwałości $F(E)$, korzystając z tablic rozkładu normalnego (tab. 2) oraz obliczając *ite* (poszukiwane, zakładane) wartości modułu E_i wg zmiennej unormowanej rozkładu normalnego (4):

$$u_i = \frac{E_i - \bar{E}}{\sigma_{n-1}} . \qquad (4)$$

Tabela 2. Wartości dystrybuanty $F(u)$ rozkładu normalnego

u	0,00	0,02	0,04	0,06	0,08
0,0	0,5000	0,5080	0,5160	0,5239	0,5319
1	5398	5478	5557	5636	5714
2	5793	5871	5948	6026	6103
3	6179	6255	6331	6406	6480
4	6554	6628	6700	6772	6844
5	6915	6985	7054	7123	7190
6	7257	7324	7389	7454	7517
7	7580	7642	7704	7764	7823
8	7881	7939	7995	8051	8106
9	8159	8212	8264	8315	8365
1,0	8413	8461	8508	8554	8599
1	8643	8686	8729	8770	8810
2	8849	8888	8925	8962	8997
3	9032	9066	9099	9131	9162
4	9192	9222	9251	9279	9306
5	9332	9357	9382	9406	9429
6	9452	9474	9495	9515	9535
7	9554	9573	9591	9608	9625
8	9641	9656	9671	9689	9699
9	9713	9726	9738	9750	9761
2,0	9772	9783	9793	9803	9812
1	9821	9830	9838	9846	9854
2	9861	9868	9875	9881	9887
3	9893	9898	9904	9909	9913
4	9918	9922	9927	9931	9934
5	9938	9941	9945	9948	9951
6	9953	9956	9959	9961	9963
7	9965	9967	9969	9971	9973
8	9974	9976	9977	9979	9980
9	9981	9982	9984	9985	9986
3,0	9987	9987	9988	9989	9990

Uwaga: *Dla ujemnych wartości u należy skorzystać ze wzoru:*

$$F(-u) = 1 - F(u) . \qquad (5)$$

Poszukiwane gęstości prawdopodobieństwa $f(E_i)$ korzystnie jest obliczać dla dowolnych wartości modułu E z zakresu E_{min} do $\bar{E}$. Wyznaczą one lewą stronę wykresu funkcji $f(E)$. Prawą stronę wykresu można zbudować korzystając z symetryczności rozkładu normalnego.

6. Na powyższym szkicu nanieść obliczoną postać funkcji T.
7. Zaznaczyć, graficznie, zakres niezawodnych narzędzi do danej operacji ze względu na przyjęte ograniczenie.

8. Obliczyć niezawodność danej partii narzędzi $R(T)$. Ponieważ funkcja niezawodności jest dopełnieniem do jedności funkcji trwałości (zawodności), to znając wartość $F(T)$ dla określonego E, można obliczyć wartości $R(T)$ z zależności:

$$R(T) = 1 - F(T) . \qquad (6)$$

Jeżeli mamy już wyznaczoną funkcję niezawodności $R(T)$, to można prognozować przydatność danej partii wyrobów do wykonania operacji o określonym czasie trwania t_m (tj. prawdopodobieństwa, ile wyrobów należących do tej partii nie ulegnie uszkodzeniu przed upływem czasu t_m). Można też rozwiązywać zadanie odwrotne: przy założonym dużym prawdopodobieństwie ich przydatności, poszukiwać niezawodnego okresu czasu t_α ich poprawnej pracy.

Uwaga: Do celów dydaktycznych (analizy rozkładu zużycia obiektów o jednakowej charakterystyce), mogą być wykorzystane wyniki badań zamieszczone w tabeli 1. Na podstawie tych wyników można wyznaczyć typ rozkładu teoretycznego, na który należy nanieść wartość dopuszczalnego zużycia określającego granicę niezawodności badanych obiektów (niezawodne są te, których zużycie jest mniejsze od dopuszczalnego). Zadanie to wykonać, jeżeli zostanie ono zalecone do wykonania przez prowadzącego ćwiczenia.

Zad. B.

1. Korzystając ze wzoru (2), obliczyć niezawodność $R(t)$ dla podanych w zadaniu okresów pracy telewizora.
2. Wykreślić graficzny obraz tej niezawodności.
3. Na wykresie nanieść prawdopodobieństwo poprawnej pracy telewizorów w okresie gwarancji i w okresie rękojmi.

6. Sprawozdanie

W sprawozdaniu zamieścić: treść postawionych zadań, przeprowadzone obliczenia i wykonane wykresy niezawodności.

7. Literatura

1. Słowiński B.: Podstawy badań i oceny niezawodności obiektów technicznych. Skrypt WSInż. Koszalin, 1992 r.

Ćwiczenie 6

Temat: ZASTOSOWANIE ANALIZY STATYSTYCZNEJ W STEROWANIU JAKOŚCIĄ WYKONANIA

1. Wprowadzenie

Twórca japońskiego "cudu gospodarczego" w zakresie jakości, Amerykanin de Edwards Deming twierdził, że firmy, które nie potrafią wcielać w życie metod sterowania jakością, po prostu znikną z życia gospodarczego. Podstawową ideą metody sterowania jakością (wg Deminga) jest twierdzenie, że menadżer odpowiedzialny za produkcję, ludzi i maszyny musi wydzielić te części problemu, które zależą do pracowników i te, które zależą do samego systemu wytwarzania.

Z dostępnych analiz liczbowych widać wyraźnie, że większość występujących wad jakościowych wyrobu zależy od kategorii sterowalnych przez człowieka. Podstawową zasadą sterowania jakością w tym zakresie jest określenie odpowiedzialności na każdym szczeblu firmy. Aby dany człowiek wiedział, na czym polega jego odpowiedzialność za jakość, musi wiedzieć, jakiego działania i jakich decyzji oczekuje się od niego. Dopóki pytaniu "Kto jest odpowiedzialny za jakość" nie towarzyszy sprecyzowanie, jakie decyzje i działania ma się na myśli, dopóty odpowiedź nie może być jasna.

Na szczeblu wykonawczym trzy rodzaje decyzji, związanych z jakością, mają decydujące znaczenie.

1. Akceptacja nastawienia procesu, tzn. decyzja, czy można uruchamiać produkcję przy danym nastawieniu urządzeń produkcyjnych.
2. Akceptacja bieżącego procesu, tzn. decyzja czy można kontynuować produkcję przy dotychczasowym nastawieniu urządzeń produkcyjnych.
3. Akceptacja wyrobu, tzn. decyzja, jak należy postąpić z gotowym wyrobem.

Oprócz potrzeby jasnego ustalenia odpowiedzialności istnieje jeszcze problem logicznego jej ustalania. Ogólnie tylko w tym zakresie można powiedzieć, że nie ma jednego "prawidłowego" rozwiązania operacyjnego. Zależy ono od charakteru produkcji. Najczęściej właściwym jest taki podział decyzji:

* nastawienie początkowe procesu - nastawiacz (operator),

* nastawienie w toku produkcji - personel nadzorczy,

* akceptacja produktu - kontroler jakości.

Jak z tego zestawienia wynika, kształtowanie jakości wykonania następuje w procesie technologicznym wytwarzania danego wyrobu.

Można założyć, że przy idealnie realizowanym procesie z idealnego materiału, powstanie idealny wyrób. Tak więc, przyczyn wszystkich odchyleń od założonej jakości należy szukać w zakłóceniach procesu na wszystkich etapach produkcji, począwszy od surowca, a skończywszy na błędach kontroli.

Jakkolwiek na proces wytwarzania oddziałują liczne czynniki, to jednak można zwykle zaobserwować, że jeden z nich dominuje, tzn. ma większe znaczenie niż wszystkie razem wzięte. Zidentyfikowanie tego dominującego czynnika pomaga wydatnie we właściwym zaprojektowaniu sterowania procesem.

Spotyka się najczęściej cztery wymienione poniżej przypadki przyczynowo - skutkowe w układzie technologicznym procesu wytwarzania:

1. Czynnikiem dominującym jest początkowe nastawienie parametrów procesu. Technologia procesu zapewnia tak dokładną powtarzalność wyników, że przy prawidłowym początkowym nastawieniu maszyn i urządzeń cała partia spełnia postawione wymagania. Jakość zależy w takim przypadku od początkowego nastawienia.
2. Czynnikiem dominującym jest maszyna. Maszyna rozregulowuje się w czasie produkcji, co wymaga jej okresowego sprawdzania i doregulowania.
3. Czynnikiem dominującym jest operator. Niektóre szczegóły operacyjne nie zostały technicznie dopracowane i powstają

stąd możliwości błędów, które zależą od umiejętności i staranności operatora. Są one główną przyczyną wad produktu.

4. Czynnikiem dominującym jest materiał wejściowy. Niejednorodność materiałów wejściowych i półfabrykatów jest głównym czynnikiem wpływającym na jakość finalnego wyrobu.

Każdemu z czynników dominujących odpowiada pewien zespół środków sterowania. Zidentyfikowanie czynnika dominującego ma dużą wartość również jako wytyczna do poprawy procesu, gdyż największe możliwości radykalnej zmiany leżą właśnie w tym czynniku. Warunkiem koniecznym w tym postępowaniu jest znajomość podstaw statystyki matematycznej i rachunku prawdopodobieństwa. Pierwszoplanowym narzędziem systemowym oceny procesu wytwarzania jest bowiem statystyczna kontrola jakości - SPC (Statistical Process Control).

Deming uważał, że jeśli menadżerowie naprawdę chcą sterować procesami jakości, nie mogą uciec od statystyki, a pracownicy muszą nauczyć się jej "języka". Muszą oni bowiem umieć sporządzać różne wykresy kontrolne oraz wyciągać wnioski z trendów, wyników rachunku korelacyjnego i innych danych statystycznych.

2. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się ze statystyczną kontrolą jakości procesu wytwarzania, w którym dominującym czynnikiem jest maszyna lub parametry technologiczne procesu.

3. Przykład opisu postępowania

Przy operacjach, w których czynnikiem dominującym jest maszyna, następują - mimo prawidłowego początkowego nastawienia - zmiany w jej działaniu, powodujące wady wyrobu; zmiany te mogą następować systematycznie w pewnych odstępach czasu lub w sposób przypadkowy. Przykładem zmian pierwszego rodzaju może być zużycie tarczy szlifierskiej lub zmiana stężenia roztworu: drugiego - przypadkowe rozdarcie

arkusza blachy lub dziury wewnątrz odlewu. Do częściej stosowanych środków sterowania należą m.in.:

1. Karty kontrolne średniej i rozstępu.
2. Metoda przymiarów o zawężonej tolerancji i sterowanie wstępne.

3.1. Zastosowanie kart kontrolnych w procesie wtrysku

Posługując się danymi z ubiegłej produkcji wyprasek, otrzymywanych w procesie wtrysku, stwierdzono, że jakość wyprasek podlega rozkładowi normalnemu (Gaussa) - rys. 1. Obliczenie wartości średniej $\bar{x}$ oraz odchylenia standardowego s (σ) dla określonej próbki może być wykonane za pomocą każdego kalkulatora z funkcjami statystycznymi (w ćwiczeniu tym odchylenie standardowe (σ) oznaczono symbolem s, gdyż w odniesieniu do próbki często w literaturze można spotkać się również i z takim oznaczeniem). Odchylenie standardowe σ zwykle bowiem odnosi się do rozkładów teoretycznych, a s - do empirycznych, wartości określanej na podstawie próbki.

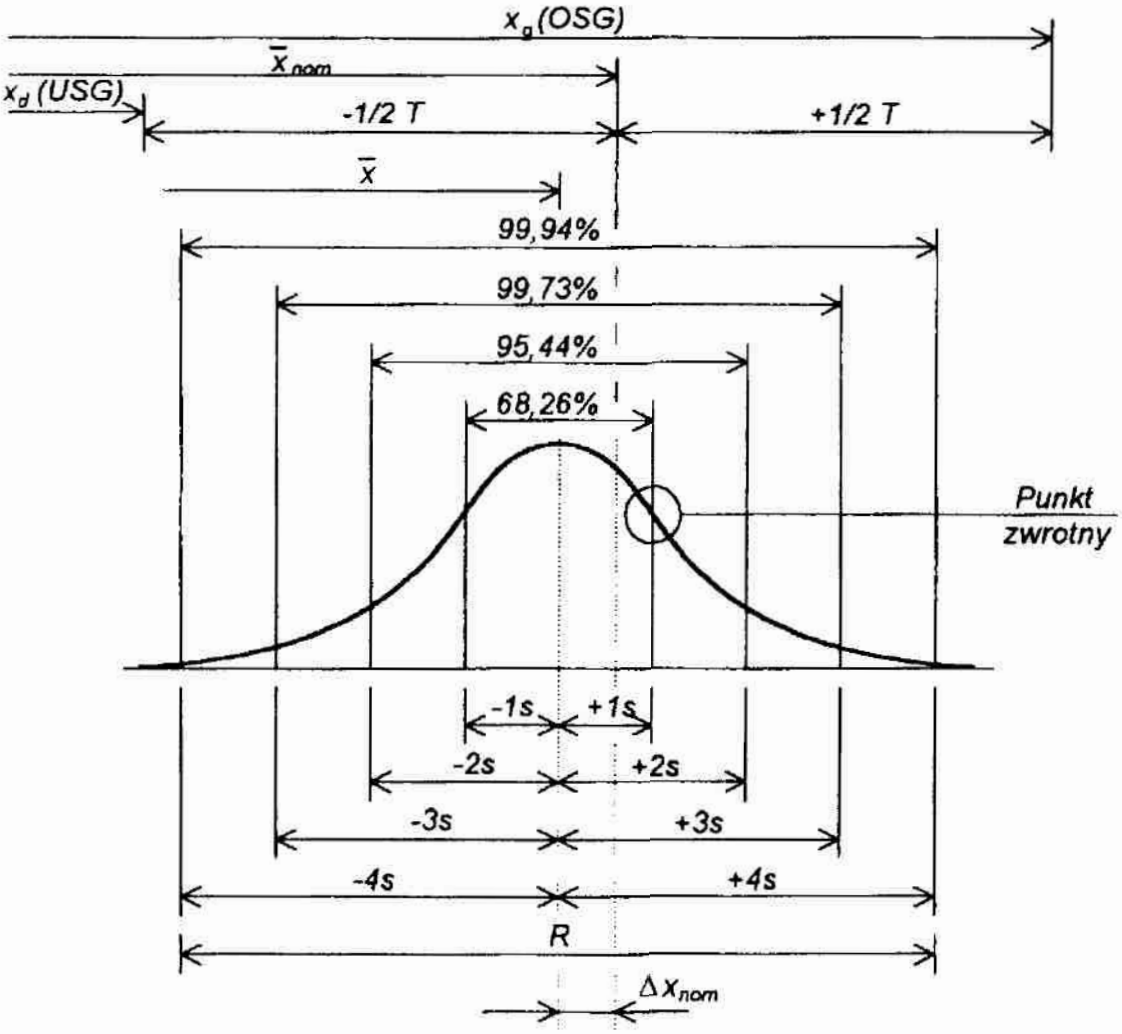
Określenie dopuszczalnego błędu $\pm\delta$ (uzgodnionego z odbiorcą) zależy od jego wymagań i związane jest z prawdopodobieństwem (pewnością) uzyskania dobrego wyniku. Prawdopodobieństwo to (wyrażone w %) w odniesieniu do wielokrotności odchylenia standardowego s pokazano na rys. 1.

W rozpatrywanym przykładzie uzgodniony był z odbiorcą wyprasek dopuszczalny błąd $\pm\delta = \pm 3\ s$ czyli dopuszczalne było występowanie na 1000 sztuk wyrobów 3 nieprawidłowych.

Stosowanie SPC pozwala na wyciągnięcie następujących wniosków praktycznych przy produkcji danego wyrobu:

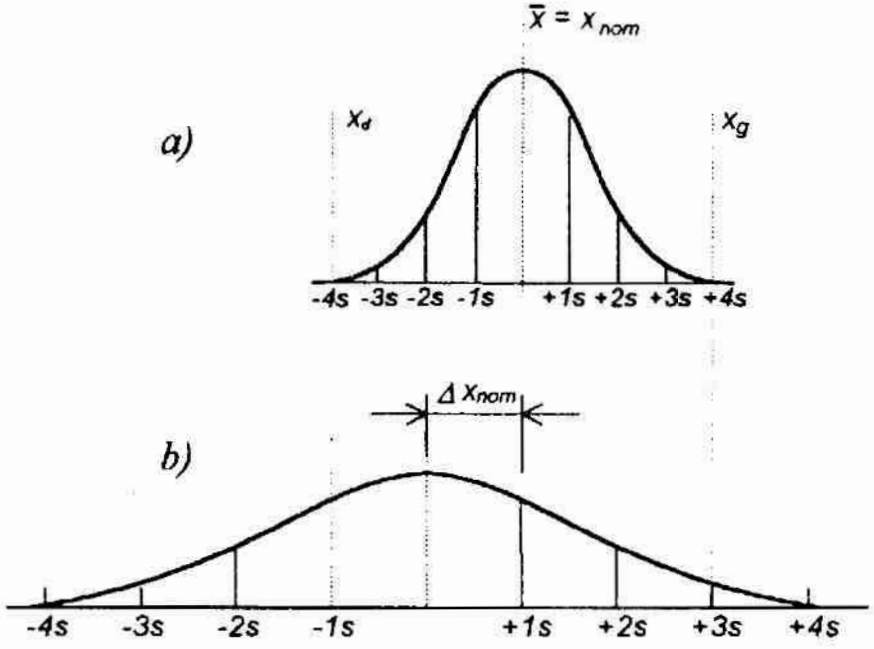
* należy dążyć do jak najmniejszego zróżnicowania pomiędzy wartością średnią $\bar{x}$ a wielkością nominalną x_{nom}. Przesunięcie Δx_{nom} jest przedmiotem korekty technologicznej procesu lub korekty nastaw maszyny.
* zmniejszenie wartości odchylenia standardowego s, a tym samym i dopuszczalnego błędu $\pm\delta$, można uzyskać przez eliminację czynników zakłócających procesu (w przypadku analizowanych wyprasek mogły nimi być np.: brak powtarzalności ciśnień, zmiany temperatury oleju, wahania

napięcia prądu itp.). Czynniki te powodują zmianę kształtu krzywej rozkładu Gaussa i wyjście wyrobów poza granice tolerancji - rys. 2.



Rys. 1. Rozkład określony krzywą Gaussa naniesiony na pole tolerancji wymiarowej wyrobu:

- $\bar{x}$ - *wartość średnia (średnia arytmetyczna n pomiarów),*
- s - *odchylenie standardowe,*
- $\pm\delta$ - *błąd dopuszczalny, przyjmowany zależnie od wymagań odbiorcy, np. ±4s,*
- T - *tolerancja określona wymogami odbioru,*
- x_{nom} - *wymiar nominalny (średni),*
- Δx_{nom} - *przesunięcie miedzy wartością średnią a nominalną,*
- x_g - *górna zewnętrzna linia kontrolna (niem. OSG),*
- x_d - *dolna zewnętrzna linia kontrolna (niem. USG)*



Rys. 2. Rozstęp wymiarów wypraski: a) prawidłowy (idealny), b) nieprawidłowy

Z punktu widzenia interesów producenta, korzystne jest wynegocjowanie z odbiorcą jak najszerszego pola tolerancji i jak najmniejszej liczby wymiarów tolerowanych w danym wyrobie.

Za pomocą analizy statystycznej można określić, czy dana maszyna wykazuje dobrą tzw. zdolność maszynową.

Zdolność maszyny c_m jest to stwierdzenie, czy do produkcji danego wyrobu, o określonej tolerancji wykonania, można wykorzystać posiadaną maszynę.

$$c_m = \frac{x_g - x_d}{6\,s} \geq 1{,}33\ , \qquad (1)$$

lub (dla rozkładu przesuniętego)

$$c_{mk} = \frac{x_g - \bar{x}}{3\,s} \geq 1{,}33\ , \qquad (2)$$

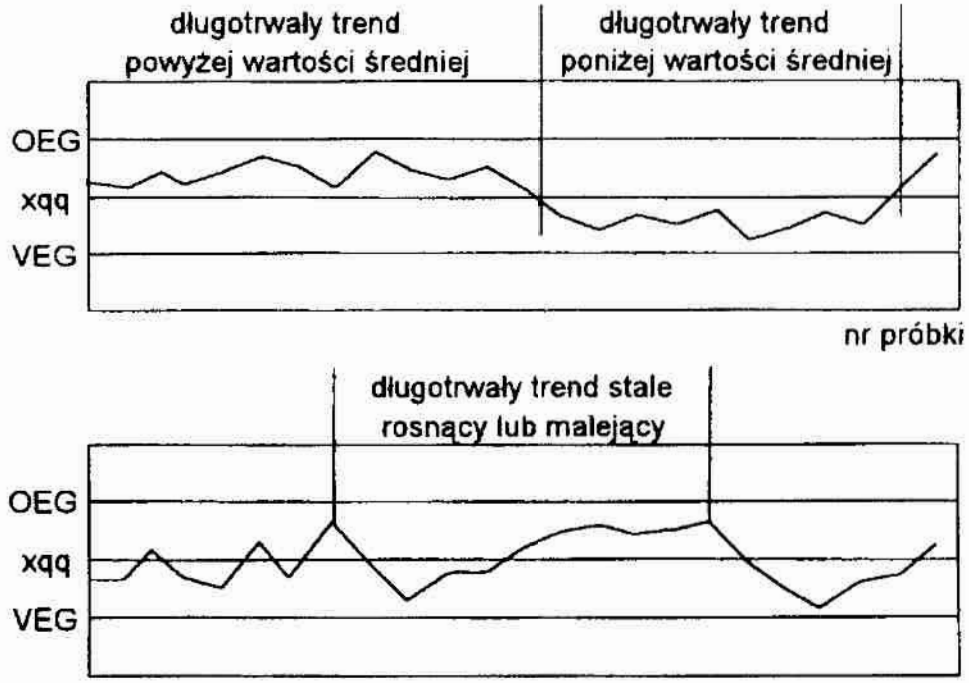
$$c_{mk} = \frac{\bar{x} - x_d}{3\,s} \geq 1{,}33\ , \qquad (3)$$

c_{mk} - zdolność maszynowa krytyczna - sprawdzana gdy $c_m < 1{,}33$.

Ponieważ dotyczy to określonej maszyny, w czasie badań zdolności maszynowej:

- nie mogą być zmienione parametry nastawne maszyny,
- maszyna pracuje bez przerw, obsługa dokonywana jest przez tego samego pracownika, lub sterowana przez sterownik,
- stosuje się surowiec pochodzący z tej samej partii.

Ogranicza to możliwość stwierdzenia oddziaływań systematycznych. Oddziaływania takie mogą się uwidocznić przy obserwacji dłuższego cyklu pracy maszyny - rys. 3.

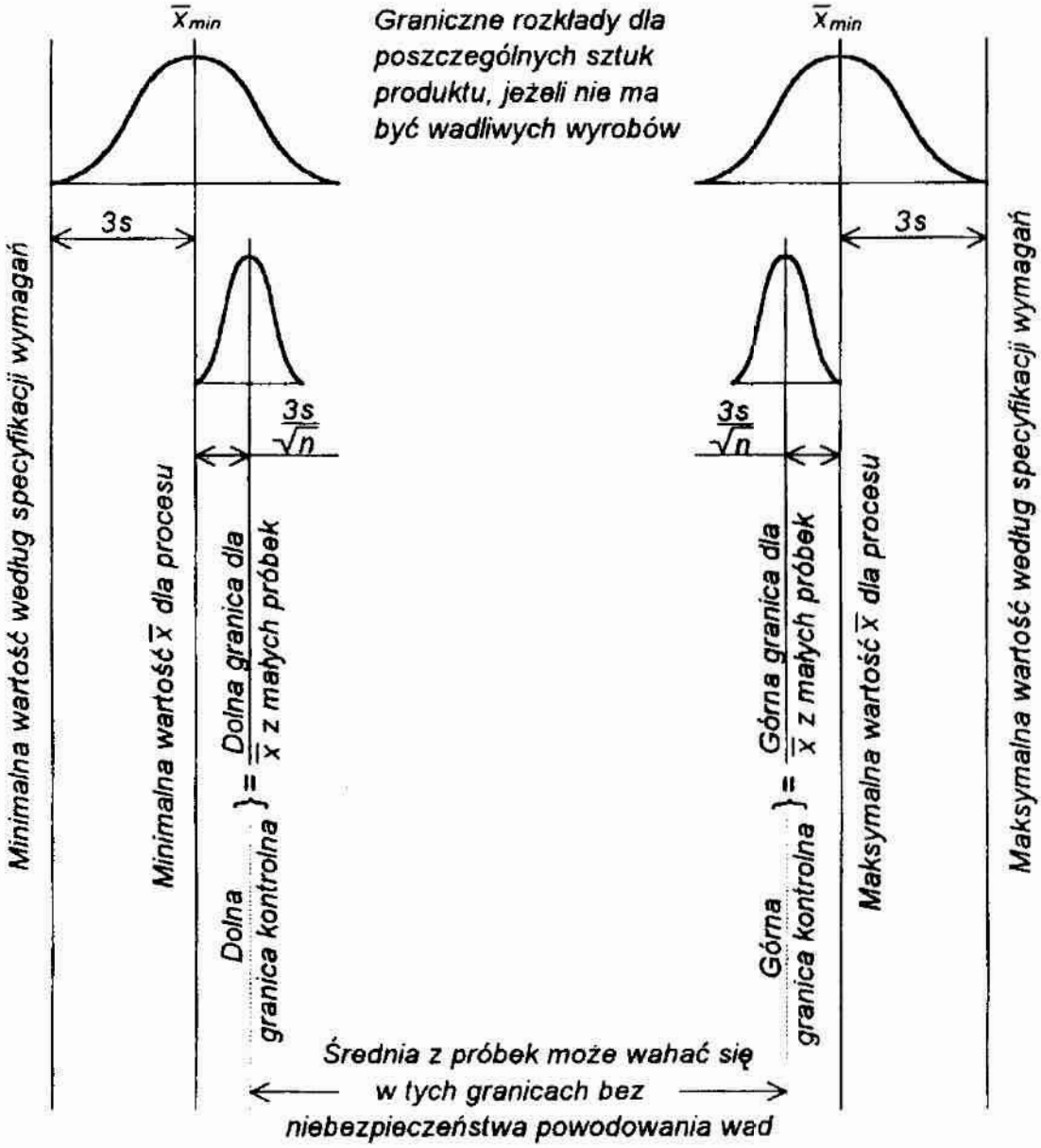


Rys. 3. Analiza przebiegu zmian wymiarowych (trendów) przy ciągłej kontroli procesu wg SPC

Obserwacje ciągłe procesu pozwalają określić tendencje (trendy) rosnące lub malejące. Trendy te dają informację o rozregulowaniu się procesu i wskazują na konieczność dokonania korekt parametrów technologicznych. Taka karta kontrolna procesu może być obowiązującym dokumentem - atestem załączanym do dostarczanej partii wyrobów.

3.2. Metoda sprawdzianów o zawężonej tolerancji - - sterowanie wstępne

Typowa karta kontrolna jest przeznaczona do wykrywania istnienia statystycznie istotnych zmian. Zmiany te jednak w wielu przypadkach nie mają istotnego ekonomicznego znaczenia, tzn. nie zagrażają zgodności z wymaganiami. W takich przypadkach potrzebny jest sygnał alarmowy innego rodzaju - pomagający wykryć te zmiany, które mogą powodować istotne braki. Model takiego sygnału pokazano na rys. 4.



Rys. 4. Zmodyfikowane granice kontrolne

Aby uniknąć braków, trzeba utrzymywać taką wartość średniej w procesie, aby różniła się od granicy przepisanej tolerancji co najmniej o $3s$ (3σ). Daje to graniczne wartości średniej $\bar{x}_{min}$ i $\bar{x}_{max}$.

Gdyby małe próbki dawały zawsze prawidłowy szacunek średniej w procesie, to można by $\bar{x}_{min}$ i $\bar{x}_{max}$ przyjąć jako granice kontrolne. Wobec tego jednak, że dane z małych próbek wahają się, granice dla $\bar{x}$ obserwowanego w małych próbkach muszą być bardziej oddalone od granicy tolerancji wyznaczonej dla danego wyrobu (uwzględnia się wtedy w większym stopniu ochronę nabywcy niż ochronę producenta).

Jeżeli rozrzut średnich z małych próbek określono jako

$$\frac{3s}{\sqrt{n}}, \tag{4}$$

to odległość każdej z granic kontroli od odnośnej granicy tolerancji musi wynosić

$$3s + \frac{3s}{\sqrt{n}}. \tag{5}$$

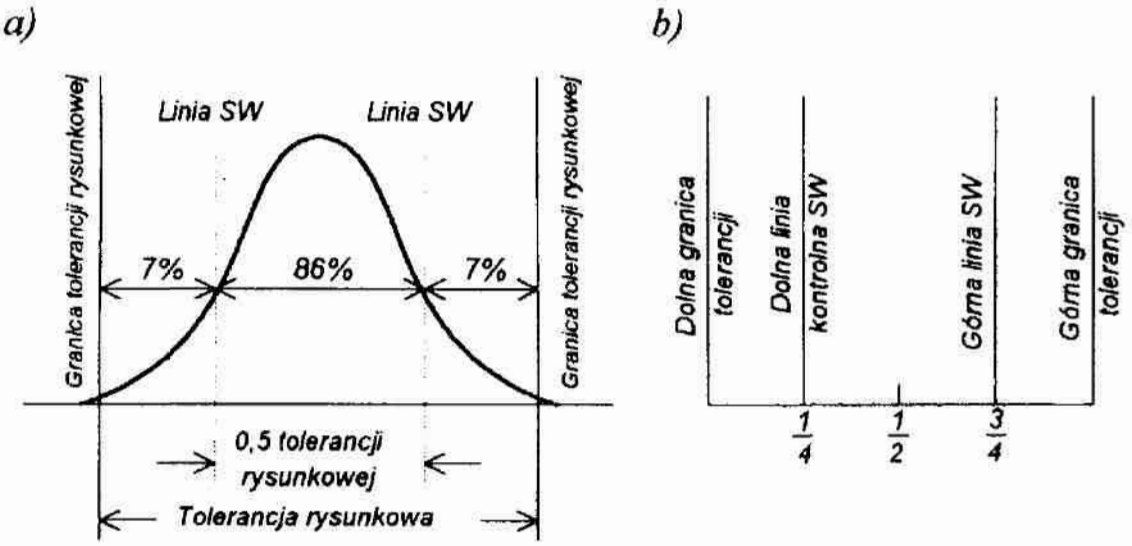
Przykładem praktycznego zastosowania zmodyfikowanych granic kontrolnych jest metoda sprawdzianów o zawężonej tolerancji (SZT). Przy tej metodzie wykonuje się sprawdziany - przechodni i nieprzechodni - o granicach węższych niż normalnie stosowane. Stosując sprawdziany SZT pobiera się okresowo próbkę z bieżącej produkcji i oblicza liczbę sztuk, w których te zawężone granice nie zostały dotrzymane. Gdy liczba ta przekracza dopuszczalną liczbę, podaną w planie badań opartym na tej metodzie, przeregulowuje się proces. Przykładem posługiwania się sprawdzianami SZT jest tzw. system sterowania wstępnego (SW). System ten opiera się na początkowym założeniu, że rozkład w procesie mieści się w granicach tolerancji, i pozwala wykryć wszelkie przesunięcia rozkładu, które mogłyby spowodować przekroczenia w niektórych sztukach tolerancji rysunkowych.

System SW nie wymaga sporządzania wykresu, ani przeliczania danych z próbek, a do uzyskania informacji potrzebnych do sterowania wystarczają tylko trzy sztuki

wyrobu. Do wyznaczania istotnych zmian w procesie w stosunku do docelowego nastawienia, czyli do takiego rozrzutu w procesie, którego skutkiem byłby wzrost udziału wadliwych sztuk - system ten posługuje się krzywą Gaussa.

Zasada SW polega na tym, że zakłada się najgorsze warunki, w których zdolność procesu wystarcza jeszcze do uzyskania zadowalającej jakości; oznacza to założenie, że naturalna tolerancja jest dokładnie taka sama jak rysunkowa, czyli że rozkład w procesie pokrywa się dokładnie z obszarem tolerancji i że wszelkie przesunięcie spowodowałoby wzrost liczby wadliwych sztuk.

Jeżeli narysujemy dwie linie kontrolne SW, każdą w odległości jednej czwartej tolerancji od odnośnej granicy tej tolerancji (rys. 5), to można wyliczyć, że 86 % sztuk znajdzie się między liniami SW, a po 7 % - na zewnątrz każdej z nich. Innymi słowy, w przypadku rozkładu normalnego, 7 % (czyli 1 na 14 sztuk) znajdzie się poza każdą z linii SW.



Rys. 5. a) Założenia, na których opiera się system sterowania wstępnego; b) rozmieszczenie linii kontrolnych SW i granic tolerancji

Szansa, że dwie kolejne sztuki znajdą się poza daną linią SW wynosi 1/14 × 1/14 = 1/196. Można więc oczekiwać, że dla około 200 wykonanych sztuk zdarzy się tylko jeden taki przypadek, aby dwie sztuki znalazły się poza daną linią SW. Gdy zdarzy się taki przypadek, istnieje duża szansa (195/196),

że w procesie nastąpiło przesunięcie rozkładu. Jest wtedy wskazane zmienić nastawienie tak, aby przywrócić poprzedni stan. Równocześnie jest mało prawdopodobne, aby spośród dwóch kolejnych sztuk jedna znalazła się poza jedną linią SW, a druga - poza drugą. Przypadek taki nie wskazywałby, że nastąpiło przesunięcie rozkładu w procesie, lecz że wystąpił pewien czynnik, który spowodował zwiększenie rozrzutu w tym stopniu, że wzrost liczby wadliwych sztuk stał się nieunikniony. W takim przypadku trzeba natychmiast zastosować środki zaradcze, eliminujące przyczynę zakłócenia i dopiero wtedy można bez obawy kontynuować produkcję.

Te podstawowe zasady prowadzą do sformułowanych poniżej reguł postępowania przy sterowaniu wstępnym.

1. Podzielić obszar wymaganej tolerancji liniami SW, odległymi o 1/4 tego obszaru od odnośnych granic tolerancji, jak na rys. 5.
2. Zacząć stosować procedurę SW.
3. Jeżeli pewna sztuka znajdzie się poza granicami wymaganej tolerancji, zmienić nastawienie procesu.
4. Jeżeli jedna sztuka znajdzie się wewnątrz granic tolerancji, lecz poza jedną z linii SW, sprawdzić następną sztukę.
5. Jeżeli druga sztuka znajdzie się również poza tą samą linią SW, zmienić nastawienie.
6. Jeżeli druga sztuka znajdzie się wewnątrz linii SW, kontynuować produkcję i zmienić nastawienie dopiero wtedy, gdy dwie kolejne sztuki znajdą się poza jedną z linii SW.
7. Jeżeli spośród dwóch kolejnych sztuk jedna znajdzie się powyżej górnej linii SW, a druga poniżej dolnej, trzeba natychmiast podjąć kroki, które spowodowałyby zmniejszenie rozrzutu.
8. Jeżeli pięć kolejnych sztuk znajdzie się między liniami SW, można przejść na okresową kontrolę za pomocą sprawdzianu. Jeżeli wcześniej jedna sztuka znajdzie się poza jedną z linii SW, rozpocząć procedurę od nowa.

9. Przy sprawdzaniu okresowym nie zmieniać nastawienia procesu, dopóki pewna sztuka nie znajdzie się poza linią SW. Gdy zdarzy się taki przypadek, sprawdzić następną sztukę i postąpić w sposób wskazany w punkcie 6.
10. Gdy nastawienie maszyny zostało zmienione, pięć kolejnych sztuk musi się znaleźć się znowu między liniami SW, zanim powróci się do sprawdzania okresowego.
11. Jeżeli przy sprawozdaniu okresowym operator wykona co najmniej 25 sprawdzeń bez potrzeby zmiany nastawienia procesu, to częstość sprawdzania może być zmniejszona, tzn. można wykonywać więcej sztuk między kolejnymi sprawdzeniami. Z drugiej strony, jeżeli operator musi zmieniać nastawienie wcześniej niż po 25 sztukach (jak wskazała praktyka, można uważać, że pojedyncze wahania tej liczby od 21 do 29 nie mają znaczenia), to częstość sprawdzania trzeba powiększyć. 25 sprawdzeń - jako średnia liczba - jest wskazówką, że częstość sprawdzania jest prawidłowa.

Metoda sterowania wstępnego daje informacje o zmianach docelowego nastawienia i o rozrzucie w procesie. Jest ona łatwa do stosowania, pozwala na stosowanie dwustronnych sprawdzianów i może gwarantować określoną wadliwość dopuszczalną, jeżeli poprawia się nastawienie, gdy zachodzi tego potrzeba.

Metody sterowania procesu, przy których stosuje się zawężone granice, należy wprowadzać wśród personelu obsługującego maszyny z dużą ostrożnością. Bez pełnego wyjaśnienia pracownikom tej metody powstaje wrażenie, że zacieśnia się tolerancje wykonawcze. To mylne wrażenie trudno jest sprostować. Z tego względu najlepiej jest rejestrować wyniki kontroli opartej na zawężonych granicach w dziale sterowania jakości, dopóki nie wyjaśni się dobrze personelowi istotnego znaczenia tych granic i ich przydatności.

4. Dane wyjściowe

Zad. A.

Zestawione poniżej dane (podane w kolejności pozyskiwania) reprezentują liczby wad znalezionych w samochodach

montowanych na jednej linii montażowej. Kolejna liczba wad jest wynikiem badania kontrolnego co 25 samochodu:

8, *x*, 8, 10, 7, 7, 8, *x*, 9, 8, 4, *x*, 9, 6, 6, *x*, 6, 4, 7, 5, *x*, 6, 4, 5, 7, 4, 5, *x*, 4, 6, 5, 6, *x*, 4, 4, 3.

Uwaga: *wartości oznaczone x - przyjąć samemu.*

a) sporządź wykres na karcie kontrolnej (oś rzędnych - liczba badanych samochodów, oś odciętych - liczba wad),

b) połącz linią prostą wierzchołki wykresu. Jest to linia oporu wyznaczająca linię długotrwałego trendu - skomentuj go. Z linii trendu wyznacz, graficznie, po jakiej liczbie wykonanych samochodów można oczekiwać, że liczba wad osiągnie nominalną liczbę wad uzgodnioną z odbiorcą: 3 *z*, przy czym *z* oznacza uzgodnioną z odbiorcą tolerancję wad (maksymalnie $z = 3$). Zaznacz na wykresie (linią poziomą) maksymalną dopuszczalną liczbę wad i skomentuj: ile samochodów wykonano niezgodnie z ustaleniami

c) oblicz wartość średnią i odchylenie standardowe dla otrzymanego zbioru wyników,

d) sporządź histogram dla uzyskanych wyników (ustalając przedziały klasowe co jedną wadę), Zaznacz na histogramie: wartość średnią, odchylenie standardowe, wartość nominalną oraz graniczną (max) liczbę dopuszczalnych wad uzgodnioną z odbiorcą.

e) oblicz zdolność maszynową danej linii montażowej (dla rozkładu przesuniętego), wstawiając w liczniku, odpowiedniego wzoru, wartości wad uzgodnione z odbiorcą (max i średnie), a w mianowniku wartość odchylenia standardowego otrzymanego z pomiarów. Skomentuj wynik.

Zad. B.

Ważną cechą zwykłych cegieł jest ciężar absorbowanej wody w cegle (w procentach ciężaru cegły). W pewnej cegielni mierzono wartości tej cechy, lecz nie rejestrowano ich i nie analizowano. W celu podniesienia jakości cegieł podjęto decyzję badania procesu za pomocą karty kontrolnej.

Z trzydziestu próbek, każda o liczności 4, otrzymano poniższe wyniki zamieszczone w tabeli 1, przy czym: *x* - jest wartością średnią arytmetyczną z 4 pomiarów, natomiast *s* - jest odchyleniem standardowym dla tych pomiarów.

Tabela 1.

Nr próbki	x	$4s$	Nr próbki	x	$4s$
1	13,0	7,9	16	9,8	17,5
2	15,1	9,1	17	8,8	10,5
3	7,4	9,7	18	8,1	4,4
4	12,3	9,9	19	6,3	4,1
5	8,7	6,7	20	10,5	5,7
6	8,8	7,1	21	9,7	6,4
7	?	?	22	11,7	4,6
8	11,7	9,1	23	?	?
9	10,2	12,1	24	13,2	7,2
10	11,5	10,8	25	12,5	8,3
11	?	?	26	7,5	6,4
12	11,2	13,3	27	?	?
13	10,2	6,9	28	8,8	6,9
14	?	?	29	8,0	6,4
15	7,6	5,4	30	7,6	8,2

Uwaga: *Wartości oznaczone znakiem ? należy dobrać samemu.*

a) sporządź na karcie kontrolnej wykres rozkładu teoretycznego Gaussa dla średniej wartości $\bar{x}$ oraz odchylenia standardowego s (średniego), estymowanego na odchylenie standardowe dla populacji, tj. σ_{n-1} (sposób postępowania w tym względzie omawiano przy poprzednich ćwiczeniach),

b) na wykresie tym zaznacz wartość $\bar{x}$ jako wartość $\bar{x}_{nom}$, górną granicę tolerancji wykonania $x_g(OSG)$ jako wartość $+2\delta$, gdzie $\delta = \sigma_{n-1}$, dolną granicę tolerancji wykonania $x_d(USG)$ jako wartość -2δ, ($\pm 2\sigma_{n-1}$ - taką wartość błędu uzgodniono z odbiorcą - przy 95% poziomie ufności).

c) na wykresie tym zaznacz (cienkimi liniami) wartości $\pm 1\sigma_{n-1}$, $\pm 2\sigma_{n-1}$, $\pm 3\sigma_{n-1}$ oraz $\pm 4\sigma_{n-1}$,

d) na wykresie zaznacz (grubymi liniami) granice SW w odległościach 1/4 od wartości OSG i USG.

W czasie procesu produkcyjnego dodawano do gliny wodę tak, aby otrzymać masę nadającą się do formowania. Ilość dodawanej wody zależała od wyczucia przygotowującego cegły do wypalania. Po zgromadzeniu początkowych danych dokonano licznych zmian w procesie. Kluczową z nich było zainstalowanie wodomierza w celu lepszej kontroli ilości dodawanej wody. Po tej zmianie pobrano następne próbki (30

próbek o liczności 4). Wyznaczono dla nich ponownie wartość x oraz $4s$. Wyniki te przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2.

Nr próbki	x	$4s$	Nr próbki	x	$4s$
1	6,7	4,0	16	9,6	6,9
2	7,7	8,4	17	11,1	2,9
3	8,0	4,0	18	13,2	13,2
4	10,9	9,9	19	8,7	8,7
5	8,7	2,2	20	4,7	4,7
6	8,2	4,1	21	6,1	6,1
7	?	?	22	4,8	4,8
8	9,9	3,2	23	?	?
9	11,1	8,0	24	2,3	2,3
10	10,5	6,1	25	4,2	4,2
11	?	?	26	4,5	4,5
12	7,3	2,7	27	?	?
13	8,8	2,2	28	2,0	2,0
14	?	?	29	2,9	2,9
15	10,8	6,3	30	10,4	7,7

Uwaga: *Wartości oznaczone znakiem ? (dobrane przez siebie w poprzedniej tablicy) należy przepisać bez zmian.*

Dokonaj ponownie postępowania wg. punktów od a) do d) dla nowych danych.
Porównaj te dwa wykresy ze sobą i podaj wnioski dotyczące wpływu zmian technologicznych w procesie wytwarzania na jakość wyrobu. Jakie jest prawdopodobieństwo znalezienia wyrobów niespełniających ustalonych, nowych, granic tolerancji na poziomie $\pm 2\sigma_{n-1}$ (można je odczytać bezpośrednio z tego drugiega wykresu rozkładu Gaussa)?

5. Sprawozdanie

W sprawozdaniu należy podać tabele wyników, sporządzone wykresy oraz wnioski z przeprowadzonej analizy wykresów.

6. Literatura

1. Juran J.M., Frank M., Gryna J.R.: Jakość - projektowanie, analiza. WNT Warszawa 1974, s. 514 ÷ 533.
2. Mechanik Nr 12/1993, s. 436 ÷ 440.

Ćwiczenie 7

Temat: USTALANIE LICZNOŚCI PRÓBKI PRZY WYRYWKOWYCH BADANIACH ODBIORCZYCH

1. Wprowadzenie

Przydatność użytkową dowolnych obiektów technicznych (ich pożytek wyrażony potencjałem użytkowym Q) możemy ocenić na podstawie określonych badań eksploatacyjnych. Nie jesteśmy jednak w stanie zbadać całej populacji takich obiektów, lecz jedynie pewną ich ilość (próbkę n) na podstawie, której szacuje się właściwości użytkowe wszystkich innych obiektów należących do danej populacji N. Przy takim przeszacowywaniu (estymacji), istotnego znaczenia nabiera dobór liczności n obiektów w próbce tak, aby zminimalizować błąd oceny.

Prawo wielkich liczb głosi, że w miarę wzrastania liczby ocenianych przypadków (liczby niezależnych obserwacji) wzrasta dokładność oszacowania danego parametru, maleje więc prawdopodobieństwo popełnienia błędu jego oceny. Niestety, zazwyczaj wzrostowi liczby obserwacji towarzyszy wzrost kosztów i zaangażowanie środków działania, a więc konieczne jest wybranie jakiegoś optimum pomiędzy tymi dwiema przeciwstawnymi tendencjami. W przeciwnym bowiem wypadku stracimy sens (pożytku) z takiego badania.

W większości zagadnień rozpoznawania stanów technicznych obiektów (ale i nie tylko) stosuje się więc badania wyrywkowe - próbkowanie rzeczywistości: czy są już określone zmiany? - i czas na "mutacje"? (patrz wprowadzenie do ćwiczeń).
Badania wyrywkowe stosuje się też chociażby z takich prozaicznych powodów, że:
- do badań może być zatrudniony mniej liczny personel,
- kierowanie mniej licznym personelem jest prostsze i tańsze,
- mniej wyrobów ulega zepsuciu podczas kontroli,

- decyzje o całej partii wyrobów mogą być podjęte wcześniej - jeszcze przed dostarczeniem do użytkownika,
- zmniejsza się monotonia pracy kontrolerów,
- odrzucenie (a nie segregowanie) wyrobów w partii pobudza ludzi odpowiedzialnych w zakładzie za jakość do działań projakościowych,
- uzyskuje się informacje potrzebne do rozpoznania poziomu jakości wyrobów odpowiadającego użytkownikowi.

Stosowanie wyrywkowej kontroli właściwości użytkowych obiektów (na podstawie próbki) zawsze jest oparte na pewnym ryzyku popełnienia błędu. Termin "ryzyko" oznacza prawdopodobieństwo pojawienia się niebezpieczeństwa, straty lub zagrożenia jako przewidywanego rezultatu działania. Z definicji tej wynika, że ocena ryzyka jest pewną formą kalkulowania (bilansowania) zakresu zysków oraz strat w kontekście odpowiadających im szans. Ryzyko takie zatem może i winno być szacowane. Szacowanie to oparte jest na przypuszczeniu, że korzyści otrzymane z zastosowania kontroli wyrywkowej przewyższają straty związane z przedostaniem się obiektów o niekorzystnych właściwościach do partii uznawanej za dobrą.

Wiarygodności 100 % (0 % ryzyka) nigdy nie możemy uzyskać. Zakładamy zatem pewne prawdopodobieństwo P takiej wiarygodności (albo dopuszczalne ryzyko a, przy czym $P = 1-a$). Nie ma ścisłych wskazań co do wyboru wielkości prawdopodobieństwa P. Im wartość P jest bliższa 1, tym bardziej pewne jest, że częstość wystąpienia badanej właściwości (cechy) w próbce mało się różni od częstości występowania tej cechy w populacji generalnej obiektów. W praktyce przyjmuje się P = 0,95 lub P = 0,99.

2. Zasady i reguły kontroli wyrywkowej

Przy rozwiązywaniu zagadnień związanych z wyrywkową kontrolą odbiorczą można wskazać na trzy główne sposoby określania liczności próbki:

A) Na podstawie danych o eksploatacji wyrobów ustala się wadliwość q_t, dopuszczalną dla danej produkcji. Liczność próbki określa się tak, aby dla dowolnej jakości

produkowanych wyrobów przed kontrolą, jakość przyjętej partii nie była gorsza od dopuszczalnej w eksploatacji.

B) Na podstawie przebiegu procesu produkcji danego wyrobu określa się charakter i parametry rozkładu (wartość średnią $\bar{x}$ oraz odchylenie standardowe dla próbki σ_n), a liczność próbki ustala się wychodząc z efektywności kontroli i uwzględniając to, że przy wzroście n jakość produkcji nie poprawi się w sposób istotny.

C) Na podstawie analizy przebiegu procesu produkcji danych wyrobów, z uwzględnieniem kosztów kontroli, kosztów produkowanych wyrobów, kosztów związanych z przyjęciem sztuk "złych", ustala się liczność próbki, dla której ogólne straty są minimalne.

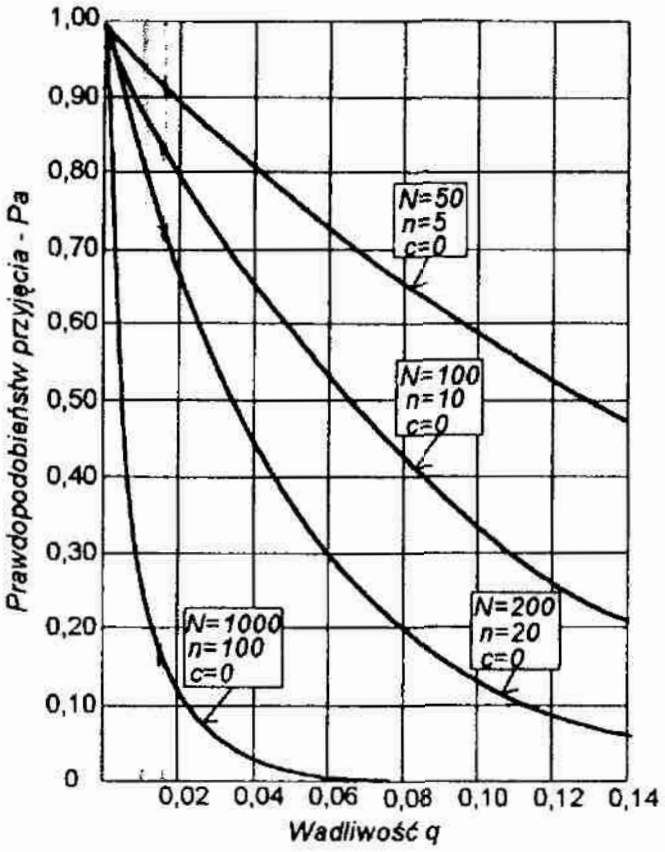
Podane dalej zadania dotyczą zasadniczo pierwszej z wymienionych dróg postępowania. Mogą być rozwiązane z wykorzystaniem różnych typów rozkładów, wg których zakładamy rozrzuty wyników badań.

Przy kontroli wyrywkowej, mogą występować 2 rodzaje błędów:

1. Dobre partie mogą być odrzucone (ryzyko producenta).
2. Złe partie mogą być przyjęte (ryzyko nabywcy).

W badaniach wyrywkowych należy ustalić pewien kompromis (krzywą OC) uwzględniający oba te rodzaje ryzyka. Krzywa OC (operacyjno - charakterystyczna) dla danego planu badań (typu rozkładu) określa ilościowo oba te rodzaje ryzyka. Jeżeli nie stosuje się żadnego planu badań, odbiór wyrywkowy zwykle odbywa się z wykorzystaniem reguły 10 %, tzn. dopuszcza się wadliwość nie większą niż 10 % całej partii wyrobów zakładając, że gdy n - const. to i P const. W rzeczywistości tak jednak nie jest (rys. 1).

Załóżmy przykładowo, że partia o wadliwości 0,02 (2 %) była odbierana według takiego planu. Jeżeli liczność partii wynosi 50, to prawdopodobieństwo, że partia zostanie przy takim planie przyjęta wynosi (zgodnie z rys. 1) 90 %. Jeżeli jednak odbiera się partie wyrobów o liczności 200 i takiej samej wadliwości (0,02), to prawdopodobieństwo jej przyjęcia spada do 68 %. Prawdopodobieństwo to maleje wraz ze wzrostem liczności partii N.



Rys. 1. Krzywe OC dla partii wyrobów o różnej liczności N przy 10 % regule próbkowania

1) N = 50, n = 5, c = 0 2) N = 100, n = 10, c = 0 3) N = 200, n = 20, c = 0 4) N = 1000, n = 100, c = 0

przy czym c - dopuszczalna liczba sztuk wadliwych w próbce

Aby temu zapobiec, w doskonalszych planach badań wyrywkowych, stosuje się krzywe OC oparte na innych rozkładach. Istnieją trzy rozkłady, którymi można się posługiwać do znalezienia jednakowego prawdopodobieństwa przyjęcia partii wyrobów o różnej liczności *N*. Są to rozkłady:

- hipergeometryczny,
- dwumianowy,
- Poissona.

Gdy będą spełniane założenia rozkładu Poissona, wskazane jest posługiwanie się nim ze względu na prostotę obliczeń. Rozkład Poissona daje dobre przybliżenie w badaniach wyrywkowych jeżeli:

- liczność próbki wynosi co najmniej 16,

- liczność partii jest co najmniej 10 × większa od liczności próbki,
- wadliwość partii q jest mniejsza od 0,1.

Stosowanie rozkładu Poissona jest więc uzasadnione wtedy, gdy n jest dostatecznie duże, a wadliwość q mała. Rozkład Poissona obejmuje tylko jeden parametr. Wystarczy zatem znać jego wartość (w tym przypadku - założoną wadliwość partii q), aby móc się nim posługiwać w badaniach odbiorczych.

Ryzyko obu stron, nabywcy i dostawcy, związane z posługiwaniem się próbkami zależy od wielkości partii N, wielkości próbki n i kryterium przyjęcia - błędu ε, tj. uzgodnionej wartości dopuszczalnej wadliwości próbki.

Liczność n próbki należy wyznaczać tak, aby prawdopodobieństwo znalezienia (pojawienia się) "złego" obiektu w próbce nie było większe od wartości błędu ε, która określa wadliwość dopuszczalną q danej partii obiektów (wyrobów). Jeżeli zatem oznaczymy dopuszczalną liczbę wyrobów "złych" w partii przez x, to wadliwość q partii tych wyrobów wyrazi się zależnością (1)

$$q = \frac{x}{N} . \qquad (1)$$

Prawdopodobieństwo $P(x)$ przyjęcia tej partii, rozpatrywane jako funkcja liczby wyrobów x "złych" w tej partii, na podstawie próbki o liczności n wyraża się zatem wzorem

$$P(x) = (1 - \frac{x}{N}) . \qquad (2)$$

Jeżeli założyć, że liczebność próbki n jest stosunkowo duża, dopuszczalny błąd wadliwości próbki ε będzie stosunkowo mały, a ich iloczyn:

$$\lambda = n\varepsilon , \qquad (3)$$

należy do przedziału $(0.1 \div 20)$, to prawdopodobieństwo znalezienia "złych" wyrobów w próbce opisuje rozkład Poissona.

Rozkład Poissona ma liczne zastosowania w różnych zagadnieniach wyrywkowej kontroli odbiorczej i są dla niego dokładnie opracowane tablice pomocnicze (dostępne w każdej książce dotyczącej rachunku prawdopodobieństwa). Przy korzystaniu z tych tablic należy przyjąć, że:

$$\lambda = n \frac{x}{N} = nq \,. \qquad (4)$$

Jeżeli iloczyn $\lambda = nq$ jest duży, to prawdopodobieństwo że partia będzie przyjęta, jest związane z tym, iż liczba "złych" wyrobów w próbce jest mniejsza od pewnej liczby c . Liczba ta określa zatem dopuszczalną wadliwość próbki.
Do określenia prawdopodobieństwa $P(x)$ przyjęcia partii wyrobów przy różnych (obliczonych) wartościach λ oraz założonych wartościach c, wykorzystuje się nomogram pokazany na rys. 2. Za pomocą tego nomogramu można rozwiązywać zagadnienia dotyczące określania $P(x)$ lub znalezienia liczebności próbki n, gdy dane są wartości: q, c, $P(x)$. Korzystanie z nomogramu jest dopuszczalne dla $n \geq 20$ oraz $n/N \leq 0{,}1$. Jeżeli nie są spełniane te nierówności, to należy korzystać z tablic pomocniczych rozkładu Poissona.

3. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z zagadnieniami ustalania liczności próbki, wskaźników wadliwości i prawdopodobieństwa uznania partii wyrobów za dobrą, przy wyrywkowej kontroli odbiorczej.

4. Dane wyjściowe

Zad. 1.
Partia wyrobów ma wadliwość q. Dla jakich liczności n próbki oraz liczby sztuk c wadliwych w próbce, partia o wadliwości większej od q będzie odrzucona z prawdopodobieństwem nie mniejszym niż R?

Uwaga: *Jeżeli literą P przyjęto oznaczać prawdopodobieństwo przyjęcia partii jako dobrej, to prawdopodobieństwo odrzucenia tej partii należy oznaczyć innym symbolem, pamiętając jednocześnie, że pomiędzy tymi prawdopodobieństwami może zachodzić tylko taka relacja:* $P + R = 1$.

Zad. 2.
Jeżeli wiadomo, że wadliwość wyrobów (tzn. przeciętny procent braków wynosi q, to jakie jest prawdopodobieństwo, że w partii wyrobów liczącej n sztuk znajduje się nie więcej niż c sztuk złych?

Zad. 3.
Wadliwość wyrobów jest nieznana. Czy można z prawdopodobieństwem większym niż P twierdzić, że wadliwość ta jest mniejsza niż q, jeśli w partii liczącej n sztuk znaleziono c sztuk wadliwych?

Zad. 4.
Rozkład wadliwości wyrobów jest rozkładem Poissona o parametrze λ. Obliczyć prawdopodobieństwo przyjęcia partii tych wyrobów, jeżeli w badanej próbce o liczności n znaleziono c sztuk wadliwych?

Zad. 5.
Wadliwość wyrobów wynosi q. Ile sztuk wyrobów należy dodać do partii tych wyrobów liczącej n sztuk aby z prawdopodobieństwem nie mniejszym niż P partia zawierała n sztuk dobrych?

Uwaga: *Wartości parametrów (P, q, n, N, c), danych w poszczególnych zadaniach każdy student przyjmuje indywidualnie.*

5. Sposób realizacji

Sposób realizacji takich zadań, zostanie pokazany na poniższych przykładach:

Ad 1)
Przykładowe dane: $N = 10000$; $q = 0{,}01$; $R = 0{,}9$.
Przy rozwiązaniu postawionego zadania wykorzystamy nomogram z rys. 2. W tym celu, na osi rzędnych znajdujemy punkt odpowiadający wartości $P(x) = 1 - R$, a następnie prowadzimy przez ten punkt prostą poziomą. Stosujemy tę zależność, ponieważ pytanie dotyczyło prawdopodobieństwa odrzucenia partii, a wykres z rys. 2 dotyczy prawdopodobieństwa P przyjęcia partii (czyli zależności odwrotnej). Poprowadzona prosta przetnie kilka krzywych,

odpowiadających różnym wartościom c. Każdemu punktowi odpowiada odcięta λ_i, a zatem: dla $P(q) = 0,10$ - odpowiadają wartości: $\lambda_0 = 2,30$; $\lambda_1 = 3,90$; $\lambda_2 = 5,30$; $\lambda_3 = 6,70$; ... . Wobec powyższego, odpowiednie liczności próbki wynoszą:

$$n_0 = \frac{2,30}{0,01} = 230, \qquad n_1 = \frac{3,90}{0,01} = 390,$$

$$n_2 = \frac{5,30}{0,01} = 530, \qquad n_3 = \frac{6,70}{0,01} = 670, \ldots .$$

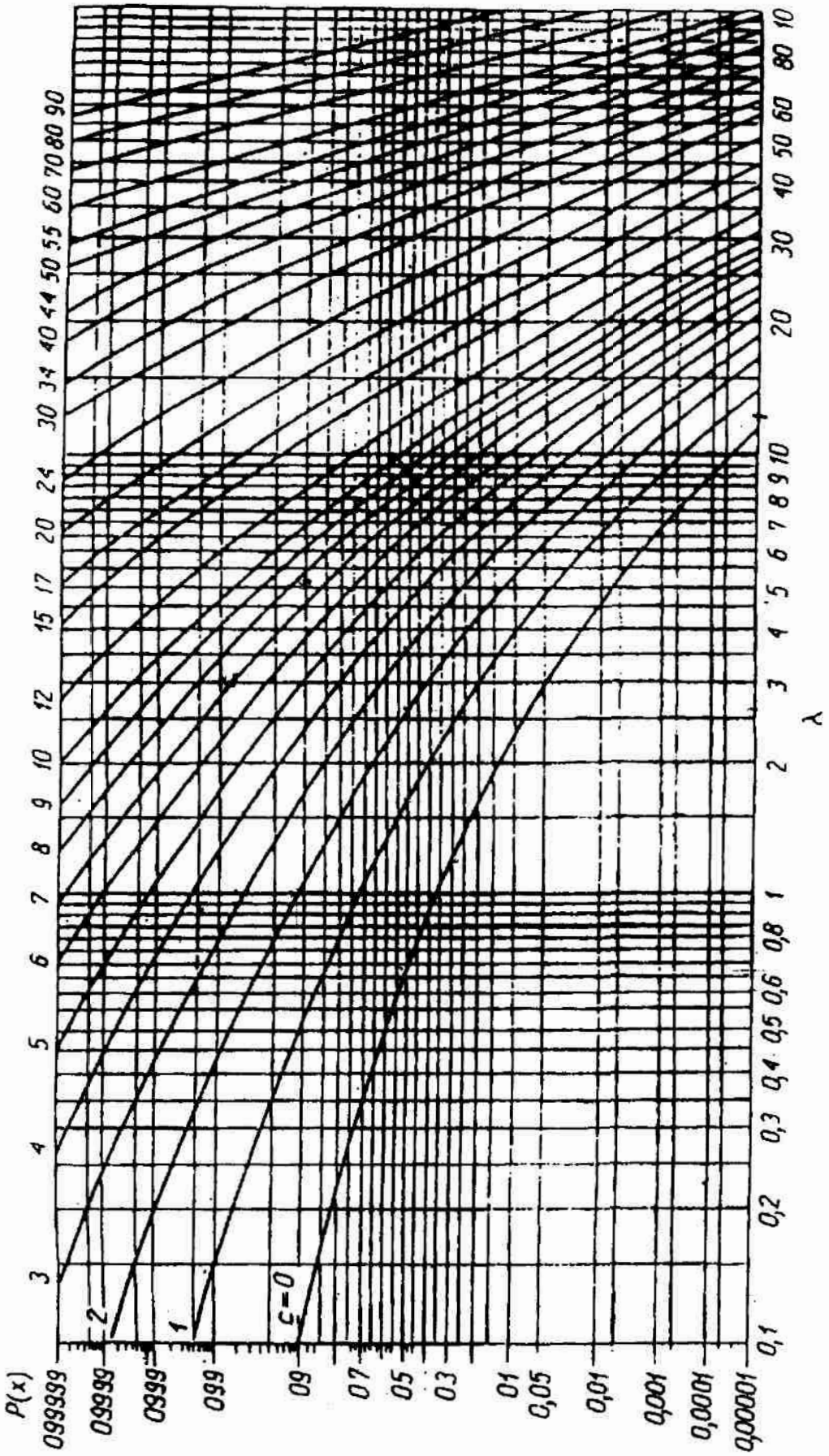
Partia badanych wyrobów winna być wobec tego odrzucona przy liczności próbki $n_0 = 230$, gdy w tej próbce choć jeden wyrób okaże się niedobry, lub przy liczności próbki $n_1 = 390$, gdy choć dwa wyroby w tej próbce okażą się niedobre, lub przy liczności próbki $n_2 = 530$, gdy choć 3 wyroby w tej próbce okażą się niedobre itd. (odpowiednio do indeksu stojącego przy n).

Ad 2)
Przykładowe dane: $q = 2\ \% = 0,02$; $n = 100$ sztuk, $c = 3$.
Obliczamy $\lambda = nq = 100 \times 0,02 = 2$. Na wykresie z rys. 2 odszukujemy dla $\lambda = 2$ i $c = 3$ sztuki, wartość $P(x) = 0,85$. Jest to właśnie szukane prawdopodobieństwo P, wynoszące 85 %.

Ad 3)
Przykładowe dane: $P = 0,9$; $q = 0,02$; $n = 1000$; $c = 7$.
Dla $\lambda = nq = 20$ oraz $P = 0,9$ dopuszczalna liczba braków c wynosi 3 (rys. 2). Ponieważ w tej partii wyrobów znaleziono aż 7 braków ($c = 7$), możemy sądzić z prawdopodobieństwem 0,9 (10 % ryzykiem popełnienia błędu), że wadliwość tej partii wyrobów jest większa od 2 %.

Ad 4)
Przykładowe dane: $\lambda = 2$, $n = 100$, $c_0 = 2$.
Na podstawie wykresu z rys. 2: dla $c_p = c_0 - 1 = 1$ odszukujemy, że $P(q) = 0,4$. Można też ze stosunku $q = \lambda/n = 0,02$ obliczyć wadliwość danej partii wyrobów.

Ad 5)
Przykładowe dane: $q = 0,02$; $n = 1000$ sztuk, $P = 0,95$; poszukujemy dopuszczalnej liczby braków w tej partii $c = ?$
Z wykresu na rys.2: dla $\lambda = nq = 20$ i $P = 0,95$ odszukujemy,



Rys. 2. Nomogram wg rozkładu Poissona do obliczenia prawdopodobieństwa P(x) przyjęcia partii wyrobów przy kontroli wyrywkowej

że $c_p = 4$. Aby partia tych wyrobów nie była zareklamowana przy danym poziomie ufności, należy do liczby $n = 1000$ sztuk dodać tyle sztuk ile było wadliwych oraz 1 sztukę więcej. Zatem: $c_0 = c_p + 1 = 5$ wyrobów.

6. Tok postępowania

Do zaproponowanych przez siebie wartości danych wyjściowych w poszczególnych zadaniach (od 1 do 5), przeprowadzić obliczenia niezbędne do rozwiązania tych zadań. Do tego celu należy się posłużyć wykresem przedstawionym na rys. 2 oraz przykładowymi sposobami realizacji takich zadań podanymi w ćwiczeniu.

7. Sprawozdanie

W sprawozdaniu należy podać treść poszczególnych zadań (z przyjętymi, przez siebie, danymi), niezbędne obliczenia oraz wnioski końcowe.

8. Literatura

1. Hellwig Z.: Elementy rachunku prawdopodobieństwa i statystyki matematycznej. PWN, Warszawa 1978 r.
2. Kordoński Ch.,B.: Zastosowanie rachunku prawdopodobieństwa w technice. WNT, Warszawa 1967 r.

Ćwiczenie 8

Temat: WYZNACZANIE WPŁYWU STRUKTURY OBIEKTU NA JEGO NIEZAWODNOŚĆ

1. Wprowadzenie

Niezawodność dowolnego obiektu, czyli prawdopodobieństwo spełniania wymagań, w określonym czasie i określonych warunkach, związane jest ze złożonością tego obiektu, czyli jego organizacją systemu (strukturą budowy), przetwarzającą zasilanie $E(I)$ w pożytek Q. W zależności od tego, jak są sformułowane wymagania, różne może być sformułowane prawdopodobieństwo spełnienia wymagań. Jeżeli spełnienie wymagań nazwiemy sukcesem, to będziemy mogli napisać:

NIEZAWODNOŚĆ JEST TO
PRAWDOPODOBIEŃSTWO SUKCESU.

Jednym z najczęściej stosowanych sposobów charakteryzowania niezawodności w sensie normatywnym, jest podanie prawdopodobieństwa, że obiekt będzie spełniał wymagania (w przyjętych okolicznościach) w ciągu pewnego okresu czasu $(0, t)$.

Zdarzenie przekroczenia wymienionych granic stanowi kres okresu sprawności obiektu. Jeżeli obiektowi z jakichkolwiek powodów nie przywraca się sprawności, gdy ją utraci (tzn. gdy go się nie naprawia, nie regeneruje, nie odnawia, nie stroi, jeśli się rozstroił, nie reguluje, jeśli się rozregulował), zdarzenie to stanowi kres jego życia, czy też kres okresu użytkowania (koniec pożytku z obiektu)

Jeżeli obiektowi przywraca się sprawność, gdy ją utraci, życie jego składa się z okresów sprawności i niesprawności. Kres jego życia wyznaczony zostaje przez fizyczną lub biologiczną niemożność kolejnego przywrócenia mu sprawności, albo przez czynniki ekonomiczne, lub też czynniki, które nazwalibyśmy quasiirracjonalnymi - obiekt zużył się moralnie.

Wymienić można dwa ogólne źródła niepowodzeń, zawodów. Pierwszym z nich jest zawodność wrodzona, zdeterminowana przez strukturę obiektu (jego złożoność), obliczalna z góry na podstawie modelu teoretycznego obiektu (rzeczy lub procesu). Drugim źródłem zawodów są nadmierne zmiany w obiekcie (rzeczy lub procesie) zaszłe pod wpływem czynników o intensywnościach większych, niż uwzględniono w czasie projektowania i realizacji obiektu oraz pod wpływem długotrwałego działania różnych czynników. Prawdopodobieństwo wystąpienia takich czynników na ogół jest tym większe, im dłuższy okres życia obiektu bierzemy pod uwagę.

Ćwiczenie niniejsze dotyczy zagadnienia badania odporności wrodzonej (szans na sukces życia) w zależności od złożoności obiektu.

Im bardziej jest obiekt złożony, im ma więcej części, podzespołów lub zespołów (im bardziej jest "delikatny"), tym większe jest prawdopodobieństwo tego, że zawiedzie (tzn. któryś element ulegnie uszkodzeniu). "Drobnostka" np. elektroniczna za kilka dolarów była przyczyną awarii rakiety Atlas, o wartości kilku miliardów dolarów.

Na to, że istnieją sytuacje, w których o spełnieniu zadań obiektu nie decydują rzucające się w oczy duże elementy, ale masy elementów drobnych - trudno spostrzegalnych, zwracał już uwagę Michał Anioł Buonarroti, którego można zacytować w następujący sposób [1]: "Nie lekceważcie drobnostek. Od drobnostek zależy doskonałość. A doskonałość nie jest drobnostką". Dla tej rakiety Atalas, aby jej niezawodność wynosiła 90 %, nieodzowne jest aby każda z 2300 tysięcy jej elementów miała prawdopodobieństwo poprawnej pracy nie mniejsze niż 99,99996 %.

Ponieważ masowa produkcja elementów z tak wysoką niezawodnością nastręcza bardzo duże trudności technologiczne, podzielono wszystkie elementy (dowolnego przeznaczenia i typu) na grupy z określonym poziomem niezawodności w zależności od przeznaczenia - tab. 1. Tabela ta, oraz następna, pozwala uwzględniać wpływ przewidywanych warunków pracy obiektu na jego niezawodność.

Tabela 1.

Poziom niezawodności	Oznaczenie literowe	Ilość uszk. w % na 1000 godz. pracy 1%/1000h	Przeznaczenie (zastosowanie) elementów
Rynkowy	O	20	Dla wyrobów ogólnego przezn. nie wymag. ilość. oceny niezawodności
Niski	R	1,5	Dla wyrobów nieodpowiedzialnego przeznaczenia, które winny mieć ilościową ocenę niezawodności
Standardowy wojskowy	S	0,5	Przeznaczenie zgodnie z nazwą
Standardowy odciążony	DS	0,15	Zalicza się tu elementy z grupy S, dla których wzrost niezawodności osiągnięto na drodze zastosowania ich przy parametrach pracy niższych od normalnych
Wysoki	T	0,05	
Wysoki odciążony	DT	0,01	Wzrost niezawodności elementów osiąga się przez zastosowanie ich przy niższych parametrach pracy
Bardzo wysoki	U	0,005	

W związku, z przyjętym podziałem elementów na określone grupy niezawodnościowe, w tab. 2 zestawiono, jakie poziomy niezawodnościowe winne być stosowane w różnych układach techniki wojskowej (podano tu przykład techniki wojskowej - jako najbardziej wymagającej niezawodności od eksploatowanych przez nią systemów).

Niezawodność $R(t)$ możemy analizować na różnych poziomach złożoności systemu: pojedynczych części, podzespołów, zespołów, całych urządzeń lub linii zbudowanych z tych urządzeń. Jeżeli interesuje nas dany poziom niezawodnościowy, to rozpatrywany obiekt na tym poziomie traktujemy jako pewną wyodrębnioną całość, której strukturę tworzą elementy z niższego poziomu złożoności, np. jeżeli

analizujemy niezawodność pewnego zespołu, to jego strukturę tworzą podzespoły lub pojedyncze części (ogólnie nazywane elementami), sprawujące określoną funkcję w tym zespole.

Tabela 2.

System (układ)	Liczba element. w systemie	Wymagany nieprzerywany czas pr. ukł. [h]	Wymagana niezawodność R(t) [%]	Współcz. intens. uszkodz. 1%/1000h	Potrzebny poziom niezawodności
Elektr. układy licz. (komputer)	200 000	24	90	0,002	U
Systemy kierow. ogniem w samolotach	6 000	200	80	0,016	DT
Systemy sterowania rakiet	4 000	50	95	0,025	DT
Przenośne układy łączności wojskowej	3 000	200	80	0,033	T
Samolotowa aparatura radiowa	2 000	200	80	0,050	T
Aparatura okrętowa	2 000	200	80	0,050	T
Aparatura łączności radiowej	1 000	200	80	0,1	DS
Przenośne układy radiowe	500	200	80	0,2	DS

Takie myślowe wyodrębnianie obiektów i ich elementów na danym poziomie złożoności, nazywa się procesem dekompozycji obiektu. Proces dekompozycji złożonego obiektu odbywa się do takiego poziomu szczegółowości, jaki zadowala odbiorcę wyników analizy niezawodnościowej.

Zgodnie z rygorem funkcjonalności, przynależność elementu do obiektu uwarunkowana jest jego udziałem w spełnianiu założonej funkcji tego obiektu. Z tego punktu widzenia w strukturze obiektu można wyodrębnić następujące elementy, spełniające określone zadania funkcjonalne:

- podstawowe e_N,
- rezerwowe e_R,
- podrzędne (pasywne) e_P.

Podstawowe - są to elementy sprzężone ze sobą szeregowo i realizujące założoną funkcję obiektu (np. lampki w łańcuchu choinkowym). Po uszkodzeniu nawet jednego z tych elementów, obiekt przestaje wypełniać w sposób prawidłowy postawione zadanie.

Rezerwowe - są to elementy występujące równolegle obok innych elementów podstawowych i dublują ich pracę, gdy te ulegną uszkodzeniu, np. drugi silnik w samolocie.

Pasywne - są to elementy, które nie uczestniczą bezpośrednio w wypełnianiu założonych funkcji obiektu. Tworzą połączenia pośrednie, które charakteryzują się tym, że dla osiągnięcia i utrzymania wymaganego poziomu cech wpływających na:
- dogodność użytkowania lub obsługiwania,
- walory estetyczne,

konieczne jest prawidłowe działanie tych elementów.
Elementem pasywnym będzie np. radioodbiornik w samochodzie.

Wyróżnianie elementów e_N, e_R, e_P, stwarza potrzebę szczegółowej analizy logicznej obiektu pod kątem wpływu rozpatrywanego elementu na możliwość realizacji wyróżnionego zadania (np. pompy w układzie paliwowym samochodu w przypadku, kiedy w procesie dekompozycji wyróżniamy ten układ). Analizę taką prowadzi się na ogół opierając się na dokumentacji technicznej tego obiektu.

Przed ustaleniem reguł odwzorowania funkcji obiektu, należy zauważyć, że w złożonych obiektach mechanicznych, występują zespoły, podzespoły, części powtarzalne (np. w silniku są takie same tłoki, korbowody, panewki, śruby itp.). Są to elementy równoważne strukturalnie. W teorii niezawodności przyjmuje się, ze zbiór elementów strukturalnie równoważnych , realizujących to samo zadanie, stanowi jeden rodzaj elementów. Graficznymi obrazami takich elementów na schematach funkcjonalnych obiektu są powiązania koniukcyjno-równoległe (koniukcyjny - oznacza, że dana funkcja może być zrealizowana wtedy i tylko wtedy, gdy każdy z elementów wypełnia swoje zadanie).

W celu uproszczenia zapisu graficznego struktury niezawodnościowej obiektu, rysuje się ich schematy funkcjonalne, przyjmując następujące założenia [1]:

- każdy element obiektu (wał korbowy, łożysko itp.) przedstawia się w postaci pojedynczego bloku (prostokąta),
- elementom powtarzalnym (równoważnym) np. wałki, śruby, itp., przyporządkowuje się jeden blok, niezależnie od tego, czy dany element występuje wielokrotnie w obiekcie,
- elementy pasywne, które nie mają wpływu na rozpatrywaną funkcję obiektu, można wyeliminować ze schematów funkcjonalnych.

Struktura obiektu taka, że obiekt spełnia wymagania wtedy i tylko wtedy, gdy wszystkie jego elementy spełniają postawione zadania, nazywana jest struktura szeregową niezawodnościowo. Niezawodność obiektu o strukturze szeregowej (szansa na sukces obiektu o takiej organizacji - podstawowej we wszelkich systemach i układach) wyraża się iloczynem niezawodności $R(t)k$ k elementów, z których składa się ten obiekt:

$$R(t) = R_1(t) \times R_2(t) \times R_3(t) \times \ldots R_k(t) . \qquad (1)$$

Niezawodność obiektu o strukturze równoległej (pomocniczej - rezerwowej w systemach) wyraża się natomiast zależnością (2)

$$R(t) = 1 - [1 - R_1(t)] \times [1 - R_2(t)] \times \ldots [1 - R_k(t)] , \qquad (2)$$

względnie, dla identycznych elementów k, wzorem (3)

$$R(t) = 1 - [1 - R_1(t)]k . \qquad (3)$$

2. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z metodyką analizy niezawodności obiektów o złożonej strukturze.

3. Dane wyjściowe

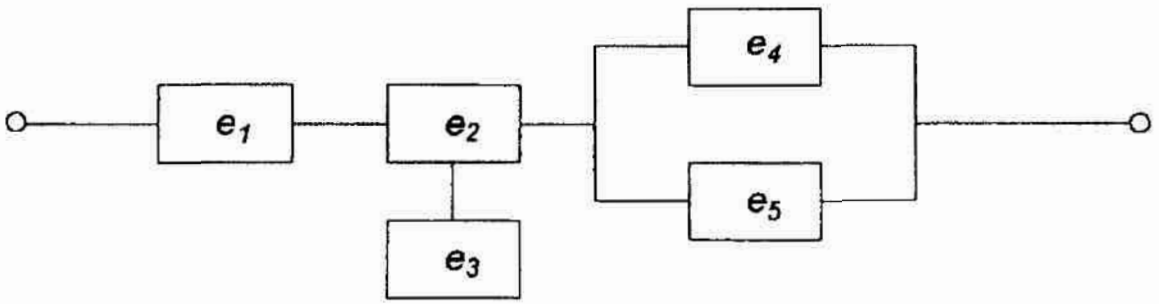
Zad. 1.
Dany jest obiekt o strukturze składającej się z 8 elementów podstawowych, 8 elementów rezerwowych oraz 4 elementów pasywnych. Podczas badań eksploatacyjnych ustalono przeciętny czas użytkowania poszczególnych elementów tworzących strukturę tego obiektu, oraz ustalono, że rozkład trwałości tych elementów może być opisywany rozkładem

wykładniczym. Ocenić: jaka jest szansa, że obiekt ten prawidłowo wykona swoje zadanie w określonym czasie t?

Zad. 2.
Dane są dwa obiekty o takiej samej liczbie elementów ($n = 5$), z których jeden posiada strukturę szeregowo-równoległą niezawodnościowo, a drugi strukturę równoległo-szeregową. Niezawodność wszystkich elementów tych dwóch układów jest jednakowa. Wykaż, która struktura obiektu jest korzystniejsza pod względem niezawodnościowym?

4. Sposób realizacji

Sposób realizacji zadania 1 zostanie pokazany na przykładzie obiektu złożonego z 3 elementów podstawowych, jednego elementu rezerwowego oraz jednego elementu pasywnego. Schemat funkcjonalny struktury tego obiektu pokazano na rys. 1.



Rys. 1. Schemat funkcjonalny struktury badanego obiektu

Dane wyjściowe dotyczące miar właściwości użytkowych elementów badanego obiektu zestawiono w tab.3.

Tabela 3. Przeciętny czas użytkowania u [dni] i niezawodność $R(t)$ elementów struktury badanego obiektu

element i	u_i [dni]	$R_i(t)$
e_1	80	0,5353
e_2	70	0,4900
e_3	150	0,7165
e_4	100	0,6065
e_5	100	0,6065

Z przeprowadzonych badań eksploatacyjnych wynikało, że rozkład niezawodności $R(t)$ badanych elementów (1 ÷ 5), może być opisany rozkładem wykładniczym. Wobec powyższego, mając przeciętny czas użytkowania u tych elementów (tj. czas do pierwszej naprawy lub wymiany), możemy obliczyć ich niezawodność $R(t)$, korzystając z wykładniczego prawa niezawodności [2], oczywiście, dla określonego czasu t. Załóżmy, że w danym przypadku interesuje nas zachowanie dobrych właściwości użytkowych całego obiektu w czasie równym 50 dni tj.: $t = 50$.

Według wykładniczego prawa niezawodności, wzór na $R(t)$ ma postać:

$$R(t) = e^{-t/u} \qquad (4)$$

Wobec powyższego, dla kolejnych elementów mamy:

$$R_1(t) = e^{-50/80} = e^{-0,625} = 0,5353 ,$$

$$R_2(t) = e^{-50/70} = e^{-0,7143} = 0,4900 ,$$

$$R_3(t) = e^{-50/150} = e^{-0,333} = 0,7165 ,$$

$$R_4(t) = e^{-50/100} = e^{-0,50} = 0,6065 .$$

Dla elementu 5, z uwagi na taką samą wartość u, uzyskamy również $R(t) = 0,6065$. Wartości te wpisano w ostatnią kolumnę tabl. 5.

Ze schematu funkcjonalnego obiektu (rys. 1) wynika, że element e_3 jest elementem pasywnym i może być pominięty z dalszych rozważań.

Prawdopodobieństwo poprawnej pracy badanego obiektu, czyli jego niezawodność, zależy od niezawodności elementów e_1 i e_2 oraz dwóch elementów e_4 i e_5 sprzężonych ze sobą równolegle. Niezawodność zastępcza $R_z(t)$ równolegle sprzężonych elementów e_4 i e_5 wynosi:

$$R_z(t) = 1 - (1 - 0,6065)^2 = 0,8451 .$$

Porównując tę wartość z wyjściowymi wartościami niezawodności tych elementów można zauważyć, że równoległe

sprzężenie ze sobą elementów o małej niezawodności pozwala zbudować układ o znacznie wyższej niezawodności (w tym przypadku prawie o 25 %).

Podstawową funkcję obiektu realizują zatem elementy e_1 i e_2 oraz układ dwóch elementów równoległych o niezawodności $R_z(t)$. Zatem niezawodność obiektu zbudowanego z tych elementów wyraża się wartością (zgodnie z wzorem 1):

$$R(t) = 0{,}5353 \times 0{,}4900 \times 0{,}8451 = 0{,}2218 .$$

Otrzymana wartość wskazuje, że szansa na wykonanie przez dany obiekt założonej pracy w rozpatrywanym czasie $t = 50$ dni, wynosi zaledwie 22 %. Gdybyśmy chcieli zwiększyć to prawdopodobieństwo wykonania postawionego zadania, to należałoby zwiększyć niezawodność elementów struktury tego obiektu (w pierwszej kolejności drugiego elementu), względnie też zastosować dodatkowe elementy połączone równolegle w obiekt. Przykładowo: został wstawiony równolegle z elementem e_2 dodatkowy element rezerwowy e_{R2}, o niezawodności $R(t) = 0{,}9$ (zastosowano element nowszej generacji, o zwiększonej niezawodności działania). Niezawodność zastępcza układu elementów oznaczonych cyfrą 2 wyniesie wobec tego:

$$R_{z2}(t) = 1 - (1 - 0{,}49) \times (1 - 0{,}9) = 1 - 0{,}051 = 0{,}949 .$$

Przy tym dodatkowym elemencie, niezawodność całego obiektu wyniesie:

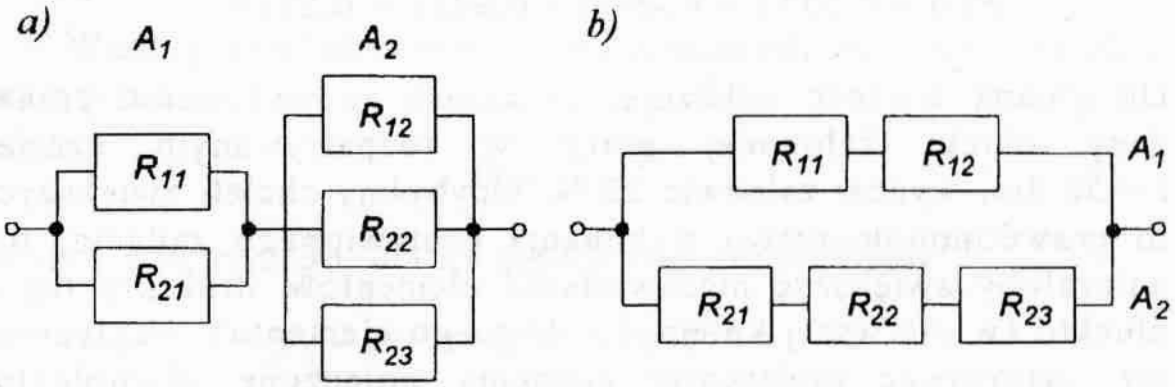
$$R(t) = 0{,}5353 \times 0{,}949 \times 0{,}8451 = 0{,}430 .$$

Jest zatem o 20 procent większa od poprzedniej, ale jeszcze stosunkowo niska. Gdybyśmy chcieli mieć np. prawie 100 % pewność (w technice stosuje się zwykle pewność: 99 % lub 95 %), że dany obiekt nie zawiedzie w działaniu, np. pewien zespół w rakiecie, to należałoby wstawiać równolegle z pracującymi elementami inne elementy spełniające funkcję rezerwową na wypadek utraty właściwości eksploatacyjnych przez element podstawowy.

Powyższa analiza wskazuje na sposób osiągnięcia dużej niezawodności obiektu budowanego nawet z elementów o małej niezawodności.

Zad. 2.

Schemat niezawodnościowy obiektu o strukturze szeregowo - równoległej niezawodnościowo pokazano na rys. 2a, natomiast schemat niezawodnościowy obiektu o strukturze równoległo - szeregowej obrazuje rys. 2b.



Rys. 2. Schematy struktur niezawodnościowych rozpatrywanych obiektów

Przyjmując dowolną (jednakową) wartość niezawodności elementów R_i $(i = 1 \div 5)$ na podstawie danych zawartych w tab. 2 (czwarta kolumna), można obliczyć niezawodność każdego z tych obiektów. Postępowanie polega na obliczaniu niezawodności układów zastępczych, a następnie niezawodności całego układu. Sposób postępowania pokazano przy analizie zad. 1. Porównanie wyników końcowych daje odpowiedź na postawione pytanie.

5. Tok postępowania (do zad.1)

1) Opracować schemat funkcjonalny obiektu zbudowanego z elementów wymienionych w zadaniu.
2) Przyjąć przeciętne czasy użytkowania elementów tworzących strukturę niezawodnościową danego obiektu (opracować tab. 1 danych)
3) Korzystając z założenia o wykładniczym rozkładzie niezawodności wyliczyć niezawodności poszczególnych

elementów, przyjmując jednocześnie czas t prawidłowego działania badanego obiektu. Licząc $R(t)$ przy innych rozkładach niezawodności, należy skorzystać z literatury w tym zakresie np. [2].

4) Obliczyć niezawodność zastępczą układów elementów połączonych ze sobą równolegle.
5) Obliczyć niezawodność badanego obiektu.
6) Obliczyć wzrost niezawodności obiektu uzyskany poprzez wymianę elementu o najmniejszej niezawodności na element nowszej generacji o zwiększonej niezawodności.
7) Zmodyfikować strukturę badanego obiektu (poprzez zastosowanie elementów rezerwowych) tak, aby niezawodność badanego obiektu wynosiła ponad 95 %.

Tok postępowania przy rozwiązywaniu zad. 2 jest zbliżony do toku postępowania przy rozwiązywaniu zad. 1.

6. Sprawozdanie

W sprawozdaniu podać: cel ćwiczenia, treść zadań do wykonania, schematy funkcjonalne badanych obiektów, tablicę danych wyjściowych (do zad. 1), wszystkie obliczenia i wyniki obliczeń oraz wnioski końcowe (do zad. 2).

7. Literatura

1. Kiliński A.: Podstawy teorii procesów realizacji. Skrypt Politechniki Warszawskiej. Warszawa 1972 r.
2. Słowiński B.: Podstawy badań i oceny niezawodności obiektów technicznych. Skrypt WSInż. w Koszalinie. Koszalin 1992 r.

Ćwiczenie 9

Temat: PLANOWANIE OPTYMALNEGO RUCHU TRANSPORTU

1. Wprowadzenie

Podstawową funkcją kierowania systemem jest decydowanie. Decyzja może doprowadzić do pozytywnego skutku (sukcesu) lub zakończyć się jego brakiem - czyli porażką. Niezależnie jednak od samych skutków decyzji, przed jej podjęciem zawsze występuje chęć optymalnego osiągnięcia celu, tj osiągnięcia go zwykle w najkrótszym czasie przy możliwie małym nakładzie środków (zasilania systemu). Ogólny cel systemu decyzji eksploatacyjnych - racjonalizacja procesów eksploatacji - musi być oczywiście dla potrzeb sterowania konkretnymi systemami decyzji eksploatacyjnych, określany znacznie bardziej precyzyjnie - co stanowi funkcję celu i jakie są warunki ograniczające? Nie wdając się głębiej w to zagadnienie można powiedzieć tylko, że niezbędny do tego jest pewien model (w ogóle całą rzeczywistość, czy jej fragmenty, znamy o tyle, o ile znamy ich modele). Procesy podejmowania decyzji realizują się zawsze przez zastosowanie modelu decyzyjnego. Ze względu na sposób podejmowania decyzji przez kierownika eksploatacji można wyróżnić następujące grupy modeli decyzyjnych:

- intuicyjne,
- pragmatyczne,
- normatywne,
- analityczne: typu prostego i złożonego.

Modele intuicyjne mają miejsce wtedy, gdy brak jest danych pozwalających przewidzieć skutki decyzji. Prawdopodobieństwo wydania decyzji poprawnej jest rzędu 0,5.

Modele pragmatyczne (doświadczalne) są rezultatem doświadczenia, a skutki decyzji są znane i zdeterminowane. Modele te określa się mianem "rutyny" zawodowej. Są one wynikiem działań stereotypowych - nawykowych.

Modele normatywne mają miejsce wtedy, gdy znany jest zbiór decyzji $\{D_j\}$ i ilekroć wystąpi zespół warunków Z_j, należy podjąć odpowiednią decyzję D_j (*ja takie modele działania nazywam modelami urzędniczymi*). Przykładem takich modeli są zasady i instrukcje eksploatacji pojazdów (np. ilekroć poziom oleju w silniku obniży się do poziomu Z_{min} - należy uzupełnić olej do poziomu wymaganego, ale nie przekraczającego Z_{max}).

Modele analityczne są to modele, które wymagają wykonania ciągu operacji logicznych lub arytmetycznych pozwalających ocenić skutki decyzji, a zatem i wybór decyzji optymalnej. W tej grupie modeli umownie wyróżnia się modele proste i złożone.

Modele proste są to modele łatwe do natychmiastowego rozwiązania, nie wymagające techniki numerycznej.

Modele złożone, a w tej liczbie matematyczne modele decyzyjne (*MMD*), wymagają na ogół zastosowania techniki obliczeniowej do ich rozwiązania, bądź też czas trwania oraz pracochłonność rozwiązania metodami tradycyjnymi są tak duże, że zastosowanie ich bez użycia tej techniki jest niemożliwe lub nieopłacalne.

Przydatne są tu szczególnie metody programowania: liniowego, sieciowego, dynamicznego oraz teorii masowej obsługi.

Przez pojęcie matematycznego modelu decyzyjnego (*MMD*) rozumie się następujący zbiór elementów:

$$MMD = <D, R, Z, F, P> , \qquad (1)$$

gdzie: D - dziedzina modelu (zbiór obiektów, których model dotyczy; na zbiorze tym opisuje się zmienne decyzyjne modelu),
R - relacje pomiędzy elementami dziedziny modelu,
Z - założenia modelu: zbiór ograniczeń i wymagań,
F - kryterium modelu: miara efektywności Q - tworząca funkcję celu,
P - problem modelu do rozwiązania (co należy uzyskać?).

Zbiór tych elementów można podzielić na dwa podzbiory:

$$MSE = <D, R>., \qquad (2)$$

$$PD = <Z, Q, P> , \qquad (3)$$

przy czym element *MSE* jest modelem formalnym (matematycznym) rzeczywistego systemu, a element *PD* jest modelem formalnym problemu decyzyjnego.

Zagadnienie poszukiwania optymalnego rozwiązania problemu decyzyjnego zostanie pokazane na przykładzie problemu transportowego tzw, "*problemu komiwojażera*".

Efektywność ekonomiczna eksploatowanego pojazdu w dużej mierze zależy od wykorzystania funduszu godzin pracy tego pojazdu. Konieczne jest więc zaplanowanie takiego jego użytkowania, aby wykonać zamierzone zadanie w możliwie najkrótszym czasie przy minimalizacji drogi przebywanej przez ten pojazd. Pojawia się zatem problem: jak zminimalizować tę drogę np. w przypadku dostarczania towarów do różnych odbiorców, położonych od siebie w różnych odległościach? Przykładem tego problemu może być zagadnienie optymalizacji ukształtowania ruchu okrężnego pojazdów tzw. "problem komiwojażera". Przy n różnych odbiorcach możliwe jest $(n\text{-}1)!$ tras ruchu okrężnego. Należy wszystkie możliwe trasy określić, obliczyć i porównać ze sobą, aby móc wybrać drogę (lub drogi) o minimalnej długości - co stanowi rozwiązanie optymalne.

W niektórych gałęziach gospodarki zdarzają się trasy okrężne, obejmujące od 60 do 70 punktów. Ma to np. miejsce w łączności przy opróżnianiu skrzynek listowych. Ale już i dla małego zadania, jakim jest trasa okrężna w transporcie wewnątrzzakładowym, prowadząca np. przez 16 punktów, liczba możliwych rozwiązań wynosi 130×1010. Jeżeli chcielibyśmy posłużyć się do tego celu współczesnym komputerem, który wykonywałby 10 mln. działań na sekundę i pracował przez 24 godziny na dobę, to rozwiązanie takiego zadania trwałoby ponad 2 tygodnie. Oczywiście takie działanie jest pozbawione sensu. Korzysta się wobec tego z rozwiązania problemu pewnymi metodami przybliżonymi.

Przykład MMD.

Dany jest zbiór punktów (odbiorców), których należy odwiedzić. Odwiedzin dokonać tak, aby otrzymać najkrótszą drogę jazdy okrężnej (odwiedzać każdy punkt tylko jeden raz).
Dziedzina modelu D: zbiór punktów $a_{ij} = \{n\}$.
Relacje pomiędzy punktami - według tabeli danych (tabela 1), w której zestawiono odległości c pomiędzy tymi punktami.

Założenia Z: planowana ilość punktów do odwiedzin wynosi n.
Kryterium F: wartość funkcji Q - ocena podróży.
Problem R: znaleźć funkcję $Q \rightarrow min$.

2. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest nabycie umiejętności rozwiązywania problemów decyzyjnych przy użyciu modeli matematycznych, na przykładzie "problemu komiwojażera" (przy pomocy uproszczonego modelu matematycznego - metodą Little'a).

3. Dane wyjściowe

Znane jest rozmieszczenie n punktów odbiorczych w transporcie wewnątrzzakładowym. Należy dokonać optymalizacji drogi okrężnej pojazdu dostawczego przy wykorzystaniu metody przybliżonej (Little'a).

4. Sposób realizacji

Poniżej podano przykładowy sposób rozwiązywania "problemu komiwojażera" przy $n = 10$ punktów dostawczych.

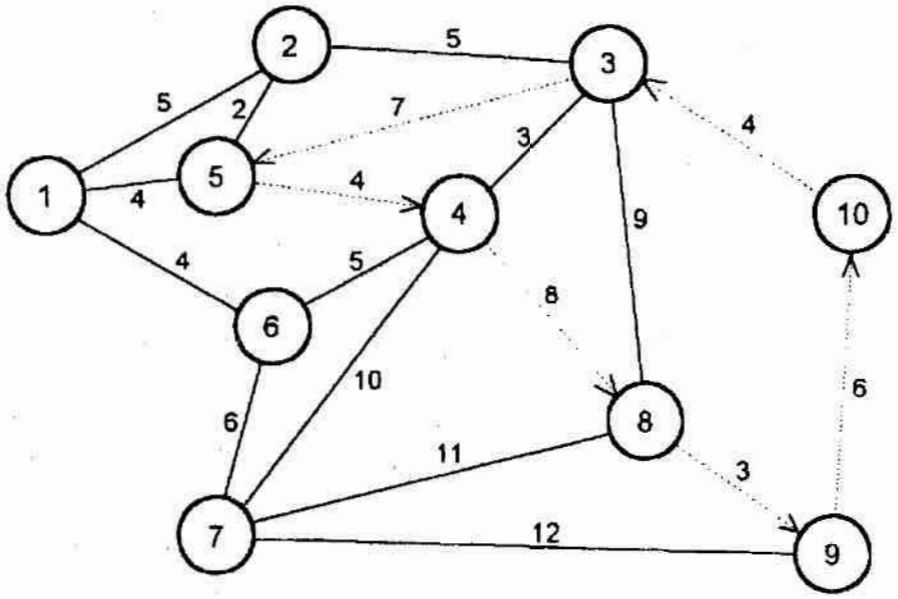
Z matematycznego punktu widzenia, problem podróży okrężnej można określić następująco: podróż obejmuje $n = 10$ punktów, które trzeba objechać. Każdy z punktów ma być tylko jeden raz miejscem startu i metą (raz można tylko do niego dojechać i odjechać).

Istnieje również pewna ocena Q podróży w postaci: długości trasy, czasu podróży, kosztów zależnych od odległości lub też innego wyrażenia nakładów transportowych. Należy zatem znaleźć taką permutację $i_1, i_2, \ldots, i_n$ punktów $1, 2, \ldots, n$, która ma właściwości:

$$Q = \sum_{v=1}^{n-1} C_{iv}, C_{v+1} + C_{in} i_1 \rightarrow min , \qquad (4)$$

gdzie: C_{iv}, i_{v+1} oznacza odległość pomiędzy v-tym punktem i_v oraz $(v+1)$-tym punktem i_{v+1}.

Rysunek 1 jest szkicem sieci punktów dostawczych w zakładzie.



Rys. 1. Szkic sieci transportu wewnętrznego w zakładzie

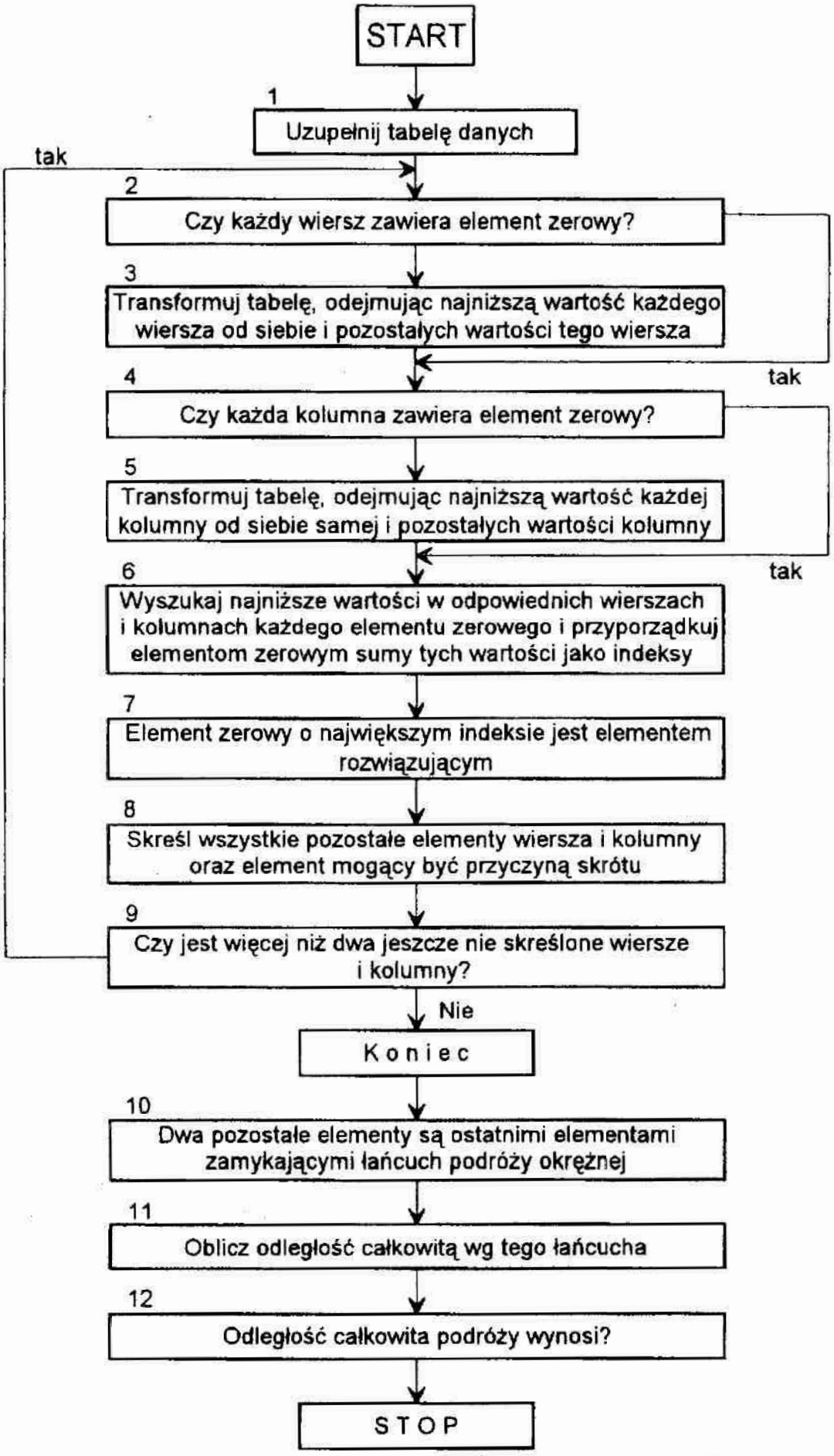
Ze względów lokalnych, trasy oznaczone liniami kreskowanymi mogą być przebywane tylko w jednym kierunku wskazanym strzałką. Liczby wypisane nad trasami podają odległości między punktami w określonych jednostkach długości np. [km]. Mogą tu też występować inne jednostki, np. jednostki czasu - minuty, godziny itp.

Schemat postępowania przy rozwiązywaniu tego zadania wg metody przybliżonej Little'a pokazuje rys. 2.

Dla danych punktów odbiorczych $a_{ij} = 10$, sporządzamy tabelę odległości - tabelę danych (patrz tab.1).

Tabela 1. Tabela danych - jazda od punktu *i* do punktu *j*

od *j* =	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
od *i* = 1	-	5	10	8	4	4	10	16	19	25
2	5	-	5	6	2	5	11	14	17	23
3	10	5	-	3	7	8	13	9	12	18
4	9	8	3	-	8	5	10	8	11	17
5	4	2	7	4	-	3	9	12	15	21
6	4	5	8	5	3	-	6	13	16	22
7	10	11	13	10	9	6	-	11	12	18
8	19	14	9	12	16	17	11	-	3	9
9	20	15	10	13	17	18	12	19	-	6
10	14	9	4	7	11	12	17	13	16	-



Rys. 2. Schemat przebiegu rozwiązania "problemu komiwojażera" metodą przybliżoną Little'a

Zestawiając tabelę danych, trzeba uważać na trasy jednokierunkowe (oznaczone liniami przerywanymi), ponieważ w tych relacjach występują różnice w długości drogi tam i z powrotem (np. pomiędzy punktem $j = 4$ a $i = 8$, tam = 8, zaś z powrotem 3 + 9 = 12).

Jeżeli dane punkty nie są połączone ze sobą drogą, to należy wyszukać najkrótszą drogę jazdy przez inne punkty i jej długość wpisać do tabeli danych (tab. 1)

Zgodnie z metodą Little'a, przekształcamy tabelę danych tak, żeby w każdym wierszu i każdej kolumnie znalazł się co najmniej jeden element zerowy "O". Przekształcenie to odbywa się w ten sposób, że od wszystkich wyrazów danego wiersza odejmujemy wyraz najmniejszy np. dla 1-go wiersza i drugiej kolumny: 5 - 4 (najmniejszy wyraz) = 1. Podobnie dla 3-ciej kolumny: 10 - 4 = 6. Dochodzimy w ten sposób do tabeli 2.

Tabela 2.

j =	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
i = 1	-	1	6	4	0	0	6	12	15	21
2	3	-	3	4	0	3	9	12	15	21
3	7	2	-	0	4	5	10	6	9	15
4	6	5	0	-	5	2	7	5	8	14
5	2	0	5	2	-	1	7	10	13	19
6	1	2	5	2	0	-	3	10	13	19
7	4	5	7	4	3	0	-	5	6	12
8	16	11	6	9	13	14	8	-	0	6
9	14	9	4	7	11	12	6	13	-	0
10	10	5	0	3	7	8	13	9	12	-

Ponieważ w kolumnach 1, 7 i 8 nie utworzono elementów o wartości zerowej, kolumny te należy potraktować jak uprzednio wiersze. W ten sposób dochodzimy do tabeli 3.

Kolejne kroki, które wykonujemy zgodnie ze schematem (p. rys. 2), prowadzą w każdej następnej tabeli rozwiązań do jednego elementu rozwiązania. Według schematu: należy wyszukiwać najmniejsze wartości w wierszach i kolumnach każdego elementu zerowego i przyporządkować elementom zerowym sumy tych wartości jako indeksy, np. dla 8 wiersza i 9 kolumny: najniższa wartość w wierszu wynosi 5, a w kolumnie najniższa wartość wynosi 6, czyli suma tych dwóch wartości 5 + 6 = 11. Wpisujemy ją jako indeks danego

elementu zerowego (0^{11}). Element zerowy o największym wykładniku (w tym wypadku rozpatrywany przez nas z ósmego wiersza i dziewiątej kolumny) jest elementem rozwiązującym. Wobec powyższego, znaleźliśmy już pierwsze rozwiązanie, tj.: jeden z odcinków naszej podróży okrężnej ($8 \rightarrow 9$). Zaznaczamy go (pogrubiając linię) na schemacie sieci - rys. 1.

Tabela 3.

j =	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
i = 1	-	1	6	4	0^0	0^0	3	7	16	21
2	2	-	3	4	0^2	3	6	7	15	21
3	6	2	-	0^3	4	5	7	1	9	15
4	5	5	0^0	-	5	2	4	0^0	8	14
5	1	0^2	5	2	-	1	4	5	13	19
6	0^1	2	5	2	0^0	-	0^3	5	13	19
7	3	5	7	4	3	0^0	-	0^0	6	12
8	~~15~~	~~11~~	~~6~~	~~9~~	~~13~~	~~14~~	~~5~~	-	0^{11}	~~6~~
9	13	9	4	7	11	12	3	X	-	0^9
10	9	5	0^3	3	7	8	10	4	12	-

$8 \rightarrow 9$

Czasami otrzymujemy kilka równoważnych rozwiązań. Wybieramy wówczas jedno z nich - to, które nam najbardziej odpowiada, np. łączące się już z innymi wybranymi odcinkami drogi.

W tabeli rozwiązań skreślamy pozostałe elementy danego wiersza i kolumny (liniami ciągłymi) jako już wykorzystane i pomijamy je przy budowaniu następnej tabeli rozwiązań. Element będący rozwiązaniem zaznaczamy przy tym kwadracikiem.

W każdej z kolejnych tabel rozwiązań, skreślamy ponadto (znakiem X) jeden z elementów, nie znajdujący się na skreślonym wierszu i kolumnie, który mógłby być nie chcianym przez nas skrótem drogi. W tym przypadku wybrany został element o wartości 3 w wierszu 9 i kolumnie 8 (od p. 8 do p. 9) jest bowiem droga jednokierunkowa i nie można nią jechać od p.9.

Wyszukiwanie takiego elementu do skreślenia, jako skrót, jest najtrudniejszym zadaniem w korzystaniu z metody Little'a. Wybierając dany element jako niepożądany skrót, musimy bowiem przewidywać, czy nie zamknie nam pętli bez objechania

wszystkich punktów. Jeżeli taki przypadek się zdarzy, to należy poszukać innego elementu do skreślenia.

Pomijając skreślony wiersz i kolumnę oraz wpisując w miejsce skreślonego skrótu znak - (brak drogi), budujemy następną tabelę rozwiązań (tab. 4).

Tabela 4.

j =	1	2	3	4	5	6	7	8	10
i = 1	-	1	6	4	0^0	0^0	3	7	21
2	2	-	3	4	0^2	3	6	7	21
3	6	2	-	0^3	4	5	7	1	15
4	5	5	0^0	-	5	2	4	0^0	14
5	1	0^2	5	2	-	1	4	5	19
6	0^1	2	5	2	0^0	-	0^3	5	19
7	3	5	7	4	3	0^0	-	0^0	12
9	~~13~~	~~9~~	~~4~~	~~7~~	~~11~~	~~12~~	~~3~~	-	0^{15}
10	9	5	0^3	3	7	8	10	X	

$9 \rightarrow 10$

Identyczne postępowanie prowadzi do kolejnych tabel i kolejnych rozwiązań w podróży okrężnej pomiędzy opisywanymi punktami. Taki tok postępowania prowadzi do zbudowania tabel od nr 5 do 10.

Uwaga: *zgodnie ze schematem postępowania (rys. 2), należy w każdej tabeli sprawdzać, czy każda kolumna posiada element zerowy. Jeżeli nie - to należy dokonać jej transformacji.*

Tabela 5.

j =	1	2	3	4	5	6	7	8
i = 1	-	1	6	~~4~~	0^0	0^0	3	7
2	2	-	3	~~4~~	0^2	3	6	7
3	~~6~~	~~2~~	~~-~~	0^3	~~4~~	~~5~~	~~7~~	~~1~~
4	5	5	~~0^0~~	-	5	2	4	0^0
5	1	0^2	5	~~2~~	-	1	4	5
6	0^1	2	5	~~2~~	0^0	-	0^3	5
7	3	5	7	~~4~~	3	0^0	-	0^0
10	9	5	0^3	~~3~~	7	8	10	-

$3 \rightarrow 4$

Tabele rozwiązań budujemy tak długo, aż otrzymamy dwa nieskreślone elementy (tab.10). Elementy te podają nam dwa ostatnie odcinki drogi zamykające optymalną dla danego

przypadku trasę podróży okrężnej. Po podstawieniu odpowiednich jednostek pomiędzy obliczonymi punktami otrzymujemy najkrótszą drogę jazdy.

Tabela 6.

j =	1	2	3	5	6	7	8
i = 1	-	1	6	0^0	0^0	3	7
2	2	-	8	0^2	3	6	7
4	5	5	-	5	2	4	~~6~~
5	1	0^2	5	-	1	4	5
6	0^1	2	5	0^0	-	0^3	5
7	3	5	7	3	0^0	-	0^0
10	~~9~~	~~5~~	0^8	~~7~~	~~8~~	~~10~~	~~-~~

$10 \rightarrow 3$

Tabela 7.

j =	1	2	5	6	7	8
i = 1	-	1	0^0	0^0	3	7
2	2	-	0^2	3	6	7
4	3	3	3	0^2	~~2~~	-
5	1	0^2	-	1	4	5
6	0^1	2	0^0	-	0^2	5
7	~~3~~	~~5~~	~~3~~	~~0^0~~	~~-~~	0^5

$7 \rightarrow 8$

Tabela 8.

j =	1	2	5	6	7
i = 1	-	1	0^0	0^0	3
2	2	-	0^2	3	6
4	3	3	3	~~0^2~~	-
5	1	0^2	-	1	4
6	~~0^1~~	~~2~~	~~0^0~~	~~-~~	0^3

$6 \rightarrow 7$

Tabela 9.

j =	1	2	5	6
i = 1	-	1	0^0	0^1
2	~~2~~	-	0^2	~~3~~
4	0^1	0^0	0^0	-
5	1	~~0~~	1	1

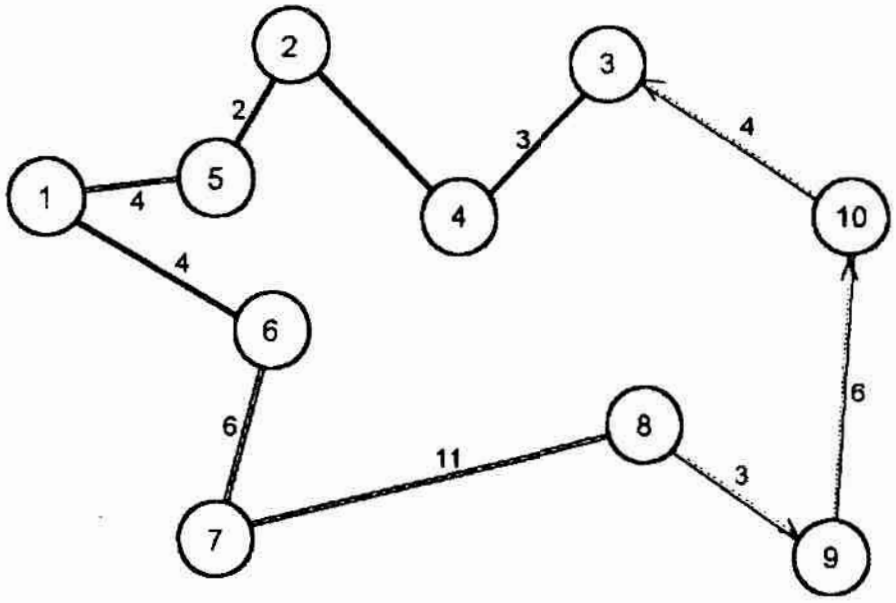
$2 \rightarrow 5$

Pozostało dwa połączenia (oznaczone kółeczkami) tj. $4 \rightarrow 2$ oraz $5 \rightarrow 1$. Są to połączenia zamykające pętlę podróży okrężnej. Schemat tej drogi obrazuje rysunek 3.

Tabela 10.

j =	1	2	6
i = 1	-	-	0^1
4	~~8^6~~	0^1	-
5	0^0	-	$\blacklozenge^0$

$1 \rightarrow 6$



Rys. 3. Schemat podróży okrężnej - rozwiązanie "problemu komiwojażera"

Podróż ta odbywa się wg następującej kolejności punktów:
$1 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow 8 \rightarrow 9 \rightarrow 10 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 2 \rightarrow 5 \rightarrow 1$.

Długość tej drogi wynosi: 4 + 6 + 11 + 3 + 6 + 4 + 3 + 8 + 2 + 4 = 51 jednostek odległości.

W ten sposób można planować optymalną drogę okrężną w komunikacji, transporcie wewnątrzzakładowym, w dostawie towarów, w handlu, łączności, planowaniu objazdów artystycznych, planowaniu wycieczek, a także w obciążaniu obrabiarek operacjami procesu technologicznego.

5. Tok postępowania

Dla naszkicowanej przez siebie sieci transportu wewnętrznego zakładu (10 punktów), uzgodnionej z prowadzącym zajęcia, obliczyć optymalną drogę okrężną pojazdu dostawczego. Do rozwiązania zadania wykorzystać

metodę przybliżoną Little'a, której schemat postępowania obrazuje rys. 2 oraz przykładowy sposób realizacji tej metody podany w ćwiczeniu.

Uwaga: *Student może poczynić próbę rozwiązania tego problemu decyzyjnego innymi znanymi mu metodami.*

6. Sprawozdanie

W sprawozdaniu z ćwiczenia należy podać szkic sieci transportu wewnętrznego, do której poszukiwano optymalnego rozwiązania podróży okrężnej z wyznaczoną drogą jazdy. Ponadto należy zamieścić tabelę danych wyjściowych oraz kolejne tabele rozwiązań.

7. Literatura

1. Göttner R: Badania operacyjne. PWE, Warszawa 1975 r.

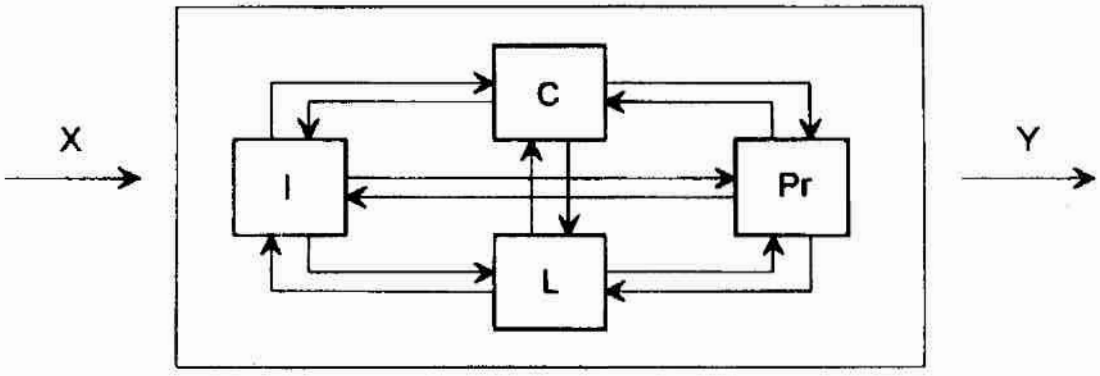
Ćwiczenie 10

Temat: EFEKTYWNOŚĆ EKONOMICZNA EKSPLOATACJI SYSTEMÓW TECHNICZNYCH

1. Wprowadzenie

W miarę jak rośnie liczba eksploatowanych maszyn i urządzeń technicznych - zwiększa się liczba elementów systemu eksploatacyjnego - coraz większego znaczenia gospodarczego nabiera efektywność ekonomiczna takiego systemu.

Dla przypomnienia: systemem nazywamy skoordynowany wewnętrznie i wykazujący określoną strukturę układ elementów; układ taki rozpatrywany od zewnątrz jest całością, rozpatrywany od wewnątrz jest zbiorem elementów i relacji między nimi; ogół elementów nazywa się składem, ogół relacji - strukturą (rys. 1).



Rys. 1. System eksploatacyjny

W każdym systemie (a szczególnie technicznym) wyróżnić można następujące podsystemy:
- informacyjny (I - information system),
- sterujący (C - control system),
- wykonawczy (Pr - processing syśtem),
- zasilający (L - feeding system).

Między tymi podsystemami funkcjonują odpowiedniej natury kanały sprzężeń prostych i zwrotnych: działanie otoczenia na system przedstawia wektor X, działanie systemu na otoczenie wektor Y.

Oceniając efektywność systemu chcemy w miarę możliwości mieć jego wszechstronny obraz, który by możliwie dokładnie ujmował jego całościowy charakter, zatem wszystko to co jest właściwe jego budowie i działaniu.

Efektywność procesów eksploatacyjnych zależy od wielu czynników, jak np. niezawodności urządzeń (od I do L), wydajności i intensywności użytkowania, parametrów odnowy eksploatowanych systemów, organizacji pracy, organizacji systemów eksploatacyjnych i spełnianych przez nie funkcji, kosztów eksploatacji poszczególnych maszyn i urządzeń technicznych oraz całych systemów eksploatacyjnych, jak również od istniejących systemów zarządzania.

Jak zatem zdefiniować efektywność ekonomiczną eksploatacji systemów technicznych - opanować nazwą tę część rzeczywistości, którą chcemy rozważać?
Zdefiniujmy efektywność ekonomiczną przez wyszczególnienie celów, jakim ta efektywność ma służyć (po co to?).

> Efektywność ekonomiczna eksploatacji systemów technicznych jest to ekonomiczna miara oceny racjonalności wykorzystania posiadanego potencjału użytkowego.

Skoro mamy badać jakiś system musimy mieć jego model. Winniśmy przy tym pamiętać, że na to jaki jest i jaki ma być dany system, wpływają nie tylko cechy tworzących go składników - podsystemów i elementów tych podsystemów, ale również cechy nadsystemów, do których on należy, gdyż z nadsystemów pochodzą zadania stawiane temu systemowi, a co za tym idzie - organizacja tego systemu (ogólny charakter i struktura oraz funkcje wszystkich składników). Zbudowany na danym systemie model jest jego obrazem. Często modelujemy pewien układ wprost - poprzez model fizyczny lub matematyczny.

W badaniach konkretnych systemów rzadko spotykamy się z zadaniami, w których przychodzi nam rozpatrywać lub uwzględniać wszystkie cechy i charakterystyki. Zadania zazwyczaj bywają zawężone, cele badań wąskie, w pewnym sensie wyspecjalizowane - badamy system pod pewnymi (interesującymi nas) kątami widzenia. Budujemy więc model systemu pod kątem tego, co nas najbardziej interesuje, analizujemy to oraz wyciągamy możliwe wnioski dotyczące oceny systemu.

2. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z podstawowymi zasadami obliczeń efektywności ekonomicznej eksploatacji systemów technicznych oraz wybranymi wskaźnikami i metodami tej oceny.

3. Dane wyjściowe

Dany jest pewien system eksploatacyjny urządzeń technicznych. Należy dokonać oceny jego efektywności ekonomicznej.

4. Metody i sposoby obliczania efektywności ekonomicznej

Do oceny efektywności ekonomicznej eksploatacji maszyn i urządzeń technicznych (systemów technicznych) można wykorzystać, między innymi, metody:

- wskaźników technicznych, podających charakterystyki techniczne maszyn lub urządzeń technicznych,
- rachunku wydajności tych systemów technicznych,
- rachunku kosztów własnych maszyn i urządzeń,
- rachunku ekonomicznej efektywności inwestycji postępu technicznego,
- wskaźników syntetycznych, opracowanych na podstawie zespołu różnych wskaźników lub ujmujących problem kompleksowo.

W różnych sytuacjach decyzyjnych, w zależności od posiadanych informacji do obliczania efektywności ekonomicznej eksploatacji systemów technicznych mogą okazać się przydatne również metody:

- harmonii doboru,
- badań operacyjnych,
- teorii masowej obsługi,
- teorii odnowy,
- analizy wartości,
- porównawcze,
- graficzne.

Przedstawione metody różnią się między sobą stopniem doskonałości, a zwłaszcza jakością i efektywnością rozwiązań. Zwykle metody bardziej złożone dają możliwość bardziej efektywnych rozwiązań. Szczegółowe omówienie wymienionych metod, ze względu na ramy ćwiczenia nie stanowi przedmiotu naszych rozważań. Są one jedynie tu sygnalizowane.

W praktyce eksploatacyjnej należy dążyć do poszukiwania i stosowania wskaźników zagregowanych, syntetycznych, gdyż one w zwarty sposób, dają pełny obraz uzyskiwanych wyników w stosunku do ponoszonych nakładów.

Prezentując na wstępie definicję rozumienia efektywności ekonomicznej eksploatowanych systemów założyliśmy bowiem, że jest to pewna ocena. Taką ocenę (systemu jako organizacji do przetwarzania zasileń I w pożytek Q) dostatecznie dokładnie określa jedna wartość liczbowa, obliczona jako prosty stosunek efektów (pożytku Q) do nakładów (zasileń I):

$$v = \frac{Q}{I} . \qquad (1)$$

Jeżeli zachodzi relacja: $v > 1$, można powiedzieć, że organizacja (system) spełnia swoje zadanie. Jeżeli zachodzi relacja odwrotna, tj. $v \leq 1$, można powiedzieć, że system ten jest nieefektywny - nie ma z niego zysku za posiadanie "prawa własności" do niego.

W rzeczywistości jednak dotychczas nie udało się opracować ani w ekonomice eksploatacji, ani w innych ekonomikach szczegółowych takich uniwersalnych wskaźników syntetycznych, które mogłyby zaspokoić potrzeby praktyki w każdej sytuacji.

Dlatego też, obok wskaźników syntetycznych, znajdują często zastosowanie różne wskaźniki cząstkowe, za pomocą

których bada się bardziej szczegółowe, występujące w procesach eksploatacyjnych związki i relacje, mające czasami dla praktyki istotne znaczenie.

W literaturze można spotkać wiele różnych propozycji wskaźników syntetycznych - lepiej lub gorzej uzasadnionych, charakteryzujących się dużym rozrzutem akceptacji ze strony praktyki i teorii eksploatacji.

Poniżej omówionych zostanie kilka takich wybranych wskaźników oceny efektywności ekonomicznej eksploatacji maszyn, kierując się przy ich wyborze względami dydaktycznymi.

1. Wskaźnik oceny efektywności ekonomicznej eksploatacji maszyny

Ocena efektywności ekonomicznej ujętej wzorem (2), występuje tu w sposób pośredni za pomocą wykonywanej klasy dokładności, która związana jest z kosztami jednostkowymi wyprodukowanego elementu z jakością eksploatacji, z liczbą wyprodukowanych w określonej jednostce czasu elementów wyrobu oraz ilości zużytego do tego celu materiału.

$$E = \frac{\sum_{k_l=1}^{n} I_{k_l} \cdot k_{k_l} - k_m - a}{I \cdot k}, \qquad (2)$$

gdzie: E - efektywność ekonomiczna eksploatowanej maszyny,
I_{kl} - liczba produkowanych praktycznie elementów (wydajność praktyczna) w danej klasie dokładności,
$k_l = 1, 2, \ldots, n$ - liczba klas dokładności uzyskiwanej na danej maszynie,
k - koszt jednostkowy wyprodukowanego elementu,
k_m - koszt zużytego do produkcji materiału,
a - amortyzacja maszyny w okresie odniesienia,
I - ogólna liczba wyprodukowanych elementów.

Przyjmuje się, że gdy $E > 1$ wówczas mamy do czynienia ze wzrostem efektywności ekonomicznej eksploatacji. Niekiedy zadowala nas wynik, gdy $E \geq 1$. Ma to miejsce wtedy, porównywana przy ocenie efektywności ekonomicznej maszyna lub urządzenie techniczne posiada pewne walory, tzw. trudno

wymierne (w stosunku do wzorcowej), które nie były brane pod uwagę we wzorze.

2. Wskaźnik technicznego wykorzystania czasu maszyny

Wskaźnik ten pozwala określić przydatność maszyny w eksploatacji. Jeżeli t_n - tzn. czas naprawy - rośnie, wówczas wymieniony niżej wskaźnik S_t również rośnie, co wskazuje na pogarszający się stan techniczny maszyny.

$$S_t = \frac{t_n}{t_p + t_n + t_o}, \tag{3}$$

gdzie: S_t - wskaźnik technicznego wykorzystania czasu maszyny,
t_n - czas naprawy,
t_p - czas pracy między naprawami,
t_o - czas obsługi i konserwacji.

Do obliczenia tego wskaźnika konieczne jest systematyczne zbieranie danych statystycznych, na podstawie których można dokonywać oceny czasu przestojów maszyn w naprawach i określenia optymalnego okresu eksploatacji z uwzględnieniem ich niezawodności.

3. Średnia masa maszyny na jednostkę zainstalowanej mocy

Wskaźnik ten charakteryzuje postęp techniczny w zakresie konstrukcji i produkcji maszyn. W ocenie efektywności ekonomicznej eksploatacji maszyn w przedsiębiorstwie odgrywa on mniejszą rolę może natomiast być pomocny przy ocenach porównawczych, zwłaszcza przy zakupie nowych maszyn jak również w procesie ich produkowania. Porównanie masy konstruowanej maszyny, przypadającej na jeden kilowat zainstalowanej mocy, z wynikami uzyskiwanymi przez innych konstruktorów i producentów, pozwala ocenić i określić postęp techniczny i dystans od najlepszych rozwiązań w tym zakresie.

$$m = \frac{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} m_i}{\sum_{i=1}^{n} M_i}, \tag{4}$$

gdzie: m - średnia masa maszyny na jednostkę zainstalowanej mocy,
$i = 1, 2, 3, \ldots, n$ kolejne numery zainstalowanych maszyn,
m_i - masa i-tej maszyny,
M_i - moc w kilowatach i-tej maszyny.

3. Wskaźnik wykorzystania maszyny w pracy

Badanie stopnia wykorzystania pojedynczej maszyny w pracy ma bardzo istotne znaczenie, gdyż pozwala na ustalenie tzw. wąskich gardeł, luzów produkcyjnych, wreszcie na ocenę prawidłowości doboru poszczególnych maszyn do określonych zestawów produkcyjnych. Stosowana jest tu zależność (5):

$$S = \frac{h}{h_{16}}, \qquad (5)$$

gdzie: S - wskaźnik wykorzystania maszyny w pracy,
h - liczba godzin pracy maszyny w ciągu dnia roboczego (doby),
h_{16} - 16 godzin pracy (dwie pełne zmiany).

Najczęściej $S \leq$, ale należy dążyć do tego, by u podstawowej części maszyn $s \rightarrow 1$. Dla analizy grupy maszyn wskaźnik ten może uzupełniony o symbol sumy (Σ). Wskaźnik ten pozwala na określenie luzów produkcyjnych w parku maszyn przedsiębiorstwa.

4. Wskaźnik wykorzystania możliwości produkcyjnych

Oprócz badania pojedynczej maszyny lub grupy maszyn w praktyce często interesujące jest wykorzystanie możliwości produkcyjnych wydziału lub całego przedsiębiorstwa. Tego rodzaju pełną ocenę można dokonać za pomocą niżej podanego wzoru:

$$S_p = \frac{h}{d}, \qquad (6)$$

gdzie:
$S_p \leq 1$ - wskaźnik wykorzystania możliwości produkcyjnych przedsiębiorstwa,
h - liczba godzin pracy przedsiębiorstwa w ciągu doby,
d - doba.

Zdarza się, że $S/ = 1/3$, gdy przedsiębiorstwo pracuje na jedną zmianę. Powinno się dążyć do tego, by $1 \geq S > 0{,}66$. Sprzyja to efektywnemu wykorzystaniu maszyn i urządzeń oraz budowli i obniża koszty amortyzacji przypadające na jednostkę produkcji.

5. Wskaźnik intensywności obsługi maszyny

W ocenach efektywności ekonomicznej eksploatacji maszyn istotną rolę odgrywa intensywność obsługi maszyn w funkcji średniego czasu wykonywania jednej obsługi i naprawy bieżącej. Znając dysponowaną siłę roboczą stacji oraz średni czas wykonywania jednej obsługi i naprawy możemy wyliczyć średnią intensywność obsług (μ) - wzór 7:

$$\mu = \frac{\alpha_\mu \cdot t_d}{t_{OT}}, \qquad (7)$$

gdzie: μ - średnia intensywność obsługi,
t_{OT} - średni czas wykonywania jednej obsługi i naprawy bieżącej,
α_μ - liczba osób zatrudnionych w stacji obsługi (stała dla danej stacji i pewnego przedziału czasu),
t_d - średni dobowy czas pracy każdego zatrudnionego.

Intensywność obsług możemy zmienić, zmniejszając t_{OT}, tj. średni czas wykonywania prac obsługowo - naprawczych oraz t_d - liczbę godzin pracy. Czas wykonywania prac zależy od wydajności pracy robotników oraz stopnia zmechanizowania wykonywanych prac.

6. Wskaźnik efektywności ekonomicznej obsług maszyn

Przy założeniu, że okres eksploatacji maszyn jest normalny, tzn. w przedziale czasu $(0, t)$, a intensywność uszkodzeń maszyny jest stała, $\lambda(\tau) = l$, uzyskujemy uproszczoną postać niezawodności $R(t) = e^{-\lambda t}$, a wskaźnik efektywności ekonomicznej obsługi maszyn wyraża się zależnością (8):

$$E = (k_{pl} + k_{cz} + k_m + k_{bo})e^{\lambda t}. \qquad (8)$$

gdzie: k_{pl} - płace obsługujących,
k_{cz} - koszt części zamiennych,
k_m - koszt materiałów (pędnych, smarów, pomocniczych itp.),
k_{bo} - koszt utrzymania bazy obsługowej.

Najefektywniejsza obsługa jest wtedy, gdy $E \rightarrow \min$.

Ten ostatni wskaźnik ujmuje już dynamikę zmian badanej funkcji w czasie. Pozwala więc na śledzenie równomierności i rytmiczności zmian efektywności eksploatowanego systemu w czasie.

5. Tok postępowania

Zad. 1.
Należy dokonać analizy intensywności obsługi pewnej stacji napraw samochodów $U = f(t_{OT})$, przy założeniach: liczba pracujących osób (od 10 do 20 - przyjąć indywidualnie z tego zakresu jedną wartość), średni dobowy czas pracy jednego zatrudnionego $t_d = 8$ h, średni czas obsług t_{OT} (od 2 do 30 - przyjąć indywidualnie z tego zakresu jedną wartość). Podać ile wynosi średni czas wykonywania jednej obsługi na tej stacji jeżeli obsług takich na jednej zmianie (8 godzin) wykonano 20.

Zad. 2.
Przeanalizować dekadowe wskaźniki równomierności pracy jednej z odlewni za porównywalne okresy w miesiącach: styczeń, luty, marzec, posługując się trzema różnymi miernikami: pracochłonnością P, wartością W oraz tonażem T. W tabeli 1 [2] zostały przedstawione dane dotyczące tych mierników w postaci procentowych przyrostów.

Z tabeli tej należy indywidualnie wybrać 10 kolejnych dni pracy odlewni w poszczególnych miesiącach, wykonać wykresy przyrostów poszczególnych mierników w funkcji kolejnych dni roboczych, a następnie obliczyć współczynnik równomierności rzeczywistej według, znanego ze statystyki, współczynnika zmienności:

$$v = \frac{s}{m}, \tag{9}$$

gdzie: s - odchylenie standardowe wyników z próby,
m - średnia wartość danego miernika (np. pracochłonność P, wartość W lub tonaż T).

Wyniki zestawić w odpowiedniej tabelce. Odchylenia od zadanego normatywu mogą stanowić element brany pod uwagę przy ocenie efektywności badanego systemu oraz zmianach w produkcji w kierunku wzrostu określonego miernika.

Tabela 1. Produkcja towarowa jednej z odlewni [2]

Data	Styczeń				Luty				Marzec			
	Dni	*P*	*W*	*T*	Dni	*P*	*W*	*T*	Dni	*P*	*W*	*T*
1					*Wt*	7,2	7,6	9,8	*Sr*	7,2	5,6	9,1
2					*Śr*	14,7	12,2	16,9	*Cz*	12,5	10,6	17,1
3	*Po*	5,0	5,3	7,4	*Cz*	16,3	13,7	19,0	*Pi*	15,5	14,1	21,2
4	*Wt*	6,9	7,2	10,3	*Pi*	19,4	19,1	23,9	*So*	17,5	16,3	23,6
5	*Śr*	9,2	9,4	13,2	*So*	24,2	19,6	28,5				
6	*Cz*	13,6	10,8	17,8					*Po*	20,1	19,7	27,7
7	*Pi*	14,3	11,7	19,7	*Po*	28,5	22,7	34,9	*Wt*	23,4	22,2	32,7
8	*So*	16,8	14,9	23,2	*Wt*	30,9	25,8	37,9	*Śr*	25,5	24,7	36,0
9					*Śr*	31,3	26,3	38,3	*Cz*	28,5	28,0	39,3
10	*Po*	24,8	22,7	32,2	*Cz*	40,3	34,1	50,6	*Pi*	33,2	32,4	43,7
11	*Wt*	25,7	23,4	33,4	*Pi*	44,7	39,8	57,6	*So*	38,4	36,2	50,8
12	*Śr*	28,3	26,6	37,7	*So*	51,2	40,1	63,4				
13	*Cz*	29,9	28,6	39,0					*Po*	42,5	39,6	54,8
14	*Pi*	32,3	31,4	44,0	*Po*	52,3	41,4	64,5	*Wt*	47,0	43,2	62,8
15	*So*	32,5	31,7	44,4	*Wt*	63,6	53,8	82,2	*Śr*	52,9	48,1	71,6
16					*Śr*	65,7	56,3	83,8	*Cz*	58,8	53,3	78,1
17	*Po*	42,0	39,8	57,7	*Cz*	67,9	58,8	87,5	*Pi*	60,9	55,6	80,4
18	*Wt*	44,6	42,4	61,5	*Pi*	70,1	61,3	89,8	*So*	62,7	58,3	83,6
19	*Śr*	47,4	45,4	64,9	*So*	74,2	66,2	96,6				
20	*Cz*	55,7	53,4	74,1					*Po*	65,5	61,7	85,9
21	*Pi*	57,3	55,0	75,4	*Po*	80,6	72,9	105,4	*Wt*	70,5	68,3	92,6
22	*So*	59,6	57,6	80,4	*Wt*	84,5	77,7	110,9	*Śr*	73,9	71,9	96,6
23					*Śr*	85,4	78,5	111,8	*Cz*	76,4	74,1	100,8
24	*Po*	62,9	61,1	84,4	*Cz*	89,3	83,3	117,6	*Pi*	78,6	76,1	102,2
25	*Wt*	64,9	63,1	86,5	*Pi*	91,5	86,1	117,6	*So*	83,5	82,0	109,7
26	*Śr*	71,6	70,3	95,8	*So*	91,9	86,4	117,9				
27	*Cz*	77,4	74,5	102,4					*Po*	86,6	85,8	113,0
28	*Pi*	84,5	82,0	111,5	*Po*	93,6	88,5	119,0	*Wt*	91,2	91,7	117,4
29	*So*	90,9	88,8	118,0	*Wt*	108,2	102,0	128,9	*Śr*	93,6	94,3	121,5
30									*Cz*	96,8	97,1	123,3
31	*Po*	107,8	100,0	128,2					*Pi*	100,2	101,4	125,0
Razem		107,8	100,0	128,2	X	108,2	102,0	128,9	X	100,2	101,4	125,0

P - pracochłonność, *W* - wartość, *T* - tonaż

Zad. 3 (*może być zalecone do wykonania przez prowadzącego ćwiczenia*).
Badanie efektywności systemów eksploatacyjnych wg innych podanych w ćwiczeniu wskaźników oceny. Zostaną wówczas podane przez niego dane wyjściowe do analizy.

6. Sprawozdanie

Sprawozdanie winno zawierać opracowane wykresy oraz tabele wyników wraz z wnioskami dotyczącymi analizowanych zagadnień.

7. Literatura

1. Cygan Z., Jędrzejowicz P., Ziemba S.: Badania systemów eksploatacyjnych. Wyd. Ossolineum Wrocław, Warszawa, Kraków, Gdańsk, Łódź 1983 r.
2. Sobolewski K.: Podstawy metodyki planowania wykonawczego w odlewni. Praca doktorska, WSE Kraków 1973 r.

Ćwiczenie 11

Temat: OPTYMALIZACJA WŁAŚCIWOŚCI RUCHOWYCH SAMOCHODÓW

1. Wprowadzenie

Budowa i przeznaczenie samochodu powodują, że dla poszczególnych pojazdów można wyróżnić charakterystyczne rodzaje użytków. W ogólnym przypadku można wyróżnić następujące podstawowe rodzaje użytków:

- przewozy pasażerskie (np. dla środków transportu PKS),
- przewozy towarowe (samochody ciężarowe),
- przewozy indywidualne (taksówki, pojazdy osobowe, prywatne),
- specjalne (pojazdy specjalnego przeznaczenia).

Każdy samochód, niezależnie od swego przeznaczenia, tworzy złożony system eksploatacyjny i kontaktuje się z innymi systemami (patrz wprowadzenie do ćwiczeń). Jeżeli popatrzymy na ten system od wewnątrz, to opisać go można zbiorem parametrów charakteryzujących właściwości użytkowe. W zbiorze tym można wyróżnić szóstkę parametrów:

$$<W_1, W_2, W_3, W_4, W_5, W_6>$$

W_1 - ładowność pojazdu,
W_2 - ciężar własny pojazdu,
W_3 - moment obrotowy silnika,
W_4 - moc efektywna silnika,
W_5 - maksymalna prędkość,
W_6 - średnie jednostkowe zużycie paliwa.

Oczywiście parametry te nie wyczerpują opisu pojazdu, jako systemu, ale w zdecydowany sposób charakteryzują jego pożytek.

Pojazd ten kontaktuje się z nadsystemem (systemem komunikacji), a kontakt ten tworzy styk kół pojazdu z powierzchnią drogi - jako elementu tego nadsystemu.

W badaniach analitycznych procesów użytkowania pojazdów stosowana jest najczęściej trójstopniowa klasyfikacja dróg i ich nawierzchni, opisana następującą trójką poziomów klasyfikacyjnych:

$$<h_1, h_2, h_3>$$

gdzie: h_1 - rodzaj nawierzchni:
= 1 - asfalt, beton,
= 2 - drogi bite,
= 3 - drogi gruntowe,
= 4 - bezdroża,
h_2 - profil drogi:
= 1 - drogi płaskie (nizinne),
= 2 - drogi górskie,
= 3 - drogi w terenie pofałdowanym,
= 4 - drogi z wybojami,
h_3 - stan nawierzchni:
= 1 - sucha,
= 2 - mokra,
= 3 - gołoledź.

Wyróżnione rodzaje dróg w zdecydowany sposób wpływają na efektywność użytkowania oraz niezawodność pojazdu.

Tym dwóm zbiorom - aby odbyło się działanie - trzeba jeszcze przyporządkować zbiór użytkowników $U <u_1, u_2,..., u_n>$. Każdy z nich ma swoje zindywidualizowane cechy osobowościowe, które decydować będą również o efektywności użytkowania pojazdu. Do celów niniejszego ćwiczenia założono, że cechy te są stałe dla wszystkich użytkowników i wobec powyższego:

$$U = \text{const} = 1.$$

Chcąc więc zbadać właściwości ruchowe samochodu, należy znać (oprócz drogi - jako oddziaływującego elementu nadsystemu) zbiór W, charakteryzujący jego właściwości ruchowe tj.:

- maksymalną moc i moment obrotowy oraz odpowiadające im obroty silnika,
- przełożenie skrzyni biegów, skrzynki rozdzielczej, przekładni głównej itp.,
- sprawności silnika;
- sprawności układu napędowego,

- parametry konstrukcyjne samochodu (promienie kół, ciężar, ładowność itp.).

Dane te można znaleźć w charakterystykach technicznych określonych typów samochodów. Dane te pozwalają wyznaczyć: prędkość (przy danej liczbie obrotów), siły napędowe na kołach jezdnych, wskaźnik dynamiczny pojazdu i inne wielkości niezbędne do optymalizacji ruchu.

Założenie badawcze

Samochód porusza się, gdy jego siła napędowa jest większa od sumy wszystkich oporów zewnętrznych. W zależności od wartości zewnętrznych oporów ruchu, kierowca stosuje odpowiedni bieg. W ten sposób zadanie optymalizacji właściwości ruchowych samochodów sprowadza się do wyznaczenia biegów, na jakich należy pokonywać dane odcinki trasy.

2. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z podstawami efektywnego wykorzystania właściwości ruchowych pojazdów samochodowych.

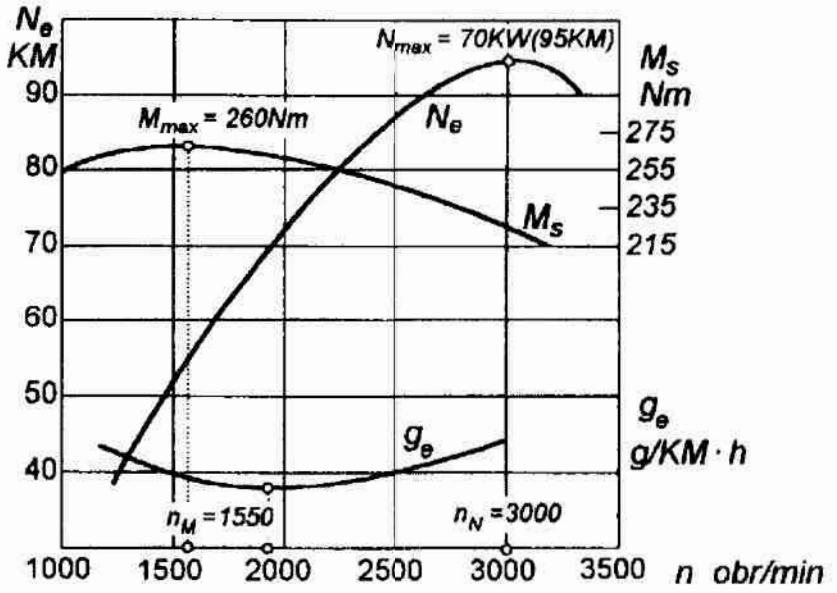
3. Dane wyjściowe

Dany jest typ pojazdu samochodowego o określonej charakterystyce zewnętrznej. Należy określić jego wskaźnik dynamiczny oraz zdolności ruchowe przy użytkowaniu na różnych rodzajach dróg i z różnymi obciążeniami.

4. Sposób realizacji

Sposób realizacji powyższego zadania zostanie pokazany na przykładzie użytkowania samochodu ciężarowego, którego charakterystykę zewnętrzną pokazano na rys. 1.

Pozostałe dane techniczne tego samochodu to:
- ciężar własny samochodu G_o = 35280 N (3600 kg),
- ciężar całkowity samochodu G = 77420 N (7900 kg),
- przełożenia: przekładni głównej i_g = 7,17, skrzynki biegów i_I = 6,66, i_{II} = 3,45, i_{III} = 1,815, i_{IV} = 1,0, i_V = 0,845,



Rys. 1. Charakterystyka zewnętrzna silnika do przykładu liczbowego; N_e - moc efektywna, M_s - moment obrotowy, q_e - jednostkowe zużycie paliwa

- sprawność układu napędowego na IV biegu $\eta_b = 0{,}92$,
- sprawność pozostałych biegów $\eta_m = 0{,}85$,
- promień toczny koła samochodu $r_t = 0{,}45$ m,
- powierzchnia czołowa samochodu $F_p = 5{,}2$ m^2,
- współczynnik kształtu nadwozia $C_x = 0{,}9$.

Rozwiązanie zadania:

a) z charakterystyki zewnętrznej silnika wyznaczamy momenty obrotowe M_s dla wybranych prędkości obrotowych n_s, np. dla $n_s = 1550$ obr/min - $M_s = 260$ Nm.

b) uwzględniając poszczególne prędkości n_s (przyjmowane przez nas dowolnie) obliczamy dla każdego biegu: siły napędowe na kołach jezdnych wg wzoru (1)

$$P_k = \frac{M_s \cdot i_c \cdot \eta_m}{r_t}, \qquad (1)$$

przy czym:

i_c - całkowite przełożenie układu napędowego,
η_m - sprawność mechaniczna układu napędowego,
r_t - promień toczny koła, oraz prędkości ruchu samochodu wg wzoru (2):

$$v = \frac{n_s \cdot r_t}{2{,}65\, i_c}, \quad \text{[km/h]}. \qquad (2)$$

Tym sposobem otrzymamy:

- dla biegu I:

$\eta_m = 0,85$; przełożenie całkowite:
$i_{cI} = i_g\, i_I = 7,17 \times 6,66 = 47,75$,

$$p_{kI} = \frac{47,75 \cdot 0,85}{0,45} M_s = 90\, M_s ,$$

$$V_I = \frac{0,45 \cdot n_s}{2,65 \cdot 47,75} = 0,00357\, n_s ,$$

- dla biegu II:

$$\eta_m = 0,85;\ i_{cII} = i_g\, i_{II} = 7,17 \times 3,35 = 24,7 ,$$

$$p_{kII} = \frac{24,7 \cdot 0,85}{0,45} M_s = 46,5\, M_s ,$$

$$V_{II} = \frac{0,45}{2,65 \cdot 24,7} = 0,0069\, n_s ,$$

- dla biegu III:

$$\eta_m = 0,85\ ;\ i_{cIII} = i_g\, i_{III} = 7,17 \times 1,815 = 13 ,$$

$$p_{kIII} = \frac{13 \cdot 0,85}{0,45} M_s = 24,5\, M_s ,$$

$$V_{III} = \frac{0,45 \cdot n_s}{2,65 \cdot 13} = 0,0131\, n_s ,$$

- dla biegu IV:

$$\eta_b = 0,92;\ i_{cIV} = i_g\, i_{IV} = 7,17 \times 1,0 = 7,17 ,$$

$$p_{kIV} = \frac{7,17 \cdot 0,92}{0,45} M_s = 14,6\, M_s ,$$

$$V_{IV} = \frac{0,45 \cdot n_s}{6,06 \cdot 2,65} = 0,0238\, n_s ,$$

- dla biegu V:

$$\eta_m = 0,85;\ i_{cV} = i_g\, i_V = 7,17 \times 0,845 = 6,06 ,$$

$$p_{kV} = \frac{6,06 \cdot 0,85}{0,45} M_s = 11,5\, M_s ,$$

$$V_V = \frac{0,45 \cdot n_s}{6,06 \cdot 2,65} = 0,0282\, n_s ,$$

c) dla wyznaczonych wyżej prędkości jazdy obliczamy siły oporów powietrza wg wzoru (3)

$$P_p = 0{,}05\, F_p\, C_x\, V^2 , \quad [\mathrm{N}] . \tag{3}$$

Dla rozpatrywanego przykładu:

$$P_p = 0{,}05 \times 5{,}2 \times 0{,}9\, V^2 = 0{,}22\, V^2 \ [\mathrm{N}] ,$$

d) dla określonych prędkości jazdy i dla każdego biegu (lub prędkości obrotowej) wyznaczamy wskaźniki dynamiczne wg wzoru (4) w procentach:

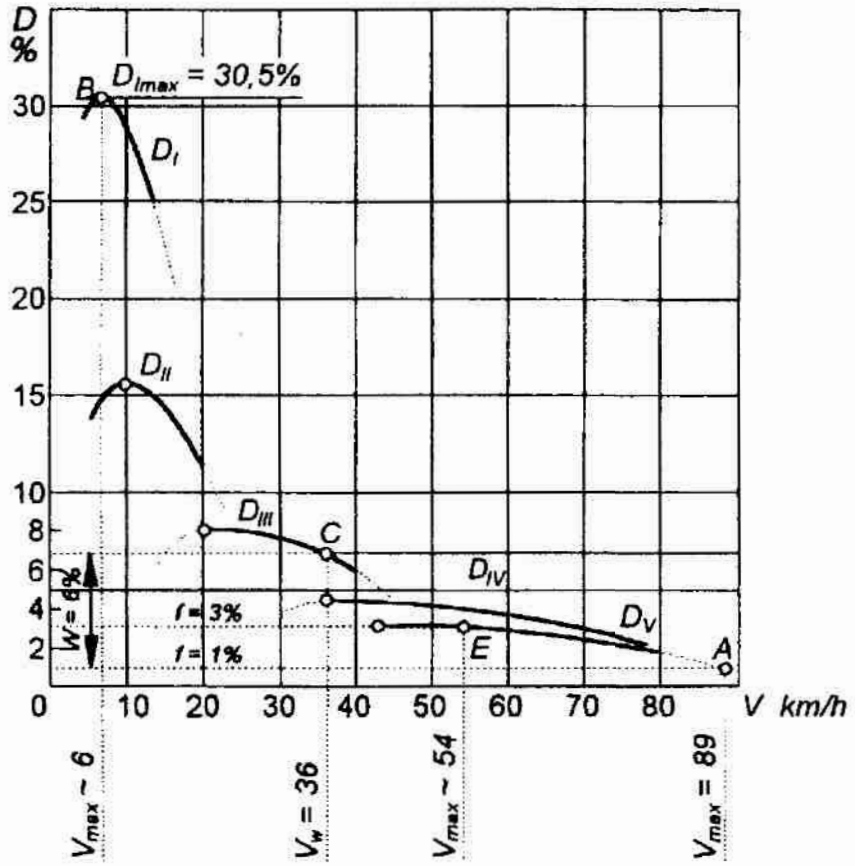
$$D = \frac{P_k - P_p}{G} \times 100\ \% , \tag{4}$$

e) obliczone wielkości zestawiamy w tabeli danych (tab. 1);

Tabela 1. Wyniki obliczeń wskaźnika dynamicznego D

n_s [obr/min]			1550	2000	2500	3000
M	[Nm]		270	265	248	227
bieg I	V_i	km/h	5,8	7,5	9,4	11,3
	P_{ki}	N	23 667	23 800	22 400	20 400
	P_p	N	7	12	20	30
	P_{ki}-P_p	N	23 660	23 782	22 380	20 370
	D_i	%	max = 30,5	30,2	28,8	25,7
bieg II	V_i	km/h	10,7	13,8	17,3	20,7
	P_{ki}	N	12 550	12 300	11 600	10 100
	P_p	N	20	40	70	100
	P_{ki}-P_p	N	12 530	12 260	11 530	10 100
	D_i	%	15,9	15,5	14,6	12,7
bieg III	V_i	km/h	20,6	26,2	32,8	39,3
	P_{ki}	N	6 610	6 500	6 100	5 570
	P_p	N	100	140	240	350
	P_{ki}-P_p	N	6 510	6 360	5 860	5 220
	D_i	%	8,2	8,0	7,4	6,6
bieg IV	V_i	km/h	36,8	47,6	59,5	71,5
	P_{ki}	N	3 940	3 860	3 504	3 310
	P_p	N	300	500	800	1 150
	P_{ki}-P_p	N	3 640	3 360	2 740	2 160
	D_i	%	4,6	4,3	3,6	2,7
bieg V	V_i	km/h	43,4	56	70	84
	P_{ki}	N	3 100	3 050	2 870	26 500
	P_p	N	650	710	1 100	1 590
	P_{ki}-P_p	N	2 450	2 340	1 770	1 060
	D_i	%	3,1	3,0	2,25	1,35

f) z obliczonych wielkości sporządzamy wykres wskaźnika dynamicznego D - rys. 2.



Rys. 2. Wykres wskaźnika dynamicznego

Wskaźnik dynamiczny D jest jednym z istotniejszych kryteriów oceny właściwości ruchowych samochodu. Oznacza on jednostkowy nadmiar siły napędowej pojazdu przy ruchu po drodze o określonym współczynniku oporów toczenia f oraz przy danym wzniesieniu w - wyrażonym procentowo (wzór 5);

$$D = f + w + \delta\frac{a}{g} \quad . \tag{5}$$

Ostatni człon tego wzoru opisuje jednostkową siłę bezwładności: jako stosunek przyspieszenia samochodu a do przyspieszenia ziemskiego g (wyrażoną w procentach). Jest to człon bezpośrednio związany z chwilowymi decyzjami obsługującego pojazd. Człon ten przyjmijmy jako pewną stałą wartość, pomijaną w dalszych rozważaniach (tak jak to zrobiono z cechami osobowymi użytkownika samochodu). Nie zmienia to charakteru analizowanych zależności, a jedynie może

zmienić ich wartości liczbowe, które i tak są przez nas założone danymi wejściowymi.

Dla ruchu jednostajnego, wzór (5) możemy więc uprościć do postaci (6):

$$D_I = f + w = \Psi \,, \qquad (6)$$

gdzie: Ψ - oznacza sumę oporów ruchu [%].

Korzystając z wykresu wskaźnika dynamicznego, możemy określić zachowanie się samochodu w warunkach drogowych - opisanych poprzez współczynnik oporów toczenia f oraz wielkość wzniesienia w, zgodnie z wzorem (6).

Ponieważ, dla analizowanego samochodu, największy wskaźnik dynamiczny wynosi $D_{Imax} = 30{,}5$ % (punkt B na rys. 2), czyli na drodze betonowej, przy współczynniku oporów toczenia $f = 0{,}01 = 1$ %, samochód może pokonać największe wzniesienia $w = D_{Imax} - f = 30{,}5 - 1 = 29{,}5$ %, co odpowiada pochyleniu jezdni $w_{max} = \sin\alpha = 0{,}295$; stąd $\alpha_{max} = 17$ %. Wzniesienie takie samochód pokonuje poruszając się z prędkością $v = 6$ km/h.

Podobnie można obliczyć prędkości jazdy przy innych wzniesieniach. Jeżeli np. $w = 6$ %, przy $f = 0{,}01 = 1$ %, wówczas: $D = w + f = 6 + 1 = 7$ % i z wykresu na rys. 2 odczytuje się $v = 36$ km/h. Wzniesienie takie samochód może pokonać na III biegu (punkt C na wykresie).

Z wykresu tego można wyznaczyć prędkość ruchu samochodu w dowolnych warunkach drogowych, np. podczas korzystania z biegu piątego, prędkość maksymalna na drodze poziomej przy $f = 0{,}01 = 1$ % jest $v_{max} = 89$ km/h (punkt A), a przy $f = 3$ % jest tylko $v_{max} = 54$ km/h (punkt E).

Podczas jazdy z małą, lub umiarkowaną prędkością, istnieją nadwyżki siły napędowej nad sumą sił oporów toczenia i powietrza. Nadwyżki te mogą być zużyte na przyspieszenia samochodu (sterowanie pominiętym członem we wzorze 5), pokonywanie wzniesienia lub zwiększonych oporów toczenia po drodze o gorszych właściwościach (wpływ zbioru elementów h nadsystemu eksploatacji).

Wpływ obciążenia samochodu na prędkość jego jazdy możemy ustalić, korzystając z metody graficznej. Rozumowanie tu jest następujące: rzeczywiste obciążenie użyteczne pojazdu G_u jest zmienne - zależne od załadowania pojazdu. Ponieważ wskaźnik dynamiczny D określany jest w odniesieniu do ładowności nominalnej G_{umax}, zatem ciężar całkowity $G = G_0 + G_{umax}$ (gdzie G_0 oznacza ciężar samochodu niezaładowanego). Zatem:

$$D = \frac{P_k - P_p}{G_0 - G_{u\max}} = \frac{P_k - P_p}{G}, \qquad (7)$$

Jeżeli ładowność nominalna wynosi G_{umax}, stosunek

$$E_\lambda = \frac{G_{u\max}}{G}, \qquad (8)$$

możemy nazwać wskaźnikiem wykorzystania ładowności.

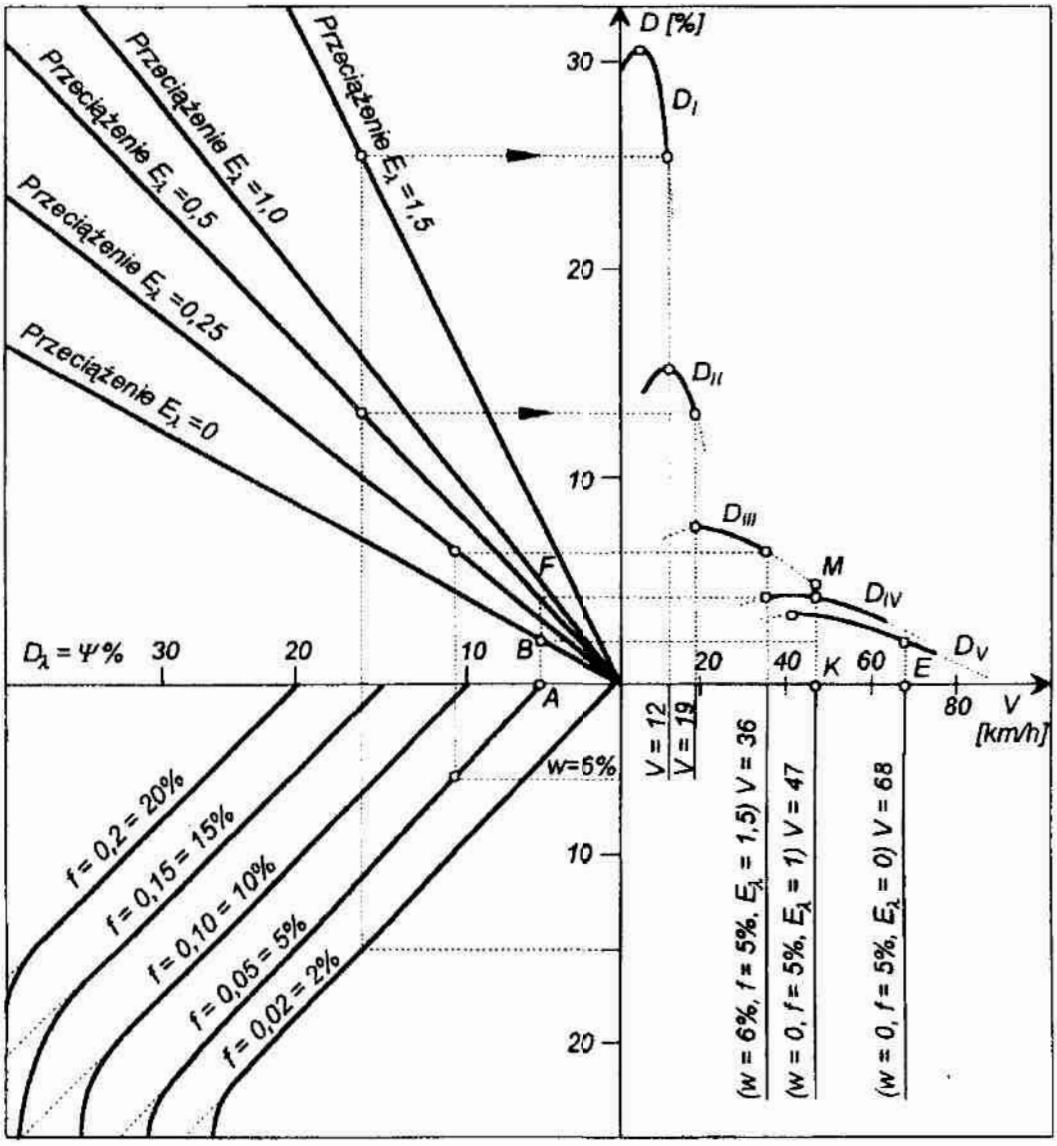
Częściowe obciążenie pojazdu zwiększa wskaźnik dynamiczny, gdyż całkowity ciężar pojazdu jest pomniejszony. Dla ruchu jednostajnego zależność na wskaźnik dynamiczny D_λ przyjmie więc postać:

$$D_\lambda = \frac{P_k - P_p}{G_0 + E_\lambda G_{u\max}} = \frac{P_k - P_p}{G} \cdot \frac{G}{G_0 + E_\lambda G_{u\max}} = D\,\frac{G}{G_0 + G}, \qquad (9)$$

Do sporządzania wykresu wpływu oporów drogi i obciążenia na właściwości ruchowe samochodu, wykorzystuje się charakterystykę dynamiczną D w pełni obciążonego pojazdu oraz wykres sporządzony na podstawie równania na D_λ (wzór 6). Dla różnych wartości E_λ (wzór 8) jest to pęk prostych przechodzących przez środek układu współrzędnych: D oraz D_λ. Zestawiając obok siebie oba wspomniane wykresy, można określić, możliwą do osiągnięcia, prędkość jazdy w zależności od stopnia załadowania pojazdu i warunków drogowych - rys. 3.

Przykładowa analiza tego wykresu do rozpatrywanych danych:
Podczas jazdy bez ładunku $E_\lambda = 0$, na drodze poziomej ($w = 0$), o współczynniku oporu toczenia $f = 5$ %, możliwa do osiągnięcia prędkość pojazdu wynosi $v = 68$ km/h (linie

A-B-C-E na biegu V), natomiast możliwa do osiągnięcia prędkość jazdy z pełnym ładunkiem $E_\lambda = 1$, na tej samej drodze wyniesie $v = 47$ km/h (linie A-F-H-K), przy czym trzeba używać wtedy biegu III (zapis w IV ćwiartce wykresu).



Rys. 3. Wykres wpływu oporów drogi i obciążenia na właściwości ruchowe samochodu

Z wykresu możemy odczytać prędkość jazdy w każdych warunkach obciążenia pojazdu i rodzaju drogi, np. na wzniesieniu $w = 6$ % oraz $f = 5$ %, samochód z ładunkiem $G_u = 0{,}25\ G_{umax}$ może rozwinąć prędkość $v = 36$ km/h na biegu III, a pokonując wzniesienie $w = 15$ %, przy $f = 2$ %, z ładunkiem $G_u = 0{,}5\ G_{umax}$ może poruszać się z prędkością $v = 19$ km/h na biegu II.

Pojazd przeciążony ponad dopuszczalną ładowność $G_u = 1,5\ G_{umax}$ w takich warunkach może poruszać się zaledwie z prędkością $v = 12$ km/h na biegu I.

Mając dane prędkości samochodu v oraz sumę oporów ruchu $\Psi = D_\lambda$ można obliczyć moc silnika N_e potrzebną do napędu samochodu. Korzysta się przy tym z zależności:

$$N_e = \frac{\Psi \cdot v}{3,77 \cdot \eta_m}\ , \text{[kW]}\ . \qquad (10)$$

przy czym: $\Psi = f + w$ [%],
v - prędkość [km/h],
η_m - całkowita sprawność mechaniczna (1 kW = 1,3596 kM).

Rozpatrując poszczególne wielkości występujące w tym wzorze i wpływające na moc silnika, moc użyteczną (efektywną N_e) ustalamy przede wszystkim największą prędkość możliwą do osiągnięcia przez pojazd (p. rys.3). Dla pojazdów ciężarowych przyjmuje się maksymalne prędkości jazdy $v_{max} = 60 \div 90$ km/h. Podane prędkości maksymalne winny być uzyskiwane przez pojazdy kołowe na drogach o nawierzchni twardej, średniej jakości i różnym stopniu zużycia. Dlatego też, zwykle przyjmuje się wartość współczynnika oporów ruchu $\Psi = 0,025 \div 0,03$ $(2,5 \div 3\ \%)$.

W samochodach terenowych, w których napęd jest na wszystkie koła, są także dodatkowe mechanizmy i większa liczba przegubów, przyjmuje się do obliczeń mocy silnika sprawność mechanizmów napędowych $\eta_m = 0,65 \div 0,80$. Przy napędzie dwuosiowym, przyjmuje się $\eta_m = 0,75 \div 0,80$; przy napędzie trzyosiowym $\eta_m = 0,65 \div 0,7$.

Moc maksymalna N_{emax} ma dla użytkownika znaczenie jedynie teoretyczne. W praktyce nie można dopuścić do pracy silnika przy N_{emax} i odpowiadającemu temu dawkowaniu paliwa, gdyż następuje wówczas niezupełne spalanie - połączone z silnym dymieniem i intensywnym odkładaniem się nagaru na ściankach cylindra oraz tłoka.

Znając moc efektywną silnika N_e, z jego charakterystyki zewnętrznej (wykres z rys. 1), można określić - odpowiadające tej mocy - zużycie paliwa.

5. Tok postępowania

1) Ustalić charakterystykę zewnętrzną silnika pojazdu ciężarowego (z dokumentacji techniczno-ruchowej istniejącego samochodu lub zaprojektowanego przez siebie).
Uwaga: *każdy student projektuje (dobiera) indywidualnie charakterystykę samochodu.*

2) Ustalić pozostałe dane techniczne tego samochodu, wzorując się na rozpatrywanym przykładzie w ćwiczeniu.

3) Obliczyć momenty obrotowe M_s dla wybranych prędkości n_s.

4) Obliczyć prędkości ruchu rozpatrywanego samochodu dla poszczególnych biegów.

5) Obliczyć siły oporów powietrza.

6) Wyznaczyć wartości wskaźników dynamicznych dla poszczególnych prędkości pojazdu i poszczególnych biegów.

7) Zestawić obliczone wartości w tabeli.

8) Sporządzić wykres wskaźnika dynamicznego.

9) Ustalić, jakie wzniesienia w może pokonywać ten samochód jadąc po drodze o współczynniku oporów toczenia $f = 0{,}01$.

10) Sporządzić wykres wpływu oporów drogi i obciążenia na właściwości ruchowe danego samochodu.

11) Wyznaczyć prędkości ruchu samochodu poruszającego się po analizowanej drodze ($f = 0{,}01$) z wzniesieniem o wartości 100 metrów na długości 1 km, z różnym załadowaniem: od $E_\lambda = 0$ do $E_\lambda = 1{,}5$ (z krokiem co 0,25).

12) Sporządzić wykres funkcji prędkości samochodu od jego załadowania $v = f(E_\lambda)$.

13) Obliczyć efektywną moc silnika N_e dla tych prędkości, zakładając, iż projektowany samochód posiada napęd dwuosiowy.

14) Obliczyć moment efektywny M_e, korzystając z zależności:

$$M_e = 716{,}2 \frac{N_e}{n_s}, \quad [\text{kGm}], \tag{11}$$

gdzie: n_s - prędkość obrotowa wału korbowego [obr/min] - obliczona wg przekształconego wzoru (2).

15) Określić teoretyczne zużycie paliwa tego samochodu G_t [litrów/100km] - odpowiadające wartości N_e - korzystając z wykresu charakterystyki zewnętrznej projektowanego przez siebie samochodu oraz istniejącej zależności na jednostkowe zużycie paliwa g_e:

$$g_e = \frac{1000\, G_t}{N_e}, \qquad [\mathrm{g/KM \cdot h}] \qquad (12)$$

Wielkości te charakteryzują efektywność pracy, a ich wartości zależą od przebiegu procesów roboczych silnika.

Do oceny efektywności pracy silnika poza wymienionymi można wykorzystać również inne parametry. Najłatwiejsza do zmierzenia jest wartość przyspieszenia samochodu. Im przyspieszenie jest większe, tym lepszy jest jego stan techniczny. Parametr ten jest badany szczególnie przy samochodach osobowych. Nie jest więc analizowany w tym ćwiczeniu.

6. Sprawozdanie

W sprawozdaniu należy podać dane wyjściowe, niezbędne do rozwiązania postawionych zadań, wszystkie obliczenia i wykresy zgodnie z podanym wyżej tokiem obliczeń.

7. Literatura

1. Hebda M., Mazur T., Pelec H.: Teorie eksploatacji pojazdów. Wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa 1978 r.
2. Okręglicki W., Łopuszański B.: Użytkowanie urządzeń mechanicznych. WNT, Warszawa 1980 r.

Ćwiczenie 12

Temat: OPTYMALIZACJA PRZYDZIAŁU PRAC DO OBRABIAREK

1. Wprowadzenie

Powiększająca się stale różnorodność potrzeb ludzkich i możliwości urządzeń technicznych sprawia, że wybór racjonalnego sposobu działania tych urządzeń staje się coraz trudniejszy. Przy znajomości określonych technik postępowania można jednak wyszukać działanie urządzenia dostatecznie bliskie do rozwiązania najkorzystniejszego - optymalnego.

W każdej chwili ogólną sytuację systemu eksploatacyjnego, ze względu na możliwości działania, charakteryzują cztery następujące zbiory:

- zbiór możliwych celów działania,
- zbiór, przewidywanych, możliwych warunków działania,
- zbiór możliwych do zastosowania urządzeń,
- zbiór możliwych metod działania.

Stosując określone techniki postępowania można dokonać oceny wszystkich możliwych działań systemu. A zatem, na podstawie dokonanej oceny działań można wybrać najkorzystniejsze w danej sytuacji działanie przez wskazanie jego celu i sposobu realizacji.

Na tej właśnie drodze decydent, znając koszty określonego działania oraz znając, ustalone dla danego obiektu, możliwe efekty przy różnych technologiach, może (stosując kryterium optymalizacji) wyszukać najkorzystniejszy proces i asortyment produkcji.

Podstawowym zagadnieniem praktycznym przy każdym wyborze jest możliwie dokładne i pełne określenie zbioru możliwości, spośród których ma być dokonany wybór. Zwykle ocena taka dokonywana jest za pomocą wielu, często podświadomych, kryteriów obiektywnych i subiektywnych. Dążyć należy jednak do posługiwania się w tym względzie określonymi obliczeniami rachunkowymi - dokonując pewnego

zapisu matematycznego danej sytuacji, czyli budując jej model matematyczny.

W przypadku, gdy wszystkie uwzględnione w rachunku wielkości są ustalone dostatecznie ściśle i mogą być traktowane jako stałe, mamy do czynienia z *modelem deterministycznym*. Jeżeli chociaż jedna z tych wielkości jest zmienną losową o znanym rozkładzie prawdopodobieństwa, rozważany model jest *modelem probabilistycznym*. Gdy rozkład wielkości nie jest znany, ale o wielkości tej można zebrać pewne dodatkowe informacje statystyczne, mamy do czynienia z *modelem statystycznym*.

W zapisie matematycznym stanowiącym rozwiązywany model można wyróżnić dwie zasadnicze części. Zależności wyrażające warunki, w których dokonuje się dane działanie nazywamy *warunkami*, natomiast zależność służąca do oceny poszczególnych rozwiązań nosi nazwę *funkcji kryterium*. Wielkości, które w rachunku traktujemy jako dane, od nas niezależne, są *parametrami*, a wielkości, o których decydujemy przy rozwiązywaniu modelu - nazywają się *zmiennymi decyzyjnymi*.

Drugim, równie ważnym zagadnieniem, jest ustalenie właściwych kryteriów ostatecznego wyboru czyli ustalenie aktualnego zestawu ocen danego działania.

Dalszym wreszcie zagadnieniem, zwykle najbardziej pracochłonnym, jest przyporządkowanie wszystkim rozważanym działaniom określonych efektów z takiego działania i oceny tych efektów. Dokonanie ostatecznego wyboru na podstawie uzyskanych ocen nie przedstawia zazwyczaj większych trudności, jeżeli każdemu działaniu zostanie przyporządkowany, w określony sposób, koszt jednostkowy takiego działania (lub wartość z nim związana np.: czas, wydajność itp.).

Złożoność procesu użytkowania (eksploatacji) obrabiarek lub innych urządzeń mechanicznych w przedsiębiorstwie powoduje, że przy podejmowaniu decyzji obciążenia różnymi pracami określonych urządzeń, stosuje się zasadę "intuicyjnego" lub "refleksyjnego" sposobu rozwiązywania problemów.

Najczęściej o wyborze zasady rozwiązywania problemu decydują dodatkowe nakłady, związane z wypracowaniem takiej decyzji.

Zasada intuicyjnego sposobu podejmowania decyzji polega na pewnym przeczuciu decydenta, iż dany sposób postępowania będzie dla danego przypadku najkorzystniejszy - optymalny. Od zdolności "twórczych" tego decydenta zależy jakość decyzji podjętej w ramach obranej strategii działania. Ten sposób działania decydent podejmuje najczęściej w przypadku gdy dysponuje małą wiedzą i ograniczonym czasem na podjęcie decyzji. W takich warunkach decyzje intuicyjne stają się częstokroć jedynym rozwiązaniem, aby nie stracić szansy - okazji, która może się już nie powtórzyć.

Zasadę refleksyjnego (refleksja - głębsze zastanowienie się połączone z analizą oraz przewidywaniem w celu dojścia do obiektywnego poznania) podejmowania decyzji stosuje się szczególnie wówczas, gdy istnieje wiele wariantów działania i gdy analiza różnych możliwości działania prowadzi do wyszukania wariantu najkorzystniejszego wg przyjętego wcześniej kryterium. Działanie oparte jest na zbudowaniu odpowiednich modeli matematycznych i algorytmów ich badania. W przyjętym modelu całkowity czas wykonania powinien być najmniejszy. To właśnie najczęściej jest celem rachunku optymalizacyjnego - wykonywanego obecnie przy użyciu techniki komputerowej. Z pewnością warto te modele tworzyć i opracowywać w formie programów komputerowych, lecz trzeba pamiętać o ich ograniczeniach, wynikających z niemożności stworzenia jednego "uniwersalnego" modelu działania.

Modele formalne z natury rzeczy operują stanami idealnymi (idealizacjami danej sytuacji). W takim sensie, jak nie istnieje doskonała próżnia, czy doskonale czarne ciało, tak nie istnieje doskonały model określonej rzeczywistości. Ograniczenia te trafnie ujął A. Einstein, pytany o ocenę modeli formalnych, który stwierdził: "Jeśli model jest dobry to na pewno nie pasuje do rzeczywistości, jeśli zaś model pasuje do rzeczywistości, to na pewno jest zły".

Budowanie modeli matematycznych określonej sytuacji ma więc sens, jeżeli jest ona dobrze rozpoznana, a decyzje

podejmowane są w warunkach deterministycznych tj. jeśli decydent jest przekonany, że określona sekwencja zdarzeń zajdzie bez żadnych zakłóceń. Do takich zdarzeń możemy zaliczyć decyzje przy ustabilizowanym procesie wytwarzania - produkcja seryjna i masowa.

2. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z intuicyjną i refleksyjną metodą podejmowania decyzji optymalnego obciążania urządzeń mechanicznych.

3. Dane wyjściowe

Dana jest pewna liczba prac o zróżnicowanej pracochłonności, możliwych do wykonania na określonej liczbie obrabiarek. Należy przydzielić te prace do poszczególnych obrabiarek tak, aby zmaksymalizować wydajność godzinową w tej grupie obrabiarek. Zastosować intuicyjną i refleksyjną metodę rozwiązania problemu.

4. Sposób realizacji

Sposób realizacji postawionego problemu zostanie pokazany na przykładzie doboru dwóch różnych urządzeń B_j (j = 1, 2) do sześciu operacji roboczych A_i (i = 1, 2, ..., 6) na określonej grupie wyrobów a_i, których całkowita liczebność wynosi 500 sztuk (partia powtarzalna). Dane wyjściowe postawionego zadania zestawiono w tab. 1, przy czym: b_j - dysponowana moc przerobowa obrabiarki (w sztukach).

Czasy pracy C_{ij} (poszczególnych operacji A_i na określonych urządzeniach B_j) zajmują w tab. 1 wewnętrzne pozycje w górnych prawych narożach odpowiednich pól. Niewiadome liczby wyrobów x_{ij}, na których będzie wykonana operacja A_i przez grupę urządzeń B_j (np. operacja frezowania na dwóch różnych frezarkach), powinny być tak rozdzielone aby otrzymać minimalny całkowity nakład czasu pracy Z dla danej partii wyrobów. Zapisujemy je w lewych wolnych polach odpowiednich układów A_iB_j. Model matematyczny tego zadania jest następujący:

Tabela 1.

A_i \ B_j	B_1	B_2	a_i
A_1	$C_{11}=$ 4	8	60
A_2	5	10	70
A_3	7	20	90
A_4	9	24	80
A_5	20	28	90
A_6	25	32	110
b_j	300	200	500

$$Z = \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} C_{ij}\, x_{ij} \qquad [\text{ h }], \tag{1}$$

przy czym istniejące warunki ograniczające to:

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} = a_i , \tag{2}$$

$$\sum_{i=1}^{m} x_{ij} = b_j , \tag{3}$$

$$\sum_{i=1}^{n} a_i = \Sigma\, b_j . \tag{4}$$

A. METODA INTUICYJNA

Przydzielając określone liczby wyrobów x_i do poszczególnych obrabiarek wykorzystuje się w pierwszym przybliżeniu

metodę tzw. "zdrowego rozsądku". Sposób realizacji rozwiązania przedstawiono w tab. 2.

Tabela 2.

A_i \ B_j	B_1	B_2	a_i
A_1	4 $60 = x_{11}$	8	60
A_2	5 70	10	70
A_3	7 90	20	90
A_4	9 80	24	80
A_5	20	28 90	90
A_6	25	32 110	110
b_j	300	200	500

Nie stosuje się zatem żadnego modelu matematycznego ani też dokładnej metody rozwiązania. Analizuje się tylko występującą sytuację, przykładowo w danym przypadku:

- obrabiarka B_1 jest nowocześniejsza od obrabiarki B_2, czasy obróbki są na niej bowiem bezwzględnie niższe. Jeżeli będzie się zatem obrabiać największą liczbę wyrobów na tej maszynie, to należy oczekiwać najniższego całkowitego czasu pracy,
- pola z najniższymi czasami obróbki c_{ij} (tj.: 4, 5, 7, 9, ..., z pierwszej kolumny tab. 1) powinny być obsadzone najmocniej, resztę należy rozdzielić pomiędzy oba pozostałe wiersze i drugą kolumnę, tak aby wykorzystać wydajności b_j obrabiarek.

Z tabeli 2 wynika przykładowo, że na wykonanie operacji A_1 na obrabiarce B_1 potrzeba 4 jednostki czasu (w naszym

przypadku 4 godziny). Ponieważ należy obrobić 60 wyrobów, wynika stąd czas pracy 4 × 60 godzin. Podobnie należy obliczyć zapotrzebowanie na czas pracy dla innych zadań. Należy rozumieć przy tym, że na nie obsadzone pola przypada 0 wyrobów do wykonania. Dodając iloczyny w każdym wierszu, otrzymujemy nakład czasu na każdą operację i dalej funkcję celu Z (tab. 3):

Tabela 3

C_{i1}	×	x_{i1}	+	C_{i2}	×	x_{i2}			
4	×	60	+	8	×	0	=	240	godz.
5	×	70	+	10	×	0	=	350	godz.
7	×	90	+	20	×	0	=	630	godz.
9	×	80	+	24	×	0	=	720	godz.
20	×	0	+	28	×	90	=	2520	godz.
25	×	0	+	32	×	110	=	3520	godz.
						Σ	=	7980	godz.

Tym samym całkowity nakład czasu pracy wynosi 7980 godzin.

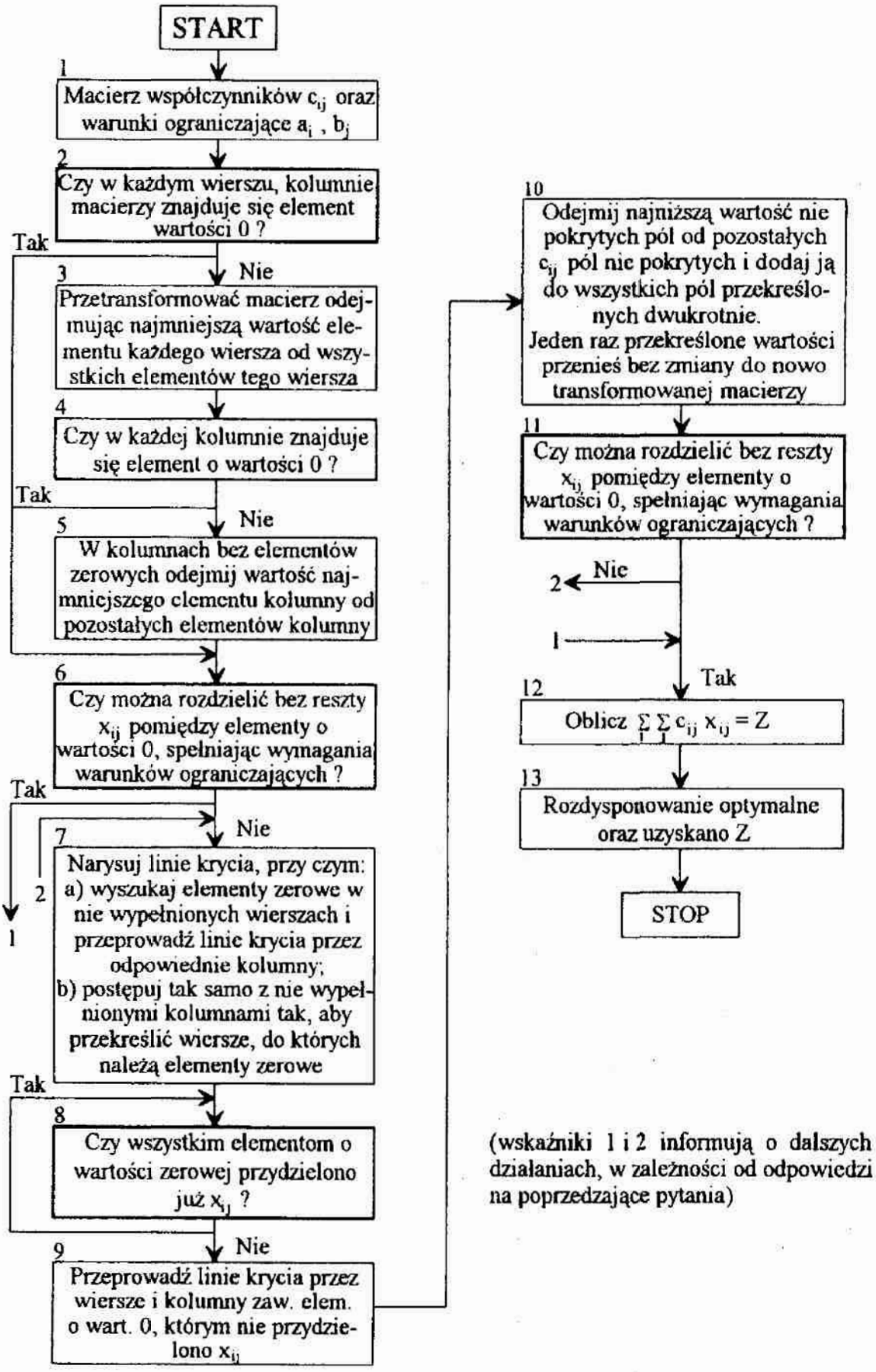
B. METODA REFLEKSYJNA - optymalizacja przy wykorzystaniu metody węgierskiej

Zagadnienie optymalizacji można i należy rozwiązywać przy użyciu elektronicznej techniki obliczeniowej. Jednakże pewne problemy decyzyjne rozwiązuje się przy użyciu obróbki ręcznej wyników - przy użyciu metod rachunkowych, zwanych ogólnie *badaniami operacyjnymi*.

W ćwiczeniu, po zapoznaniu się z tego typu badaniami (cel dydaktyczny), zaleca się wykonanie obliczeń przy użyciu techniki komputerowej - opracowując odpowiedni program.

Rozwiązanie analizowanego przykładu zostanie pokazane przy użyciu tzw. metody węgierskiej, tj. metody opierającej się na twierdzeniu udowodnionym przez D. Königa i J. Egewary'ego, będącej prostym w użyciu algorytmem rozwiązania określonych zadań optymalizacji liniowej - rys. 1.

Do rozwiązania zadania za pomocą tej metody niezbędna jest tablica współczynników. Wynika ona z tab. 1 (wartości czasów C_{ij}). Wartości te zestawiono w tab. 4.



Rys. 1. Schemat postępowania wg "Metody węgierskiej"

Tabela 4.

4	8
5	10
7	20
9	24
20	28
25	32

Tabela 5.

0	4
0	5
0	13
0	15
0	8
0	7

Wartości tych współczynników należy, zgodnie ze schematem metody węgierskiej (rys. 1), przetransformować tak, aby stworzyć elementy "0" dla każdego wiersza.

Postępowanie jest następujące: w każdym wierszu wyszukujemy liczbę o najniższej wartości i odejmujemy ją od niej samej oraz od pozostałych elementów tego wiersza. W ten sposób otrzymano tabelę 5. Ponieważ nie w każdej kolumnie zawarty jest element 0, należy z taką kolumną (w naszym przypadku z drugą) postąpić analogicznie. Od wszystkich elementów kolumny należy odjąć wartość najmniejszego elementu, tzn. 4. Pierwszą kolumnę należy przenieść przy tym do nowej tabeli bez zmian - tab. 6.

Ostatnia kolumna tab. 6 (i dalszych) przedstawia wartości danej grupy wyrobów, wzięte z tab. 1 (poz. a_i). Z kolei należy w tab. 6 uwzględnić warunki ograniczające, tzn. rozdzielić x_{ij}, wykorzystując do tego celu tylko pola z elementami 0. Rozdział ten dokonujemy dowolnie - wg naszego uznania. Wypełnienie warunków ograniczających (a_i oraz b_j) w wierszach 5 i 6 oraz kolumnie 2 jest niemożliwe. Oznaczmy to symbolem x (przyjęty bowiem przez nas rozdział prac nie bilansuje się z ilością wyrobów a_i, które mamy wykonać na danych urządzeniach).

Tabela 6 nie przedstawia zatem sobą dopuszczalnego rozwiązania optymalnego, które charakteryzuje się tym, że wszystkie x_{ij} mogą być bez reszty rozdzielone pomiędzy pola z elementami 0.

Dla metody węgierskiej typowe są linie krycia. W tym celu w wierszach, w których rachunek się nie zgadza, wyszukujemy elementy 0 (w naszym przypadku nie obciążyliśmy 0 w pierwszej kolumnie i pierwszym wierszu) i kreślimy linię krycia danego wiersza.

Tabela 6.

-	60	60
70	-	70
90	-	90
80	-	80
60	-	90x
-	-	110x
300	200 x	500

Tabela 7.

1	60	60
-	70	70
90	-	90
80	-	80
90	-	90
40	-	110x
300	200 x	500

Wyszukujemy podobnie elementy 0 w kolumnie o nie spełnionym warunku ograniczającym (kolumn takich może być więcej bowiem rozpatrywać możemy więcej urządzeń) i kreślimy linię krycia danej kolumny (w naszym przypadku - pierwszej). Uwaga: przy większych zadaniach może zajść potrzeba nakreślania dodatkowych linii dopóty, dopóki wszystkie nieobciążone elementy zerowe nie będą przekreślone.

Obecnie możemy wyróżnić w tabeli rozwiązań trzy grupy elementów :

- elementy nie przekreślone,
- elementy przekreślone jeden raz,
- elementy przekreślone dwukrotnie (na których krzyżują się linie).

Chcąc przejść do następnej tabeli rozwiązań (poszukiwać rozwiązania optymalnego) - tab. 7, należy przyjąć odmienny sposób postępowania, uzależniony od przynależności elementów do danej grupy. W pierwszej kolejności zajmijmy się elementami nie przekreślonymi. Należy wśród nich wyszukać element o najniższej wartości (w tab. 6 takim elementem jest 1). Trzeba tę wartość odjąć od wszystkich elementów danej grupy (w naszym przypadku - kolumna 2). Otrzymamy w ten sposób w drugiej kolumnie, poczynając od drugiego wiersza, następujące wartości: 0, 8, 10, 3, 2. Elementy te przenosimy do tabeli 7.

Lewe górne pole w tab. 6 jest przekreślone na krzyż (lub podwójnie). W tym przypadku do istniejącej wartości 0 należy

dodać wartość odejmowaną poprzednio od elementów nie przekreślonych. Dostaniemy zatem nową wartość dla tego pola - liczbę 1 (porównaj tab. 7).

Należy teraz przydzielić elementom zerowym wartość x_{ij} w sposób analogiczny do przypadku analizowanego w tab. 6. Wartość 70 przydzielamy elementowi 0 z drugiej kolumny, oszczędzając w ten sposób moc przerobową obrabiarki B_1, na operację 5 (A_5) i szóstą (A_6).

Jak widać z tab. 7, przyjęty przez nas rozdział wartości x_{ij} nie bilansuje się z warunkami ograniczającymi. Oznaczymy je podobnie znakiem x (kolumna 2 i wiersz 6). Widać również, że i w tym przypadku nie osiągnęliśmy rozwiązania optymalnego.

Przekształćmy zatem tab. 7 w identyczny sposób jeszcze raz, aby dojść do nowego lub innego rozkładu elementów 0. Wobec tego, w drugiej kolumnie najmniejszą wartością jest 2. Należy ją zatem odjąć od niej samej i od pozostałych elementów tej kolumny. W kolumnie pierwszej musimy natomiast do elementów przekreślonych na krzyż dodać tę wartość. Otrzymamy w ten sposób tab. 8.

Tabela 8.

3	0	
-	60	60
2	0	
-	70	70
0	6	
90	-	90
0	9	
80	-	80
0	1	
90	-	90
0	0	
40	70	110
300	200	500

Rozdzielając wartości x_{ij} w powyższy sposób uzyskaliśmy zbilansowanie się ich z warunkami ograniczającymi, znaleźliśmy zatem optymalne rozwiązanie postawionego zadania. Nanieśmy wobec powyższego przyjęty w tab. 8 układ wartości x_{ij} na tabelę 1. Otrzymaliśmy w ten sposób tabelę 9.

Tabela 9.

A_i \ B_j	B_1	B_2	a_i
A_1	4	8	60
		60	
A_2	5	10	70
		70	
A_3	7	20	90
	90		
A_4	9	24	80
	80		
A_5	20	28	90
	90		
A_6	25	32	110
	40	70	
b_j	300	200	500

Porównanie tabeli 9 z tabelą 2 wykazuje, że metoda węgierska dała inne rozwiązanie niż to, które uzyskano korzystając z metody intuicyjnej. Pozornie wydaje się, że wynik uzyskany metodą węgierską jest mniej korzystny od poprzedniego. Pola z najniższymi wartościami C_{ij} (A_1B_1 z wartością 4 i A_2B_2 z wartością 5) intuicyjnie określone jako szczególnie korzystne, w rozwiązaniu analitycznym nie zostały nawet uwzględnione. Obliczmy zatem dokładną wartość funkcji celu, posługując się danymi z tab. 9. Otrzymany wynik podaje tabela 10.

Tabela 10.

4	×	0	+	8	×	60	=	480 godz.
5	×	0	+	10	×	700	=	700 godz.
7	×	90	+	20	×	0	=	630 godz.
9	×	80	+	24	×	0	=	720 godz.
20	×	90	+	28	×	0	=	1800 godz.
25	×	40	+	32	×	70	=	3240 godz.
						Σ	=	7570 godz.

Okazuje się, że dokładny wynik ustalony za pomocą metody węgierskiej, jest niższy o 410 roboczogodzin. Można było zatem przy wykorzystaniu metody analitycznej obniżyć nakłady czasu pracy o około 5 % .

Przy wykonywaniu "ręcznym" obliczeń, uzyskany wynik nie jest bardzo atrakcyjny. Straciliśmy bowiem sporo czasu na jego pozyskanie. Przy posiadaniu odpowiedniego programu komputerowego cały proces analizy trwałby kilka minut, a co istotniejsze, pozwalałby na symulację różnych układów. Godne jest więc do zalecenia opracowanie przez studenta takiego programu i próba symulacji różnych układów (ilości obrabiarek, ich mocy przerobowej, ilości prac do wykonania oraz ich pracochłonności.

5.Tok postępowania

Do podanej przez prowadzącego liczby obrabiarek B_j oraz ilości wykonywanych na nich zadań (jeżeli nie podano, to: $B_j = 2$ oraz $A_i = 7$), opracować tabelę danych, przyjmując dowolne czasy pracy C_{ij} dla poszczególnych zadań na danej obrabiarce. Ponadto, w tabeli danych należy określić liczbę wyrobów a_i, na których będzie wykonywane zadanie A_i oraz dysponowaną moc przerobową obrabiarki b_j. Spełnione przy tym winno być ograniczenie zgodności zdolności produkcyjnej obrabiarek oraz liczby wyrobów przeznaczonych do obróbki (suma b_j równa sumie a_i).

Jeżeli w danym zadaniu warunek ten nie jest spełniony, należy doprowadzić do zgodności, wprowadzając do tabeli danych dodatkowy wiersz z fikcyjnym wpływem lub dodatkową kolumnę z fikcyjnym zapotrzebowaniem. Przyjmijmy przykładowo, że zdolności produkcyjne obrabiarek są wyższe od zapotrzebowania na obróbkę danej liczby wyrobów (tzn. suma b_j jest większa od sumy a_i). Nadmiar ten może być wykazany w dodatkowym wierszu jako potencjał wolny (rezerwowy), który może być wykorzystany np. do obróbki jakiejś innej grupy wyrobów. Czasy obróbki C_{ij} dla tego wiersza należy przyjąć zerowe (tj. $C_{ij} = 0$). Ponieważ mnożenie pozostałych x_{ij} (liczby wyrobów) przez $C_{ij} = 0$ zawsze da 0, nie wpłynie to tym samym na wartość funkcji celu Z.

Po sporządzeniu tabeli danych, należy rozwiązać postawione zadanie metodą intuicyjną oraz metodą węgierską.

6. Sprawozdanie

W sprawozdaniu należy podać treść zadania, które zostało zlecone do rozpracowania, sporządzoną tabelę danych oraz kolejne tabele rozwiązań metodą intuicyjną oraz metodą węgierską (w przypadku opracowania programu komputerowego pożądany jest wydruk programu). Do każdej metody należy dokonać obliczenia wartości funkcji celu Z. Sprawozdanie winno się kończyć porównaniem wyników oraz wynikającymi stąd wnioskami.

7. Literatura

1. Göttner R.: Badania operacyjne. PWE, Warszawa 1975 r.

Ćwiczenie 13

Temat: PLANOWANIE EKSPERYMENTU W BADANIACH EKSPLOATACYJNYCH

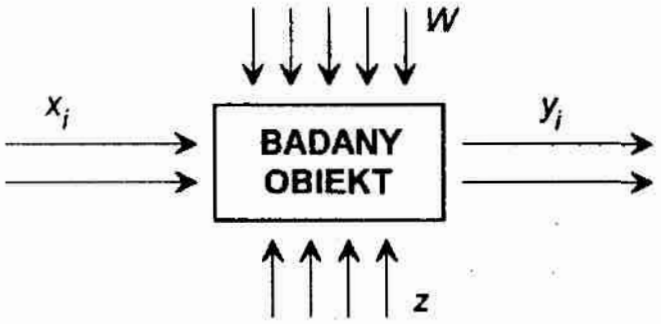
1. Wprowadzenie

Zadanie podejmowania decyzji eksploatacyjnych na podstawie modeli analitycznych i ich optymalizacja, wymaga przejścia od szczegółowych doświadczalnych zależności i związków, do zbudowania ogólnego modelu matematycznego procesu, uwzględniającego jego złożoność i wzajemne uwarunkowania.

Jaką drogą należy iść, aby osiągnąć zamierzony cel? Możliwe są dwa różne podejścia do badania. Można wszechstronnie badać mechanizm procesów zużycia i właściwości zastosowanych materiałów. Opierając się na wynikach takich badań, można budować teorię procesu z pomocą której, będzie się rozwiązywać wszystkie szczegółowe zadania, w tym również i zadanie optymalizacji. Takie podejście jest praktycznie niewykonalne, ponieważ złożoność występujących związków nie pozwala na określenie ich w możliwym do przyjęcia czasie. Przesądza to o konieczności wykorzystania metod statystyki matematycznej i matematycznej teorii eksperymentu.

Badania (eksperymenty) można realizować tradycyjnie, tj. zmieniając wartości jednego z parametrów wejściowych (przy ustalonych innych parametrach) obserwować zmiany parametru wyjściowego - będącego parametrem diagnostycznym badanego obiektu. Działanie takie staje się jednak nieracjonalne i nieefektywne, kiedy w grę wchodzi możliwość sterowania kilkoma parametrami wejściowymi lub występuje łączne oddziaływanie tych parametrów na właściwości eksploatacyjne obiektu. Badania eksploatacyjne muszą być takich przypadkach odpowiednio zaplanowane. Należy je prowadzić zgodnie z odpowiednimi procedurami postępowania w tym względzie [1], [2].

Planowanie eksperymentu, rozpatrywane jako jeden z kierunków cybernetyki, definiuje się jako optymalne kierowanie eksperymentem przy niepełnej znajomości mechanizmów zachodzących zjawisk. Podstawą takiego podejścia jest cybernetyczna zasada "czarnej skrzynki", która jest systemem związków niedostępnych do obserwacji - rys.1.



Rys. 1. "Czarna skrzynka":
$x_1, \ldots, x_n$ - *wielkości wejściowe mierzalne i sterowalne,*
$W_1, \ldots, W_j$ - *wielkości wejściowe mierzalne ale niesterowalne,*
$z_1, \ldots, z_m$ - *zakłócenia,*
$y_1, \ldots, y_k$ - *wyjścia*

O zawartości "czarnej skrzynki" tzn. o mechanizmie procesu nic nam nie wiadomo, lub wiadomo niewiele. Znane są tylko wejścia "skrzynki" - zmienne uczestniczące w procesie, i wyjścia, które stanowią rezultat przebiegu procesu. Zmieniając parametry wejściowe, można obserwować, jak się będą zmieniały wyjścia i wybrać ze wszystkich możliwych kombinacji zmiennych wejściowych taką, która zabezpieczy np. maksymalną trwałość lub wydajność i to we wzajemnych współzależnościach między zmiennymi wejściowymi.

Przewodnia myśl stosowania planowania eksperymentu w takich badaniach opiera się na tym, że teoria eksperymentu daje optymalny plan badania "czarnej skrzynki". Plan ten przewiduje nie tylko najszybszą drogę optymalizacji zmiennych wejściowych, ale również otrzymanie matematycznego modelu procesu. Model ten może służyć do badania procesów i sterowania nimi.

Planowanie doświadczeń daje badaczowi matematycznie uzasadniony schemat operacji logicznych, zmieniając jego poglądy i sposób podejścia do doświadczenia. Takie nowe podejście pozwala otrzymać zupełnie nowe rezultaty. Unika się

subiektywizmu przy rozwiązywaniu zagadnień doświadczalnych i podczas analizy wyników badań. Zamiast tradycyjnego doświadczenia jednoczynnikowego, w którym kolejno zmienia się tylko jeden czynnik i w którym główną troską badacza jest ustalenie wszystkich innych czynników na stałym poziomie, zaleca się zmieniać jednocześnie wszystkie badane czynniki zgodnie z określonym wcześniej planem doświadczeń. Otrzymuje się tym samym bardziej wiarygodne zależności, które uwzględniają wzajemny wpływ różnych czynników na siebie.

2. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z metodyką planowania doświadczeń eksploatacyjnych, matematycznym opracowywaniem wyników badań oraz techniką wykorzystywania uzyskanych informacji w optymalnym wykorzystywaniu różnych obiektów.

3. Dane wyjściowe

Dany jest obiekt (urządzenie, proces itp.) o dwóch parametrach wejściowych (mierzalnych i sterowalnych). Określić powiązanie parametru wyjściowego obiektu (parametru diagnostycznego) z tymi parametrami, korzystając z matematycznego planowania doświadczeń. Określić optymalne wartości parametrów wejściowych dla danej sytuacji eksploatacyjnej.

4. Sposób realizacji

Sposób realizacji takiego zadania zostanie pokazany na przykładzie badania wydajności rzeczywistej Q_r [l/min] wielotłokowej pompy osiowej, zamontowanej w pewnym układzie roboczym. Wymagana wydajność pompy wynosiła 40 l/min przy ciśnieniu roboczym 20 MPa. Parametrami sterowalnymi (i mierzalnymi) tej pompy są:

- obroty wirnika pompy n [obr/min],
- kąt wychylenia wirnika g [° - stopnie].

Możliwe zakresy zmienności tych parametrów to:

$$700 \leq n \leq 2200 \quad \text{[obr/min]},$$
$$5 \leq g \leq 25 \quad [°].$$

Poszukujemy modelu matematycznego opisującego związek:

$$Q_r = f(n)\, f(g)\,, \qquad (1)$$

gdzie: Q_r - jest funkcją celu badanego obiektu (kryterium jego efektywności), parametrem wyjściowym podlegającym optymalizacji.

Inne parametry wyjściowe tego obiektu należy więc traktować jako pewne ograniczenia (więzy silne lub słabe) funkcji celu Q_r.

Właściwości tego obiektu można opisywać wieloma różnymi funkcjami (modelem matematycznym), ale tylko jedna z nich jest dla danego przypadku najbardziej adekwatna (wyprowadzony model matematyczny najdokładniej opisuje rzeczywistość). W literaturze dotyczącej opracowywania wyników badań np. [1], [2], istnieją zalecenia odnośnie wyboru odpowiedniego modelu matematycznego do określonych przypadków i sprawdzania stopnia jego adekwatności. Ogólnie można tu tylko powiedzieć, że należy wychodzić z pewnych przewidywań teoretycznych lub badań rozpoznawczych, a stopień zgodności modelu z rzeczywistością weryfikuje się na ogół metodą najmniejszych kwadratów.

Należy tu zaznaczyć ponadto, że wyprowadzone równanie matematyczne opisuje rzeczywistość tylko w zakresie zmienności parametrów, w którym było wyznaczane i nie można je stosować poza tym zakresem.

Załóżmy, że (w analizowanym przez nas przypadku badania pompy o wydajności rzeczywistej Q_r) najbardziej adekwatnym modelem opisującym związki wyrażone równaniem (1), będzie funkcja wykładnicza w postaci:

$$Q_r = C\, n^r\, g^p\,, \qquad (2)$$

przy czym: C - współczynnik poprawkowy,
r, p - wykładniki potęgowe, wyrażające "siłę" wpływu badanych parametrów na parametr wyjściowy.

Funkcja ta jest nieliniowa, ale łatwo można ją sprowadzić do postaci liniowej, tj. funkcji regresji drugiego rodzaju, przez proste przekształcenie liniowe (logarytmowanie). Wprowadźmy zatem nowe zmienne:

$$\acute{y} = \lg Q_r, \quad x_1 = \lg n, \quad x_2 = \lg g\ , \tag{3}$$

$$\Theta_0 = \lg C, \quad \Theta_1 = r, \quad \Theta_2 = p\ . \tag{4}$$

Wprowadzenie takich nowych zmiennych sprowadza zależność (2) do postaci liniowej - opisywanej ogólną funkcją regresji (5):

$$\acute{y} = \Theta_0 + \Theta_1 x_1 + \Theta_2 x_2\ . \tag{5}$$

Badania doświadczalne powinny zatem dostarczyć informacji o wartościach: Θ_0, Θ_1, Θ_2 przyjętego modelu, a odpowiedni plan doświadczeń winien być przepisem wyboru punktów pomiarowych (na zmiennych wejściowych), w których takie badania zostaną dokonane.

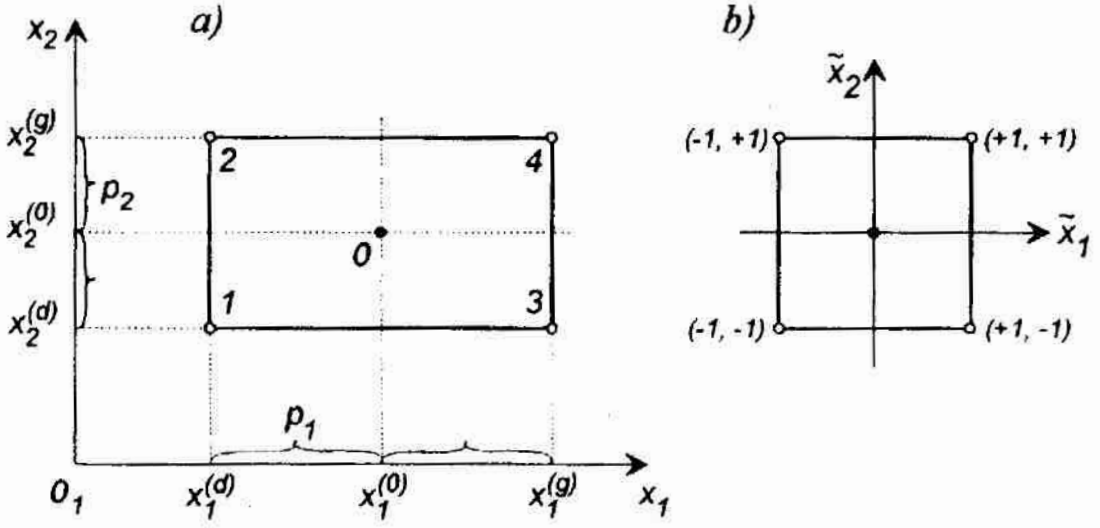
Ponieważ mamy dwa zmienne parametry: n oraz g, zastosujemy plan doświadczeń 2^2 (mogą być stosowane plany przy różnej ilości zmiennych wejściowych [2], [3]).

Pierwszy etap planowania doświadczeń polega na wyborze punktów pomiarowych dla zmiennych wejściowych. Zależałoby nam, aby wyprowadzone równanie obejmowało cały zakres zmienności badanych parametrów. Wobec powyższego, dla dowolnego parametru górny punkt pomiarowy x_i^g winien odpowiadać (lub być blisko) maksymalnej wartości tego parametru (x_{max}), a dolny x_i^d minimalnej wartości tego parametru. Z techniki planowania badań wynika, że pomiędzy punktem dolnym a górnym winien znajdować się jeszcze jeden punkt pomiarowy, nazywany centralnym x_i^o, według którego symetrycznie rozłożone są punkty graniczne (rys. 2).

Tak więc, dla danego parametru x, wystarczy dokonać badań w trzech punktach:
- punkcie centralnym x_i^o ,
- punkcie górnym $x_i^g = x_i^o + p_i$,
- punkcie dolnym $x_i^d = x_i^o - p_i$.

Z założenia wiemy, że punkt centralny jest symetrycznie położony względem punktów granicznych, wobec czego istnieje zależność, że punkt centralny jest średnią geometryczną z punktów granicznych tj.:

$$x_i^o = \sqrt{x_i^d \cdot x_i^g}\ ; \tag{6}$$



Rys. 2. Geometryczna interpretacja pełnego planu doświadczeń typu 2^2; b) zapis symboliczny punktów pomiarowych

Jest to wymóg konieczny takiego dobierania punktu centralnego przy wykonywaniu doświadczeń zgodnie z planem badań.

Dla wygody zapisu i łatwiejszych obliczeń, punkt centralny przyjmujemy jako punkt zerowy "0". Wobec powyższego, dolny punkt pomiarowy przyjmie wartość "-1", a górny, wartość "+1" (wynika to z przejścia ze współrzędnych naturalnych do współrzędnych względnych, poprzez zastosowanie układu odniesienia np. dla punktu dolnego:

$$\frac{x_i^o - p_i}{p_i}$$

i w analogiczny sposób do górnego).

Przy takim planie badań, aby uwzględnić cały zakres zmienności parametrów wystarczy (i należy) przeprowadzić badania w dziewięciu punktach pomiarowych, tj.:

- we współrzędnych naturalnych:

$$\begin{vmatrix} (x_1^d\ x_2^d) & (x_1^d\ x_2^o) & (x_1^d\ x_2^g) \\ (x_1^o\ x_2^d) & (x_1^o\ x_2^o) & (x_1^o\ x_2^g) \\ (x_1^g\ x_2^d) & (x_1^g\ x_2^o) & (x_1^g\ x_2^g) \end{vmatrix},$$

- lub we współrzędnych względnych:

$$\begin{vmatrix} (-1\ \ -1) & (-1\ \ 0) & (-1\ \ +1) \\ (\ 0\ \ -1) & (\ 0\ \ 0) & (\ 0\ \ +1) \\ (+1\ \ -1) & (+1\ \ 0) & (+1\ \ +1) \end{vmatrix}$$

W tych punktach możemy dokonać pojedynczego pomiaru, względnie też (dla zwiększenia dokładności wyników) kilka lub kilkanaście pomiarów i do obliczeń wykorzystywać średnią arytmetyczną z tych wyników. Uzyskujemy w ten sposób macierz X ortogonalnego planu badań, pomocną do wyznaczenia wartości a_0, a_1, a_2 funkcji regresji drugiego rodzaju, opisanej wzorem ogólnym (5).

$$X = \begin{Vmatrix} +1 & -1 & -1 \\ +1 & -1 & 0 \\ +1 & -1 & +1 \\ +1 & 0 & -1 \\ +1 & 0 & 0 \\ +1 & 0 & +1 \\ +1 & +1 & -1 \\ +1 & +1 & 0 \\ +1 & +1 & +1 \end{Vmatrix}$$

Z odpowiednich przekształceń, których tutaj nie przytoczono (patrz [2]), uzyskuje się wzory na wartości x_1 oraz x_2 do równania podstawowego (5). Wzory te mają postać: (w wersji szczegółowej, dotyczącej analizowanych parametrów n, g):

$$x_1 = \frac{2(\ln n - \ln n_3)}{\ln n_3 - \ln n_1} + 1 , \qquad (7)$$

oraz

$$x_2 = \frac{2(\ln g - \ln g_3)}{\ln g_3 - \ln g_1} + 1 , \qquad (8)$$

przy czym: indeks 1 - odpowiada dolnemu punktowi pomiarowemu danego parametru, a indeks 3 - górnemu punktowi pomiarowemu.

Poszukiwane wartości Θ_0, Θ_1, Θ_2 do tego równania szczegółowego (5) uzyskuje się z macierzy planowania X oraz zmierzonej wartości Y parametru wyjściowego w punktach pomiarowych (czyli zlogarytmowanej wartości Q_r). Korzystamy przy tym z zależności (9), (10) i (11):

$$\Theta_0 = \frac{\Sigma(x_0 Y)}{\Sigma x_0^2} , \qquad (9)$$

$$\Theta_1 = \frac{\Sigma(x_1 Y)}{\Sigma x_1^2} , \qquad (10)$$

$$\Theta_2 = \frac{\Sigma(x_2 Y)}{\Sigma x_2^2} \quad (11)$$

Macierz planowania wraz z punktami pomiarowymi i wynikami badań oraz wykonanymi przeliczeniami, dotyczącymi omawianego przykładu, podano w tabeli 1.

Tabela 1.

L.p	n [obr/min]	g [o]	Q_r [l/min]	x_o	x_1	x_2	$x_o \times x_1$	$x_o \times x_2$	$x_1 \times x_2$	$Y = lgQ_r$	$X_1 \times Y$	$X_2 \times Y$
1	700.00	5.00	2.00	+ 1	- 1	- 1	- 1	- 1	+ 1	0.30	- 0.30	- 0.30
2	700.00	11.00	11.00	+ 1	- 1	0	- 1	0	0	1.04	- 1.04	0.00
3	700.00	25.00	30.00	+ 1	- 1	+ 1	- 1	+ 1	- 1	1.48	- 0.48	+ 1.48
4	1240.00	5.00	6.00	+ 1	0	- 1	0	- 1	0	0.78	0.00	- 0.78
5	1240.00	11.00	30.00	+ 1	0	0	0	0	0	1.48	0.00	0.00
6	1240.00	25.00	60.00	+ 1	0	+ 1	0	+ 1	0	1.75	0.00	+ 1.78
7	2200.00	5.00	11.00	+ 1	+ 1	- 1	+ 1	- 1	- 1	1.04	+ 1.04	- 1.04
8	2200.00	11.00	50.00	+ 1	+ 1	0	+ 1	0	0	1.70	+ 1.70	0.00
9	2200.00	25.00	90.00	+ 1	+ 1	+ 1	+ 1	+ 1	+ 1	1.95	+ 1.95	+ 1.95
			SUMA:	9	0	0	0	0	0	11.55	1.88	3.09

Z powyższej tabeli wynika, że:

$$\Sigma x_o^2 = 9, \qquad \Sigma x_1^2 = 6, \qquad \Sigma x_2^2 = 6.$$

Podstawiając odpowiednie wartości do wzoru (7) otrzymano:

$$x_1 = \frac{2(\lg n - \lg 2200)}{\lg 2200 - \lg 700} + 1 = \frac{2(\lg n - 3,342)}{3,342 - 2,845} + 1 =$$

$$= 4,024 \lg n - 13,449 + 1 = 4,024 \lg n - 12,449 ,$$

natomiast po podstawieniu danych do wzoru (8) mamy:

$$x_2 = \frac{2(\lg g - \lg 25)}{\lg 25 - \lg 5} + 1 = \frac{2(\lg g - 1,4)}{1,4 - 0,7} + 1 = 2,86 \lg g - 3 .$$

Dane z tabeli 1 podstawione do wzorów (9), (10), (11) pozwalają obliczyć opisane nimi zależności:

$$\Theta_0 = \frac{11,55}{9} = 1,283 , \quad \Theta_1 = \frac{1,88}{6} = 0,313 , \quad \Theta_2 = \frac{3,09}{6} = 0,515.$$

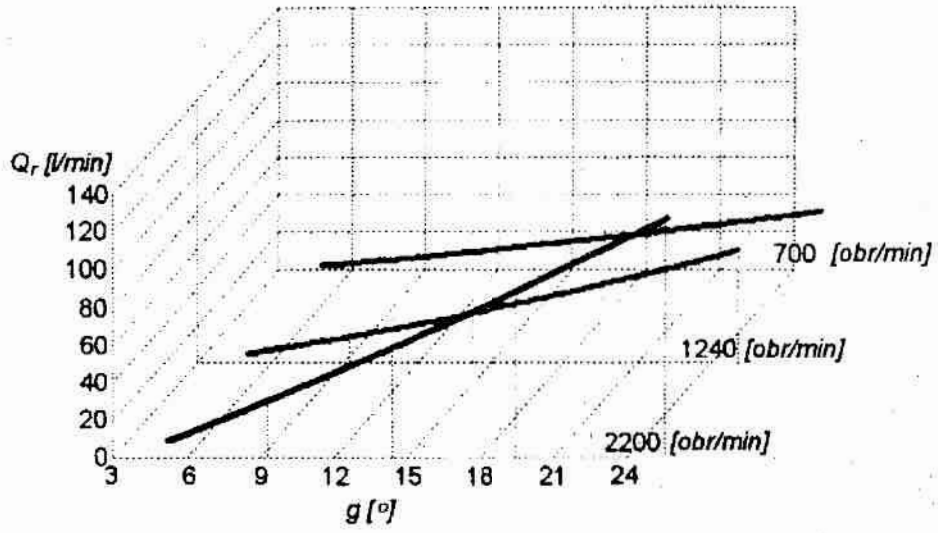
Wobec powyższego, funkcja regresji drugiego rodzaju, będąca modelem matematycznym badanej rzeczywistości, ma postać:

$$\dot{y} = 1{,}283 + 0{,}313(4{,}024\lg n - 12{,}449) + 0{,}515(2{,}86\lg g - 3) =$$
$$= 1{,}283 + 1{,}26\lg n - 3{,}9 + 1{,}47\lg g - 1{,}545 =$$
$$= -4{,}162 + 1{,}26\lg n + 1{,}47\lg g ,$$

która, po doprowadzeniu do postaci pierwotnej (czyli odwróceniu działań na równaniu (2) daje ostateczną postać związku matematycznego, opisującego zależność parametru wyjściowego (Q_r) od parametrów wejściowych (n) oraz (g).

$$Q_r = 6{,}9 \times 10^{-5}\, n^{1{,}26}\, g^{1{,}47} .$$

Graficzny obraz tej zależności pokazano na rys. 3.

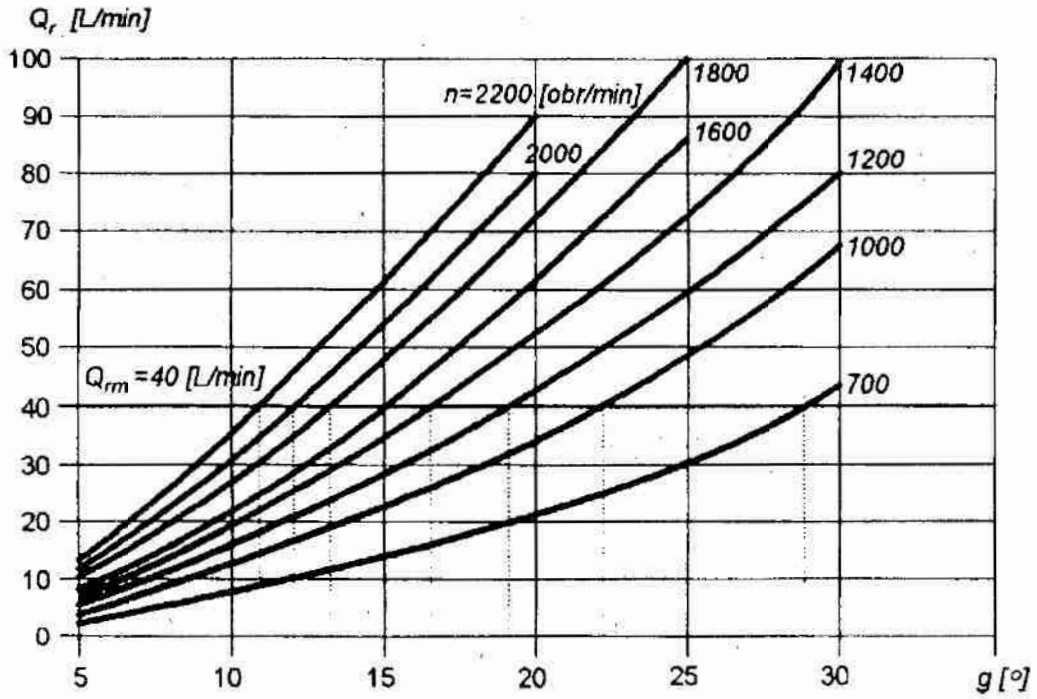


Rys. 3. Zależność wydajności rzeczywistej Q_r pompy osiowej od jej prędkości obrotowej n oraz kąta wychylenia wirnika g

Otrzymana zależność wskazuje, że rzeczywista wydajność badanej pompy, silniej zależy od zmiany kąta wychylenia wirnika g niż od jej obrotów (wyższy wykładnik przy g niż przy n).

Zależność ta jest podstawą prac optymalizacyjnych przy wykorzystywaniu tej pompy w układzie roboczym. Taką samą wydajność pompy można uzyskać przy bardzo wielu układach parametrów n oraz g. Gdybyśmy chcieli uzyskać linię stałej wartości Q_r (izolinię tego parametru), np. odpowiadającą zapotrzebowaniu układu roboczego na wydajność pompy

Q_r = 40 l/min, można to uzyskać graficznie w ten sposób, że wykreślamy wykres otrzymanej funkcji we współrzędnych: parametr wyjściowy i jeden z parametrów wejściowych - rys. 4.

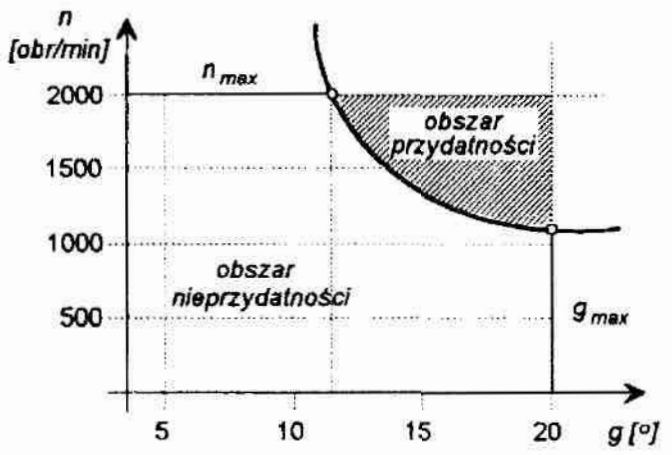


Rys. 4. Zależność wydajności rzeczywistej Q_r pompy od jej parametrów wejściowych n oraz g wraz z zaznaczoną linią wydajności operacyjnej Q_{rm} = 40 l/min

Linia Q_{rm} wyznacza nam zestawy (układy) parametrów wejściowych, odpowiadających żądanej wartości parametru wyjściowego. Wykres ten, narysowany w innym układzie współrzędnych, tj. w układzie parametrów wyjściowych n oraz g, pokazuje linię stałej wydajności pompy, odpowiadającej zapotrzebowaniu układu roboczego (należy punkty przecięcia się linii Q_{rm} przenieść na współrzędne n, g). Otrzymany po takim działaniu wykres pokazano na rys. 5.

Poniżej izolinii Q_{rm} znajduje się obszar nieprzydatności tej pompy dla badanego układu roboczego, powyżej - obszar przydatności. Na obszar ten mogą być jednak nałożone różne inne ograniczenia (więzy silne lub słabe) zmniejszające zakres możliwych zmian parametrów wejściowych. Załóżmy, że występują tu takie ograniczenia:

- obroty pompy ze względu na drgania nie mogą przekraczać n_{max} = 2000 obr/min,
- kąt wychylenia wirnika pompy nie powinien być większy niż g_{max} = 20 stopni.



Rys. 5. Obszary wyznaczające zakresy przydatności i nieprzydatności badanych parametrów pompy osiowej dla założonej wydajności Q_{rm}

Postawione ograniczenia pokazano na rys. 5. Wyznaczyły one obszar możliwych wartości parametrów wejściowych badanego obiektu (zakreskowane pole), spełniających funkcję celu.

5. Tok postępowania

1) Przyjąć, że celem prowadzonych badań jest maksymalizacja wydajności objętościowej Q_v procesu toczenia wałka stalowego o średnicy 100 mm, w funkcji mierzalnych i sterowalnych parametrów obróbki: posuwu p oraz prędkości skrawania v. Głębokość skrawania, wynosząca 1 mm, była parametrem mierzalnym ale niesterowalnym.

2) Założyć zakresy zmienności badanych parametrów p oraz v. **Uwaga:** *praktycznie stosowane wartości tych parametrów przy toczeniu wałka stalowego nożami z płytkami z węglików spiekanych zawierają się w granicach:* $p = 0{,}25 \div 2{,}0$ *(mm/obr) oraz* $v = 60 \div 260$ *(m/min). Odpowiedni dobór tych parametrów winien prowadzić do maksymalizacji* Q_v *przy występujących (założonych) ograniczeniach: posuwu ze względu na chropowatość powierzchni oraz prędkości skrawania v ze względu na dysponowaną moc obrabiarki.*

3) Założyć liniową postać modelu matematycznego, opisującego związek parametru wyjściowego procesu z parametrami wejściowymi: $Q_v = C\,p\,v$, gdzie C - stała,

ujmująca wpływ innych wielkości procesu skrawania na wydajność objętościową obróbki.

4) Zastosować matematyczne planowanie badań typu 2^2 - dobrać punkty pomiarowe.

5) Opracować tabelę danych: przy opracowaniu tabeli danych należy obliczyć teoretyczną wydajność objętościową Q_v w przyjętych punktach pomiarowych (przy danych wartościach p oraz v), korzystając z zależności, że $Q_v = p\ g\ n$, gdzie: g - głębokość skrawania, a n - obroty, będące funkcją założonej prędkości skrawania v. Przed wstawieniem obliczonej wartości do tabeli danych, zmniejszyć ją o kilka lub kilkanaście procent (symulując tym wpływy rzeczywistych oddziaływań w procesie skrawania) - zestawić tabelę z macierzą planowania i wynikami obliczeń.

6) Obliczyć model matematyczny opisujący związek parametru Q_v oraz parametrów p, v.

7) Przyjąć maksymalny dopuszczalny poziom wydajności $Q_v = Q_{vm}$, który nie powinien być przekraczany ze względu na przyspieszone zużycie się narzędzia.

8) Wykreślić izolinię wydajności Q_{vm} i określić obszar optymalnych zestawów badanych parametrów przez nałożenie na otrzymany wykres założonych ograniczeń procesu.

9) Podać wnioski dotyczące optymalnych wartości badanych parametrów dla rozpatrywanego procesu.

6. Sprawozdanie

W sprawozdaniu podać treść zadania, które należy wykonać, tabelę danych i tabelę z macierzą planowania, wszystkie obliczenia, wykresy i wnioski końcowe.

7. Literatura

1. Kacew P.G.: Kontrola narzędzi skrawających metodami statystycznymi. WNT, Warszawa 1978 r.
2. Kacprzyński B.: Planowanie eksperymentów. Podstawy matematyczne. WNT, Warszawa 1974 r.

Ćwiczenie 14

Temat: ROZWIĄZYWANIE PROBLEMÓW EKSPLOATACYJNYCH PRZY POMOCY METOD PROGRAMOWANIA LINIOWEGO

1. Wprowadzenie

Programowanie liniowe jest jedną z metod badań operacyjnych, której stosowanie może w znacznym stopniu ułatwić podejmowanie wielu decyzji. Metody programowania liniowego pozwalają rozwiązywać te modele decyzyjne, w których występuje model matematyczny opisany zbiorem równań liniowych. W eksploatacji systemów technicznych istnieje wiele sytuacji, które dają się opisać przy użyciu zależności liniowych. W związku z tym, programowanie liniowe stosuje się do rozwiązywania następujących problemów:

A. Programowanie produkcji, gdzie uwzględniając posiadane zasoby surowców, energii, moc produkcyjną zakładu itp. określamy optymalną wielkość produkcji poszczególnych wyrobów. Ograniczeniami w tym modelu są zasoby surowców, dysponowane moce produkcyjne maszyn i urządzeń, siła robocza, możliwości energetyczne itp. Funkcję celu stanowić mogą koszty produkcji, zużycie czasu, materiałów, zysk, wielkość zbytu itp. Programowanie produkcji stanowi przykład najbardziej ogólnego przypadku programowania liniowego.

B. Zagadnienia transportowe, w których określamy z jakich punktów wysyłki zaopatrywać punkty odbioru, aby koszt transportu osiągnął minimalną wartość. Ograniczeniami są wielkości zasobów posiadanych przez poszczególne punkty wysyłki oraz wielkości zapotrzebowań zgłoszone przez punkty odbioru. Funkcją celu jest koszt całego przedsięwzięcia transportowego.

C. Problem mieszanki (diety), gdzie określamy konieczną ilość posiadanych składników tak, aby przy najniższym koszcie dostarczyć wymaganych ilości czynników podstawowych.

Ograniczeniami są tutaj składy i posiadane ilości składników oraz wymagane do dostarczenia ilości czynników podstawowych. Celem jest minimalny koszt.

D. Problem rozdziału robót, w którym określamy jak rozdzielić obrabiane przedmioty pomiędzy robotników, tak aby łączny czas ich pracy był jak najmniejszy. Czasy wykonania przedmiotu przez różnych robotników są różne.

2. Ogólny problem programowania liniowego

Rozwiązanie problemu programowania linowego polega na znalezieniu takich wartości zmiennych x_1, x_2, x_3, ..., x_n, które wyznaczają ekstremum funkcji celu Q,

$$Q = c_1x_1 + c_2x_2 + c_3x_3 + \ldots + c_nx_n , \qquad (1)$$

spełniając warunki ograniczające:

$$\begin{aligned} &a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 + \ldots + a_{1n}x_n \le b_1 \\ &a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 + \ldots + a_{2n}x_n \ge b_2 \\ &\cdot \\ &\cdot \\ &\cdot \\ &a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + a_{m3}x_3 + \ldots + a_{mn}x_n = b_m , \end{aligned} \qquad (2)$$

oraz warunki brzegowe:

$$x_j \ge 0 \qquad \text{dla} \qquad j = 1, 2, 3, \ldots, n , \qquad (3)$$

gdzie: $x_1, x_2, \ldots, x_j, \ldots, x_n$ - zbiór zmiennych decyzyjnych o nieznanych wartościach,

a_{ij}, b_i, c_i - zadane wartości liczbowe,

Rozwiązaniem dopuszczalnym zagadnienia programowania liniowego nazywamy każdy wektor X, który spełnia warunki (2) i (3).

Bazowym rozwiązaniem nazywa się takie rozwiązanie dopuszczalne $\vec{X}$, którego nie więcej niż m składowych jest większych od zera, a pozostałe są równe zeru.

$$\vec{X} = \{x_1, x_2, \ldots, x_k, 0, 0, \ldots, 0\}; \qquad k \leq m, \qquad (4)$$

m - liczba nierówności (ograniczeń modelu).

Rozwiązanie bazowe niezdegenerowane to rozwiązanie, które posiada dokładnie m współrzędnych większych od zera, a pozostałe równe zeru:

$$\vec{X} = \{x_1, x_2, \ldots, x_k, 0, 0, \ldots, 0\} .$$

Rozwiązaniem optymalnym programowania linowego jest rozwiązanie dopuszczalne bazowe, wyznaczające ekstremum funkcji celu Q. Jeżeli funkcja Q przyjmuje wartość maksymalną więcej niż w jednym punkcie wierzchołkowym, to przyjmuje tę samą wartość dla każdej kombinacji liniowej tych punktów.

3. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z metodyką rozwiązywania problemów eksploatacyjnych (zagadnienia transportowego) przy pomocy graficznej metody programowania linowego.

Metodą graficzną można się posługiwać, gdy w postawionym do rozwiązania problemie mamy dwie zmienne decyzyjne. W tym przypadku wszystkie ograniczenia oraz funkcję celu możemy przedstawić w postaci prostych na płaszczyźnie.

4. Dane wyjściowe

Przedsiębiorstwo transportowe obsługuje między innymi kolejowy punkt wyładunku materiałów budowlanych, rezerwując w tym celu pewną liczbę pojazdów [2]. Ile i jakich pojazdów należy wyznaczyć do obsługi wyładunku wagonów kolejowych zapewniając maksimum możliwości ładunkowych w warunkach, gdy przedsiębiorstwo przeznaczyło do tego użytku dwa rodzaje pojazdów: (grupa I i grupa II). Czas odprawy tych samochodów jest zróżnicowany, przy istniejącym w tym względzie ograniczeniu łącznego czasu dyspozycyjnego, w ciągu którego należy podstawić kolumnę samochodów na punkt załadunku. Liczba ładowaczy obsługujących jeden pojazd, zapewniająca maksymalną wydajność załadunku, jest

określona i zróżnicowana, przy czym różnice te spowodowane są różnym oprzyrządowaniem pojazdów.

5. Sposób realizacji

Poniżej zostanie pokazane, przykładowo, rozwiązanie powyższego zadania przy pomocy metody graficznej. Dane wyjściowe zadania zestawiono w tab. 1.

Tabela 1.

Pojazdy	Zmienne decyzyjne	Czas odprawy samoch.	Liczba ładowaczy	Ładowność samochodów
grupa I	x_1	9 min	3 ład/sam.	9 ton
grupa II	x_2	3 min	6 ład/sam.	6 ton
Ograniczenia		27 min	24	-

Łączna liczba ładowaczy pracujących na punkcie załadunku wynosi 24 osoby.

Zmienne decyzyjne x_1, x_2 oznaczają liczbę pojazdów odpowiednio grupy I oraz II, jaką należy przeznaczyć do obsługi punktu wyładunku wagonów. Liniowy model decyzyjny dla tego problemu zostanie sformułowany następująco: wyznaczyć wektor $\vec{X} = \{x_1, x_2\}$, który zapewnia uzyskanie maksimum funkcji celu, tzn:

$$Q = 9x_1 + 6x_2 \rightarrow \text{maximum}$$

w warunkach ograniczeń:

1) $3x_1 \cdot 6x_2 \leq 24$
2) $9x_1 + 3x_2 \leq 27$
3) $x_1 \geq 0$
4) $x_2 \geq 0$

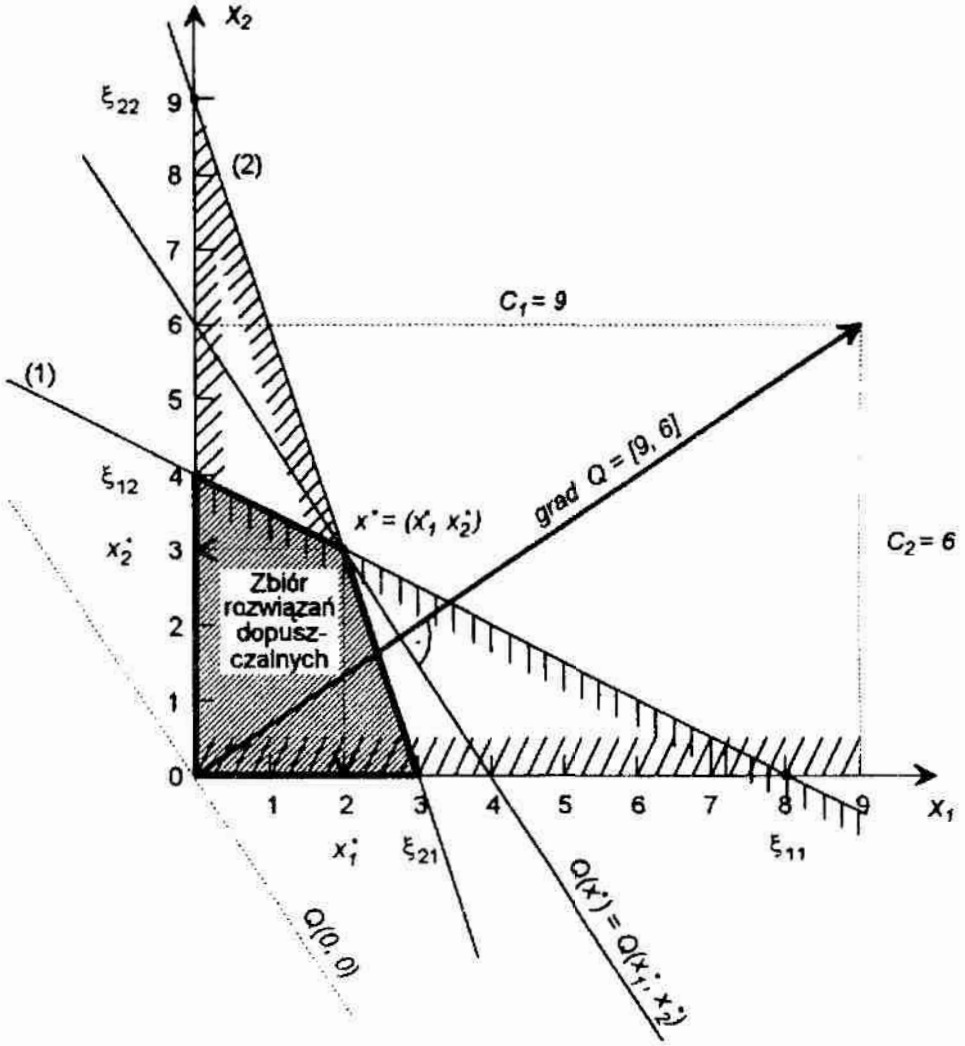
Po podzieleniu nierówności 1) oraz 2) przez prawą stronę uzyskuje się układ:

1) $\frac{x_1}{8} + \frac{x_2}{4} \leq 1$
2) $\frac{x_1}{3} + \frac{x_2}{9} \leq 1$
3) $x_1 \geq 0$
4) $x_2 \geq 0$

Skąd łatwo wykreślić obszar zawierający zbiór rozwiązań dopuszczalnych na płaszczyźnie (x_1, x_2), nanosząc na wykres proste odpowiadające równaniom:

1) $\frac{x_1}{8} + \frac{x_2}{4} = 1$
2) $\frac{x_1}{3} + \frac{x_2}{9} = 1$
3) $x_1 = 0$
4) $x_2 = 0$

a następnie zakreskowując te półpłaszczyzny, które spełniają warunki poszczególnych nierówności układu - rys. 1.



Rys. 1. Graficzne rozwiązanie zadania transportowego metodą programowania liniowego

Zbiór rozwiązań dopuszczalnych określony jest figurą zakreskowaną.

Znajdując wektor: grad $Q = C = [c_1, c_2] = [9, 6]$ nanosi się jego współrzędne (c_1, c_2) i punkt zaczepienia (0, 0), wykreślając go w układzie współrzędnych (x_1, x_2). Przesuwając prostą $Q(X)$ prostopadłą do wektora grad Q zgodnie z jego zwrotem i kierunkiem poczynając od układu współrzędnych w punkcie $X = (0, 0)$, znajduje się najdalszy punkt wierzchołkowy $X^* = [x_1^*, x_2^*]$ wyznaczający rozwiązanie optymalne: $x_1^* = 2$, $x_2^* = 3$. A zatem liczba pojazdów, które należy przeznaczyć do obsługi punktu wyładunku wagonów kolejowych, tak aby zapewnić największą ładowność łączną samochodów przy zadanych ograniczeniach czasowych i liczbie ładowaczy powinna odpowiednio wynosić:

w grupie (I) - $x_1^* = 2$ samochody,
w grupie (II) - $x_2^* = 3$ samochody.

Dysponowana ładowność samochodów wyniesie:

$$Q = 9 \cdot 2 + 6 \cdot 3 = 36 \text{ ton}$$

Nietrudno sprawdzić, że rozwiązanie to spełnia warunki ograniczeń:

1) $3 \cdot 2 + 6 \cdot 3 = 24$
2) $9 \cdot 2 + 3 \cdot 3 = 27$
3) $2 > 0$
4) $3 > 0$

oraz daje największą wartość funkcji celu Q w zbiorze rozwiązań dopuszczalnych określonych powyższymi ograniczeniami zadania.

6. Tok postępowania

a) przyjąć dowolne dane dotyczące postawionego zadania transportowego tj. wypełnić tabelę danych wyjściowych (na wzór tab. 1),

b) rozwiązać zadanie transportowe metodą graficzną, korzystając z podanego wyżej sposobu postępowania.

7. Sprawozdanie

W sprawozdaniu podać treść zadania, tabelę z danymi wyjściowymi, tok obliczeń oraz wykres obrazujący graficzne

rozwiązanie postawionego zadania metodą programowania liniowego.

8. Literatura

1. Gass S.I.: Programowanie liniowe. PWN, Warszawa 1976 r.
2. Hebda M., Mazur T., Pelc H.: Teoria eksploatacji pojazdów. Wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa 1978 r.
3. Manteuffel K., Seiffart S.: Wstęp do algebry liniowej i programowania liniowego. PWN, Warszawa 1975 r.
4. Cyklis J. (red.): Optymalne decyzje w procesach produkcyjnych. cz. II. Metody matematyczne. Skrypt Politechniki Krakowskiej, Kraków 1984 r.

Ćwiczenie 15

Temat: ZASTOSOWANIE TEORII GIER DO PODEJMOWANIA DECYZJI EKSPLOATACYJNYCH

1. Wprowadzenie

W potocznym rozumieniu grą nazywamy ciąg posunięć zmieniających stany, gdzie każdemu posunięciu towarzyszy wybór jednej z możliwości, względnie posunięcia mają charakter losowy. Przykładami gier z wyborem możliwości są gry w szachy, brydż; umiejętności graczy w tych grach są bardzo ważne. Gry, w których umiejętności nie mają znaczenia, to ruletka, kości, toto lotek. Zakończeniem gry jest wypłata, tzn. każdej pozycji końcowej gry przyporządkowana jest funkcja określająca wypłatę.

W przedsiębiorstwach przemysłowych niektóre z problemów decyzyjnych mają charakter gier. Zagadnienie gier występuje też w diagnostyce technicznej. Problemy decyzyjne badane są przez postawienie hipotez H_1, H_2, ..., H_n i dla każdego przypadku należy znaleźć rozwiązanie D_1, D_2, ..., D_n. Decydent musi wybrać jedno z rozwiązań D_i, $i = 1, ..., n$, nie wiedząc, która z hipotez okaże się prawdziwa. Jeżeli badane zjawisko charakteryzuje się różnymi stanami H_i, a prawdopodobieństwo każdego z nich wynosi p_i, to problem decyzyjny ma charakter probabilistyczny i polega na wyborze jednego z rozwiązań D_i. Jeżeli badane zjawisko charakteryzuje się różnymi stanami H_i, a nie dysponujemy informacjami o prawdopodobieństwie występowania każdego z nich, to problem decyzyjny przebiega w warunkach niepewności i pomocne w rozwiązywaniu go będzie poznanie podstaw teorii gier.

Byłoby jednak dużym uproszczeniem traktować proces eksploatacji jako jednorazowy akt podejmowania decyzji na podstawie zgromadzonych obserwacji. W realnym procesie decyzyjnym można dostrzec stałe przeplatanie się faz

obserwacji rzeczywistości (np. "słuchanie" pracy silnika w samochodzie), myślenia abstrakcyjnego (łączenia skutków nieprawidłowej pracy silnika z przyczynami) i działania praktycznego (naprawa określonej części), którego wyniki stanowią znowu przedmiot obserwacji i podstawę do abstrakcyjnych uogólnień. Ów wieloetapowy, cykliczny, charakter procesu poznawczego sprawia, że błędy decyzji popełniane na poszczególnych etapach nie przekreślają możliwości stopniowego zbliżania się do poznania rzeczywistości - takiej jaka ona jest. Można więc powiedzieć że takie wnioskowanie wieloetapowe (sekwencyjne) określa pewien specyficzny sposób decydowania - decyzje na raty.

Idea wnioskowania sekwencyjnego została po raz pierwszy rozwinięta w jednej z prac A. Walda, opublikowanej w 1974 r. [1]. W analizie sekwencyjnej mamy do czynienia z dwoma rodzajami decyzji:

- decyzjami pomocniczymi dotyczącymi kontynuacji lub zakończenia obserwacji,
- decyzją (wnioskiem), podstawą dotyczącą badanego faktu.

Model wnioskowania na podstawie takiego rozgraniczenia podejmowanych decyzji stosuje się w praktyce dość często. Każda złożona czynność składa się z prostszych aktów decyzyjnych, których wyniki brane są pod uwagę przy podejmowaniu następnych decyzji. Tworzy się wobec tego graf zwany "drzewo decyzyjne", opisujący w istocie rzeczy pewien proces losowy. Realizacjami procesu są ciągi utworzone z numerów węzłów (rozgałęzień), przez które przechodzą drogi wnioskowania w konkretnych przypadkach.

2. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z rozwiązywaniem gry wieloetapowej przy pomocy probabilistycznego drzewa decyzji.

3. Dane wyjściowe

Zad. 1.
Przedsiębiorstwo zamierza uruchomić produkcję nowego wyrobu i może to prowadzić w czterech wariantach organizacji procesu produkcyjnego (cztery możliwe decyzje D). Hipotezy

dotyczące wyników ekonomicznych sprzedaży to: H_1, H_2, H_3, których prawdopodobieństwo wynosi odpowiednio: p_1, p_2, p_3. Dane są też efekty ekonomiczne odpowiadające decyzjom i hipotezom - tabela danych.

Zad. 2.
Należy znaleźć uszkodzenie w złożonym urządzeniu (samochodzie, telewizorze, obrabiarce itp). Urządzenie to składa z N podzespołów. Znane są też prawdopodobieństwa uszkodzeń poszczególnych podzespołów. Jeden z tych podzespołów uległ uszkodzeniu. Możliwe jest wykonanie szeregu testów które w różny sposób umożliwiają zlokalizowanie uszkodzenia. Wykazać, który z tych testów wykazuje się największą efektywnością informacyjną, pozwalającą zlokalizować występujące uszkodzenie.

Zad. 3.
Dany jest graf ilustrujący zbiór wieloetapowych strategii podejmowania decyzji i wartości oczekiwanych korzyści Q. Wybrać taką drogę postępowania, która zapewni maksimum korzyści w skali globalnej.

4. Sposób postępowania

Ad. 1)
Rozwiązanie takiego zadania zostanie pokazane przy zastosowaniu gry wieloetapowej. Przez gry wieloetapowe rozumiemy gry o wielu przesunięciach, gdzie w każdym momencie kolejne ruchy podlegają pewnym regułom i zależą w istotny sposób od historii dotychczasowej rozgrywki. Gry te charakteryzuje to, że jeżeli chcielibyśmy określić strategię czystą, to w grę wchodzą duże liczby spośród bardzo dużej ilości możliwych posunięć na każdym etapie gry. Rozwiązanie gry wieloetapowej można przeprowadzić wykreślnie - przy pomocy drzewa decyzyjnego.

Tabela 1 zawiera przykładowe efekty ekonomiczne odpowiadające decyzjom i hipotezom rozważanego zadania. Budowę wykresu drzewa decyzyjnego rozpoczynamy od naniesienia na wykres wszystkich danych z tabeli 1.

Tak więc, dla decyzji D_1 rysujemy trzy gałęzie, odpowiadające trzem możliwym hipotezom, a także opisujemy dla danej hipotezy efekty ekonomiczne oraz jej prawdopodobieństwo.

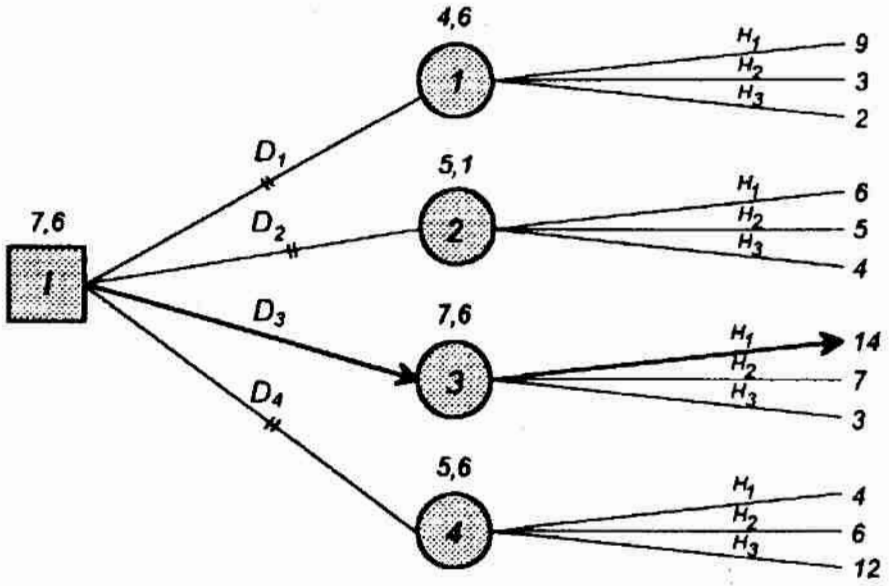
Tabela 1.

		H		
	i/j	1	2	3
D	1	9	3	2
	2	6	5	4
	3	11	7	3
	4	4	6	12

$p_1 = 0{,}3$
$p_2 = 0{,}5$
$p_3 = 0{,}2$

$p_1 + p_2 + p_3 = 1$

Analogicznie postępujemy dla wszystkich decyzji. Otrzymamy w ten sposób drzewo decyzji pokazane na rys.1.



Rys. 1. Wykres drzewa decyzyjnego do prowadzonej gry

Analizę drzewa decyzyjnego rozpoczynamy, postępując od strony lewej ku prawej, i tak: dla węzła 1 przewidywana korzyść Q (pożytek Q wyrażony jest w tym zadaniu przez efekty sprzedaży) wyniesie:

$$Q_1 = 9 \cdot 0.3 + 3 \cdot 0{,}5 + 2 \cdot 0{,}2 = 4{,}6,$$

dla pozostałych węzłów:

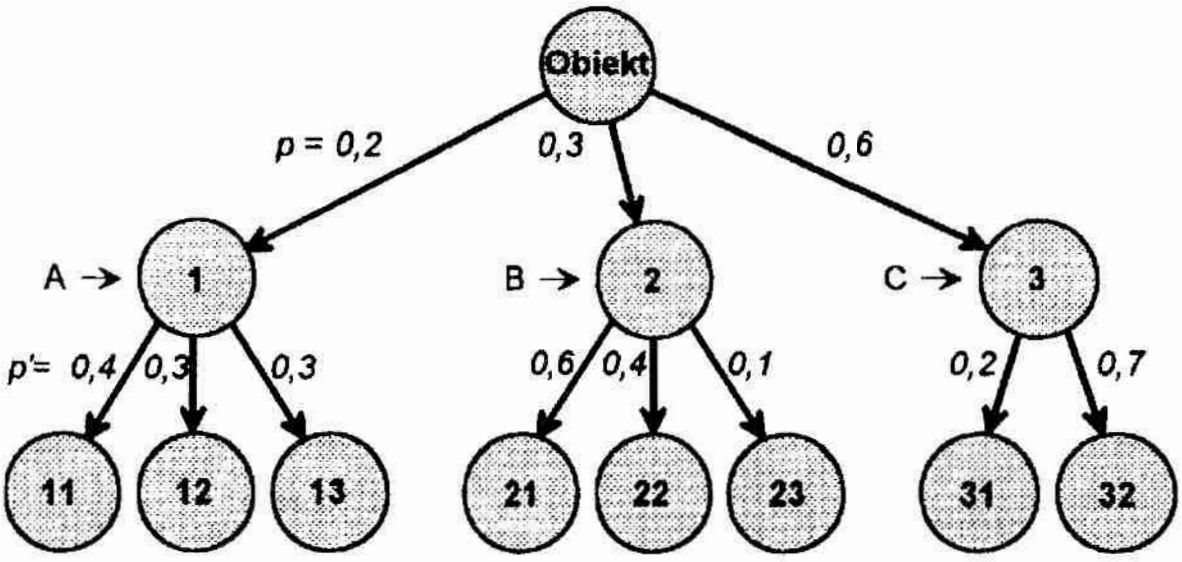
$$Q_2 = 6 \cdot 0{,}3 + 5 \cdot 0{,}5 + 4 \cdot 0{,}2 = 5{,}1$$
$$Q_3 = 11 \cdot 0{,}3 + 7 \cdot 0{,}5 + 3 \cdot 0{,}2 = 7{,}6$$
$$Q_4 = 4 \cdot 0{,}3 + 6 \cdot 0{,}5 + 12 \cdot 0{,}2 = 5{,}6$$

Postępując dalej do węzła decyzyjnego, decydent podejmuje odpowiednią decyzję. Zgodnie z zasadą maksymalnych korzyści za optymalną drogę uznajemy D_3. Zaznaczamy tę drogę, blokując pozostałe kreseczkami.

Ten prosty przykład obrazuje idee analizy procesu decyzyjnego za pomocą drzewa decyzyjnego. W celu rozwiązania gry wieloetapowej ruchy graczy wykonywane są na przemian. Grę wieloetapową przedstawiamy, ukazując wszystkie możliwe strategie gracza na danym etapie gry za pomocą linii, natomiast wierzchołki drzewa przedstawiają momenty, w których gracze muszą podejmować decyzje. Na danym etapie gry, wszystkie wierzchołki przyporządkowane są jednemu graczowi.

Ad. 2)

Załóżmy, że rozważane urządzenie składa się z trzech podstawowych zespołów: 1, 2, 3 i podzespołów (11 do 32), przy czym: pierwsza cyfra oznacza numer zespołu, a druga numer podzespołu. Znane są również prawdopodobieństwa uszkodzeń poszczególnych podzespołów tego urządzenia - rys.2.



Rys. 2. Wykres drzewa decyzji

Drzewo takie w istocie rzeczy opisuje proces losowy o znanych prawdopodobieństwach uszkodzeń tych elementów

$$p_1, p_2, \ldots, p_N,$$

przy czym suma ich, dla każdego podzespołu, równa się jedności.

Przypuśćmy, że jeden z tych elementów uległ uszkodzeniu i że możemy wykonać szereg testów, które w różny sposób umożliwiają zlokalizowanie uszkodzenia w podzespole (podzbiorze), a mianowicie:

- test A umożliwia stwierdzenie, czy uszkodzony element należy do podzbioru 11, czy do podzbioru 12, czy też do podzbioru 13,
- test B umożliwia stwierdzenie czy uszkodzony element należy do podzbioru 21, 22 lub 23,
- test C umożliwia stwierdzenie czy uszkodzony element należy do podzbioru 31, czy 32.

Rodziny podzbiorów 11,12,13 oraz 21, 22, 23 i 31, 32, stanowią tu różne sposoby rozbicia zbioru elementów tego telewizora na podzbiory. Powstaje pytanie: który test - A, B, czy C - lepiej zastosować, aby zlokalizować uszkodzenie? Odpowiedzią może być porównanie informacyjnej efektywności testów.

Niech p'_{11} oznacza sumę prawdopodobieństw uszkodzenia elementów należących do podzbioru 11,

$$p'_{11} = p_1 + p_{11},$$

p'_{12} zaś analogiczną sumę prawdopodobieństw dla elementów należących do podzbioru 12 itd. Jeśli podzbiory 11, 12 i 13 nie zawierają elementów wspólnych i wyczerpują łącznie wszystkie elementy zespołu 1, to dla zbioru 1:

$$p'_{11} + p'_{12} + p'_{13} = 1$$

Jako miarę efektywności informacyjnej testu A można przyjąć ilość informacji jakich ten test dostarcza o uszkodzonym elemencie, a więc

$$I_A = - p'_{11} \log_2 p'_{11} - p'_{12} \log_2 p'_{12} - p'_{13} \log_2 p'_{13} \quad \text{[bitów]}$$

Ponieważ w kalkulatorach nie ma logarytmów o podstawie 2, należy przejść na logarytmy o podstawie 10 przez współczynnik x, gdzie

$$x = \log_2 p = \frac{\log_{10} p}{\log_{10} 2} = 3{,}3219281 \log_{10} p .$$

Przykładowo dla testu A:

I_A = - 0,4 · 3,3219281 · $\log_{10}$0,4 - 0,3 · 3,3219281 · $\log_{10}$0,3 - - 0,3 · 3,3219281 · $\log_{10}$0,3 = -0,4 · (-1,3248541) - 0,3 · · (-1,7369656) - 0,3 · (-1,7369656) = 0,5299416 + 0,5210896 + + 0,521089 = 1,5721196 bita.

Analogicznie dla testu B:

I_B = 0,4421793 + 0,529941 = 0,9721203 bita,

oraz dla testu C:

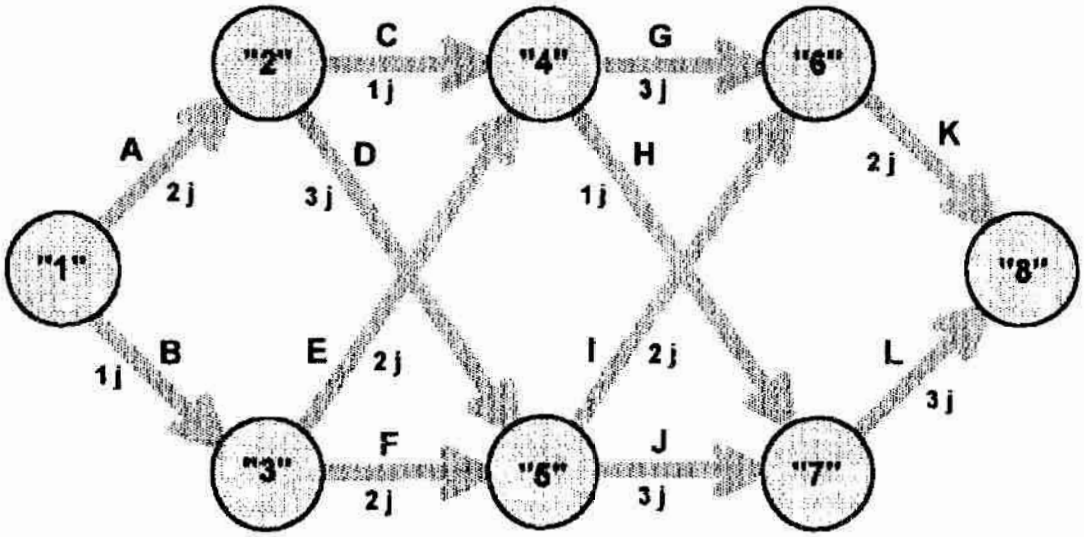
I_C = 0,3321928 + 0,4500361 + 0,3602069 = 1,1424358 bita.

Porównanie tych testów wskazuje, że test A jest testem odznaczającym się największą efektywnością informacyjną.

Opisany tu schemat wyboru lepszego testu można stosować w sytuacjach bardziej skomplikowanych. Badanie sprawności technicznej złożonych urządzeń, lokalizacja uszkodzeń, podejmowanie decyzji w trudnych sytuacjach wojennych, produkcyjnych lub ekonomicznych itp. składa się nie tylko z wielu etapów oceny sytuacji na podstawie wnioskowania statystycznego lub logicznego, lecz także z wielu decyzji wyznaczających kierunek dalszych testów i badań, umożliwiających dokładniejsze poznanie sytuacji.

Ad. 3)
Decydent ma na ogół do dyspozycji wiele możliwości wyboru zdania. Planując eksperyment powinien jednak wybrać taką drogę postępowania, która zapewni mu nie tylko maksimum korzyści na danym etapie wnioskowania, ile największe korzyści w skali globalnej. Poza niektórymi przypadkami szczególnymi nie jest to zadanie proste. Do takich przypadków szczególnych należy przypadek, kiedy korzyści globalne związane z wyborem wieloetapowej strategii postępowania można wyrazić jako sumę korzyści osiąganych na poszczególnych etapach. Rozważmy graf ilustrujący taki przypadek - rys. 3.

Graf ten przedstawia wszelkie możliwe kombinacje testów: A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, które mogą doprowadzić do rozwiązania pewnego złożonego zadania. Węzeł początkowy 1 obrazuje początkowy stan przed rozwiązaniem zadania, węzeł 8 - stan końcowy, w którym zadanie jest w całości rozwiązane.



Rys. 3. Graf ilustrujący zbiór wieloetapowych strategii podejmowania decyzji; przy gałęziach grafu podano oznaczenia testów etapowych oraz oczekiwaną korzyść z ich zastosowania (w jednostkach umownych j)

Stan końcowy można osiągnąć wieloma różnymi drogami np. A-D-I-K lub A-C-H-L itp. Każda z tych dróg to inna sekwencja działań pośrednich, na przykład inna sekwencja testów, które w sumie prowadzą do kompletnego zlokalizowania uszkodzenia lub całkowitego rozwiązania trudnego zadania decyzyjnego. Każdy test odznacza się też określoną korzyścią związaną z jego zastosowaniem, przy czym - jak wspomniano wcześniej - korzyści te można dodawać.

Powstaje pytanie: wzdłuż której z dróg łączących stan 1 ze stanem 8 suma korzyści będzie największa. Odpowiedź na to jest prosta, kiedy liczba możliwych dróg jest niewielka. Wystarczy rozważyć i porównać korzyści osiągalne na wszystkich możliwych drogach, aby znaleźć drogę optymalną. W przypadku grafu o dużej liczbie wierzchołków byłoby to jednak postępowanie niezmiernie pracochłonne. Zadanie optymalizacyjne podobnego typu można rozwiązać metodami sieciowymi (ścieżki krytycznej lub metodą PERT). Zastosowanie techniki obliczeniowej pozwala na szybkie obliczenie modelu sieciowego nawet bardzo rozbudowanego i skomplikowanego. Pakiety programów dla metod sieciowych są na wyposażeniu programowym większości współczesnych

komputerów. W programach tych wykorzystuje się zasadę optymalności (sformułowaną przez Richarda Bellmana).

Zasada ta stwierdza, *iż rozwiązanie optymalne zadania wieloetapowego odznacza się tym, że jakiekolwiek byłyby wybrane rozwiązania częściowe na wcześniejszych etapach, rozwiązania dla pozostałych etapów muszą być wybrane optymalnie z uwzględnieniem tych składowych rozwiązania, które zostały już ustalone na etapach wcześniejszych.*

Postępowanie wynikające z tej zasady nakazuje rozwiązywać zadanie optymalizacyjne od końca. Przypuśćmy, że znajdujemy się już w węźle 6 grafu; z tego węzła mamy tylko jedną możliwość przejścia do węzła końcowego 8, przy czym korzyść etapowa z wybrania tej drogi wyrażona jest liczbą 2 umownych jednostek. Analogicznie, jeżeli znajdujemy się w węźle 7, możemy przejść do węzła 8 jedynie drogą (L), co związane jest z korzyścią etapową równą 3 jednostkom umownym.

Oznaczmy symbolem Q_8 maksymalną korzyść jaką można osiągnąć w wyniku optymalnego rozwiązania zadania wieloetapowego. Jeśli Q_6 i Q_7 oznaczają odpowiednio maksymalne korzyści, jakie można osiągnąć poruszając się optymalnie wybranymi drogami od węzła 1 do węzła 6 i od węzła 1 do węzła 7, to jak łatwo zauważyć:

$$Q_8 = Q_7 + 3 \quad \text{oraz} \quad Q_8 = Q_6 + 2.$$

Zgodnie z zasadą optymalności możemy stwierdzić, że:

Q_8 = maksimum z pary liczb $(Q_7 + 3, Q_6 + 2)$.

Do węzłów 6 i 7 można z kolei dotrzeć z węzłów 4 i 5. Niech Q_4 i Q_5 oznaczają odpowiednio maksymalne korzyści, jakie można osiągnąć wybierając optymalnie sposób dotarcia od węzła 1 do węzła 4 i od węzła 1 do węzła 5. Stosując ponownie zasadę optymalności możemy stwierdzić, że tym razem:

Q_8 = maksimum z czwórki liczb $(Q_4+1+3, Q_4+3+2, Q_5+3+3, Q_5+2+2)$.

Łatwo jednak zauważyć, że dwie z tych możliwości można natychmiast wyeliminować jako nieoptymalne. Otrzymujemy zatem:

$$Q_8 = \text{maksimum z pary liczb } (Q_4+5,\ Q_5+6),$$

co odpowiada drogom przechodzącym przez węzły 4-6-8 i 5-7-8. Do węzłów 4 i 5 dochodzi się z kolei z węzłów 2 i 3. Zgodnie z zasadą optymalności stwierdzamy w związku z tym, że:

Q_8 = maksimum z czwórki liczb (Q_2+1+5, Q_3 +3+6, Q_2+3+6, Q_3+2+6),

przy czym jednak dwie z tych możliwości mogą być natychmiast wyeliminowane jako nieoptymalne. Otrzymamy dwie drogi optymalne: 2-5-7-8 i 3-5-7-8, a zatem:

$$Q_8 = \text{maksimum z pary liczb } (Q_2+9,\ Q3+8).$$

Do węzłów 2 i 3 dochodzi się wprost z węzła początkowego 1, skąd na podstawie zasady optymalności otrzymujemy:

$$Q_8 = \text{maksimum z pary liczb } (2+9,\ 4+8) = 12.$$

Wynik ten otrzymujemy poruszając się wzdłuż drogi 1-3-5-7-8, która okazuje się drogą najkorzystniejszą. Dzięki zasadzie optymalności mogliśmy w toku rozwiązywania wykluczyć szereg ewentualności, wskutek czego liczba niezbędnych działań została znacznie ograniczona.

Problemy decyzji sekwencyjnych prowadzą (jak widać) do wcale niełatwych zadań podejmowania optymalnych "decyzji o decyzjach". W trudniejszych przypadkach celowe jest stosowanie elektronicznej techniki obliczeniowej, mając jednak na względzie samą istotę podejmowanych decyzji - po co? - jaki jest właściwie pożytek z takiego działania.. Komputer w podejmowaniu decyzji nie zastąpi bowiem człowieka - może mu jedynie pomóc w większym czy mniejszym zakresie. Jeżeli problem jest źle sformułowany, to nawet najwymyślniejsza technika nie rozwiąże go za człowieka. W badaniach eksploatacyjnych postępy elektronicznej techniki obliczeniowej wyznaczają jedynie kręgi hipotez decyzyjnych, ale nie determinują wszystkich decyzji. Komputer jednak, rozszerzając pole badań, stwarza większe możliwości dla rozwoju twórczego ludzkiego myślenia. Im wyższy hierarchicznie jest szczebel podejmowania decyzji, tym większy w nich musi mieć zwykły ludzki rozsądek.

5. Tok postępowania

Ad. 1.
Założyć sytuację eksploatacyjną, w której trzeba podjąć 5 różnych decyzji D, przy 4 różnych hipotezach H. Opracować indywidualnie tabelę danych, zakładając przy tym określone prawdopodobieństwa zdarzeń p. Rozwiązać to zadanie przy pomocy gry wieloetapowej i drzewa decyzyjnego.

Ad. 2.
Założyć istnienie urządzenia o 15 podsystemach (podzespołach) różnie ulokowanych w 3 systemach (zespołach). Przyjąć dowolne prawdopodobieństwa uszkodzeń p tych podsystemów i możliwość weryfikacji tych uszkodzeń odpowiednimi testami. Wykazać, który z testów ma największą efektywność informacyjną?

Ad. 3.
Założyć graf ilustrujący zbiór wieloetapowych decyzji o 15 węzłach, dowolnie połączonych drogami określonych korzyści Q, które należy założyć (w jednostkach umownych). Rozwiązać ten graf, stosując poznaną zasadę optymalności.

7. Sprawozdanie

W sprawozdaniu podać treść analizowanych zadań, wykresy drzew decyzyjnych oraz przeprowadzone obliczenia i wnioski.

8. Literatura

1. Cyklis J. (red.): Optymalne decyzje w procesach produkcyjnych. Skrypt Pol. Krakowskiej, Kraków 1984 r.
2. Kulikowski J.: Informacja i świat w którym żyjemy. WP, Warszawa 1978 r.
3. Owen G.: Teoria gier. PWN, Warszawa 1975 r.

Ćwiczenie 16

Temat: PROGNOZOWANIE OCZEKIWANEJ TRWAŁOŚCI NARZĘDZI SKRAWAJĄCYCH

1. Wprowadzenie

W życiu codziennym wszyscy uważamy, że obiekt techniczny (maszyna, urządzenie, narzędzie itp.) winien nam służyć przez dostatecznie długi czas. Potencjalny użytkownik określonego obiektu przed jego zakupem upewnia się, drogą "wywiadu u różnych źródeł" czy dany obiekt może być mu przydatny przez określony czas. Dokonuje więc pewnego szacowania, przewidywania, prognozy: czy okres trwałości danego obiektu nie będzie mniejszy od oczekiwań w tym względzie.

Nie ma chyba bardziej ryzykownego zajęcia niż formułowanie prognoz w różnych dziedzinach życia, mimo że właśnie prognozy są podstawą, prawie, całej celowej działalności człowieka. Działalność ta jest jak żadna inna obarczona jest ryzykiem, wynikającym z tego, że formułuje się pewne hipotezy zachowań obiektu w przyszłości, kiedy przyszłość ta nie jest jeszcze rzeczywistością i może ulec zmianie. Przyszłość ta może być bardziej skrystalizowana (określona) jeżeli jej perspektywa czasowa jest krótsza, a ponadto, była już możliwość sprawdzenia zachowań się obiektu w takich lub podobnych warunkach.

Ta ostatnia przesłanka sprawia, że potencjalny, indywidualny użytkownik obiektu technicznego, np. samochodu określonej marki, przeprowadza bardziej lub mniej pogłębiony "wywiad" u innych użytkowników - dotyczący trwałości takiego obiektu. W działalności przemysłowej, aby posiadać tego typu informacje, przeprowadza się określone badania. Diagnozuje się więc obiekt, aby - na podstawie określonych wyników diagnozy prognozować jego okres trwałości.

Wytwórca (lub użytkownik) upewnia się o długości okresu trwałości drogą specjalnych prób, wykonywanych na kilku egzemplarzach urządzenia i z pewnych praw statystyki szacuje przewidywany okres trwałości całej populacji takich urządzeń. Należy tu zaznaczyć, że taki sposób działania ma swoje reguły myślenia i techniki postępowania (celem ćwiczenia jest właśnie przyswojenie sobie tych reguł i technik).

Analiza metod statystycznych w zakresie tej problematyki będzie pokazana na przykładzie rozwiązywania problemów związanych z prognozowaniem okresu trwałości narzędzi skrawających. Jako zmienną losową rozpatruje się okres trwałości narzędzia T, tj. czas pracy narzędzia do momentu stępienia (co określa ten moment stępienia nie jest tu analizowane). Okres trwałości narzędzia skrawającego należy do jednej z najistotniejszych informacji eksploatacyjnych.

Wyczerpującą charakterystyką zmiennej losowej jest prawo jej rozkładu, które ustala związek między możliwymi wartościami tej zmiennej i odpowiadającymi im prawdopodobieństwami P. Prawo rozkładu może być dane w postaci funkcji rozkładu, nazwanej dystrybuantą zmiennej losowej, która przedstawia prawdopodobieństwo zdarzenia polegającego na tym, że okres trwałości ostrza T przyjmuje wartość mniejszą od ustalonej rzeczywistej wartości t_m

$$F(t_m) = P(T \leq t_m) . \qquad (1)$$

Innymi słowami, jeżeli kolejno przyjmie się dowolne wartości t_m, to zdarzenie $T \leq t_m$ oznacza stępienie ostrza narzędzia w czasie t_m. Im dłuższy jest ten czas pracy narzędzia, tym większe jest prawdopodobieństwo stępienia ostrza narzędzia, a więc dystrybuanta jest funkcją niemalejącą. Dla $t_m = 0$ wartość $F(0)$ jest równa zeru, a dla $t_m \to \infty$, dystrybuanta $F(t_m)$ dąży do jedności.

Dla narzędzia skrawającego praktyczne znaczenie ma prawdopodobieństwo zdarzenia polegającego na tym, że czas jego pracy do chwili stępienia ostrza lub inaczej jego okres trwałości będzie równy lub większy od przyjętej wartości t_m.

Wówczas prawdopodobieństwo zachowania właściwości skrawnych narzędzia w czasie t_m (prawdopodobieństwo niezawodnej pracy) wyraża się zależnością (2)

$$R(t_m) = P(T \geq t_m) = 1 - F(t_m) . \qquad (2)$$

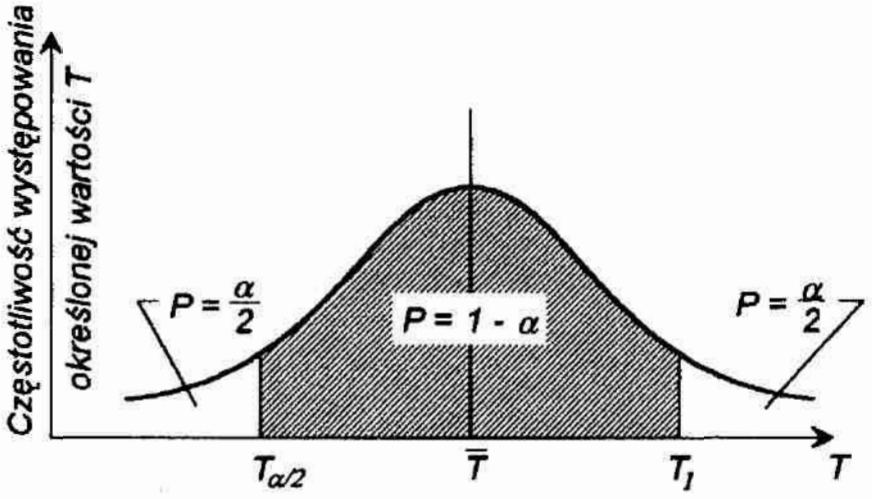
Celem prognozowania może być wyznaczenie:

1. Prawdopodobieństwa P zdarzenia, oznaczającego, że narzędzie pobrane z rozpatrywanej i zbadanej uprzednio populacji będzie poprawnie (niezawodnie) skrawało w czasie nie mniejszym od założonej wartości t_m (czasu operacji).
2. Wartości t_m czasu poprawnej pracy narzędzia - pobranego z rozpatrywanej i zbadanej uprzednio populacji - przy założonej (wysokiej) wartości α prawdopodobieństwa zdarzenia oznaczającego, że rzeczywista wartość czasu poprawnej pracy narzędzia nie będzie mniejsza niż t_m.

Okres trwałości narzędzia skrawającego jest wielkością losową. Oznacza to, że ostrza kolejnych narzędzi, pracujących w tych samych warunkach skrawania, ulegają stępieniu po różnym czasie (różnej liczbie obrobionych przedmiotów). Poszczególne okresy trwałości są rozproszone wokół wartości średniej $\bar{T}$ - mają pewien swój rozkład. Przy doborze warunków skrawania do danej operacji dba się zwykle o to, aby okres ten odpowiadał najmniejszym kosztom obróbki lub czasowi największej wydajności.

Posługiwanie się średnim okresem trwałości właściwe jest tylko wtedy, gdy obróbka odbywa się pod bezpośrednim nadzorem robotnika, który na bieżąco ocenia stan ostrza na podstawie wyników obróbki i wymienia je, gdy jest stępione. Przy obróbce zautomatyzowanej, gdy bezpośredni nadzór nie występuje, konieczny jest taki dobór parametrów skrawania, aby stępienie ostrza nie występowało przed upływem założonego czasu, z założonym dużym prawdopodobieństwem. Taki czas nazywa się niezawodnym okresem trwałości i jest oznaczany $T_{\alpha/2}$, gdzie $(1-\alpha/2)$ jest prawdopodobieństwem tego, że ostrze nie ulegnie stępieniu przed upływem czasu $T_{\alpha/2}$. Dla symetrycznych rozkładów trwałości (np. rozkład normalny) $\bar{T} = T_{0,5}$, co oznacza, że istnieje 50 % prawdopodobieństwa, iż ostrze skrawające nie ulegnie stępieniu przed upływem czasu skrawania równego $\bar{T}$.

Omówione pojęcia zilustrowano na rys. 1.



Rys. 1. Rozkład okresów trwałości ostrza przy ustalonych warunkach skrawania

Zakreskowane pole, zawarte pod krzywą częstości występowania okresów trwałości ostrza $f(T)$, równe jest prawdopodobieństwu wystąpienia okresu trwałości w przedziale $(T_{\alpha/2};\ T_1)$. Poza tymi granicami może znaleźć się np. 10 % okresów trwałości ($\alpha = 0,1$), z czego trwałość niższą od $T_{\alpha/2}$ może wykazywać ok. 5 % narzędzi ($\alpha/2 = 0,05$).

W celu określenia niezawodnego okresu trwałości ostrza, niezbędna jest znajomość typu i parametrów rozkładu okresów trwałości w danych warunkach skrawania oraz stosowanie metod rachunku prawdopodobieństwa i statystyki matematycznej. Rodzaj (typ) rozkładu okresu trwałości ostrza można określić na podstawie odpowiednio dużej liczby prób i odpowiednich testów statystycznych [3]. Najczęściej liczba prób, jaką się dysponuje w praktyce przy wyznaczaniu niezawodnego okresu trwałości ostrza, uniemożliwia precyzyjne określenie typu rozkładu - mimo wykorzystywania odpowiednich testów statystycznych, np. χ^2 (test chi-kwadrat). W takich przypadkach można zakładać pewien typ rozkładu, wychodząc z analizy warunków pracy narzędzia i rodzaju jego zużycia.

Utrata właściwości skrawnych narzędzia może przebiegać stopniowo - w miarę postępującego ścierania się ostrza, lub nagle, na skutek przekroczenia granicy wytrzymałości jego elementów (złamania lub wykruszenia ostrzy). Pierwszy rodzaj zużycia nazywany jest zużyciem ściernym, drugi zaś zużyciem wytrzymałościowym [1].

W prawidłowych warunkach pracy, o niezdatności narzędzia do dalszej eksploatacji decyduje naturalne zużycie (ścierne, dyfuzja, adhezja itp.). Gdy liczba uszkodzeń wytrzymałościowych jest znikoma, a współczynnik zmienności

$$\nu_T = \sigma / T \,, \tag{3}$$

nie przekracza 0,33 (przy czym: σ - wartość odchylenia standardowego), można przyjąć, że T ma rozkład normalny [4]. Jeżeli warunki pracy są nieprawidłowe (np. niewłaściwy materiał ostrza) lub szczególnie trudne (np. wiercenie i gwintowanie małych otworów) i znaczna liczba ostrzy ulega uszkodzeniu wytrzymałościowemu w początkowym okresie pracy, rozkład T przyjmuje kształt wyraźnie niesymetryczny (rozkład gamma, Weibulla itp.). W takich przypadkach uważa się [2] za niecelowe określanie niezawodnego okresu trwałości narzędzia, gdyż w miarę procentowego wzrostu liczby uszkodzeń wytrzymałościowych, rozkład staje się coraz bardziej ukośny, dążąc do rozkładu wykładniczego. Przy rozkładzie wykładniczym profilaktyczna wymiana narzędzi traci sens, gdyż wówczas największe prawdopodobieństwo stępienia narzędzia występuje w początkowym okresie jego pracy. Ponadto, poszukiwanie $T_{\alpha/2}$ należy uznać za niecelowe, gdyż rozproszenie T jest zbyt duże (duża wartość odchylenia standardowego σ) i wartość niezawodnego okresu pracy narzędzia spada do kilku procent wartości średniej $\bar{T}$.

Metodykę postępowania przy analizie trwałości (niezawodności) narzędzi, opisywanej różnymi typami rozkładów, opisano szczegółowo w [1], [4] oraz skrypcie [5].

2. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest nabycie umiejętności obliczania niezawodnych okresów pracy narzędzi skrawających oraz niezawodnej okresowej prędkości skrawania dla rozkładu normalnego.

3. Dane wyjściowe

Dane są wyniki badań eksploatacyjnych toczenia stali nożem z płytkami z węglików spiekanych (tab. 1),

przeprowadzonych zgodnie z zasadami matematycznego planowania badań.

Tabela 1. Wyniki badań zależności $T = f(v, p, g)$ przy toczeniu stali płytkami z węglików spiekanych [2]

Nr próby	głębokość g [mm]	posuw p [mm/obr]	prędkość v [m/min]	okres trw. T [min]
1	1,6	0,16	250	18,2
2			280	8,8
3			315	8,5
4			315	5,3
5	2,4	0,33	160	18,9
6			180	10,1
7			200	8,2
8			220	4,3
9	4,0	0,24	200	20,5
10		0,33		12,9
11		0,45		5,4
12	1,6	0,45	140	18,4
13	1,6			19,8
14	2,4			18,9
15	4,0			11,0
16	1,6	0,24	250	6,5
17	4,0	0,45	180	4,1

Po statystycznym opracowaniu wyników otrzymano następującą postać funkcji $T = f(p, g, v)$

$$T = \frac{3,1333 \times 10^9}{v^4 p^2 g^{0,7}} . \qquad (4)$$

Obliczona wartość współczynnika zmienności wynosiła $v_T = 0,171$.

Dla określonego zestawu parametrów obróbczych: p, g, v należy wyznaczyć niezawodny okres trwałości narzędzia z określonym (założonym) prawdopodobieństwem $(1-\alpha)$.

4. Sposób postępowania

Ponieważ wartość współczynnika zmienności v_T jest mniejsza od 0,33 - można przyjąć, że rozkład trwałości badanych narzędzi może być opisany rozkładem normalnym.

Dla rozkładu normalnego, przy ustalonych parametrach skrawania, niezawodny okres trwałości ostrza można opisać zależnością [2]:

$$T_{\alpha/2} = \mu - z_{\alpha}\,\sigma\,, \qquad (5)$$

gdzie: μ - prawdziwa wartość średnia okresu trwałości ostrza $\bar{T}$,
σ - odchylenie standardowe w populacji,
z_{α} - kwantyl rzędu α standaryzowanej zmiennej losowej.

W celu wykorzystania związku (5) należałoby znać wartości μ oraz σ (wartość z_{α} można dobrać z tablic dystrybuanty rozkładu normalnego - sposób postępowania: patrz skrypt [5]). Praktycznie dysponuje się jednak najczęściej jedynie oszacowaniami tych wielkości (w wyniku badania próbki - tab. 1). Na podstawie reguł statystyki matematycznej przyjmuje się, że wartości μ odpowiada wartość średnia $\bar{T}$ z próbki, a odchylenie standardowe z próbki σ_n estymowane jest na odchylenie standardowe dla całej populacji σ_{n-1} - wzór (6):

$$\sigma_{n-1} = \sigma_n \sqrt{\frac{n}{n-1}}\,. \qquad (6)$$

Ponieważ nieznane najczęściej, prawdziwe wartości μ oraz σ zastępuje się ich oszacowaniami, należy rozkład normalny zastąpić rozkładem t-Studenta (tab.2).

Niezawodny okres trwałości ostrza oszacowany na podstawie eksperymentu, w którym zmienne było K czynników (v, p, g, ...) może być w takim przypadku opisany wzorem (7)

$$T_{\alpha/2} = T(1 - t_{\alpha f}\, v_T)\,, \qquad (7)$$

gdzie : T - wyliczona wartość okresu trwałości wg wzoru (5),
$t_{\alpha f}$ - wartość wzięta z tab. 2, przy założonym α i określonej liczbie stopni swobody $f = N - K - 1$ (w naszym przypadku $f = 17 - 3 - 1 = 13$),
v_T - współczynnik zmienności wg wzoru (3).

Przykładowo: należało wyznaczyć niezawodny okres trwałości $T_{\alpha/2}$ z prawdopodobieństwem 99 % dla operacji toczenia z parametrami obróbczymi: $g = 2$ mm, $p = 0{,}3$ mm/obr oraz

v = 150 m/min. Wartość statystyki studenta $t_{0.02;17-3-1}$, odczytana z tab. 2, wynosi 2,650. Wartość T obliczona na podstawie wzoru (5) wynosi:

$$T = \frac{3,133\ 10^9}{150^4\ 0,3^2\ 2^{0,7}} = 32,9\ .$$

Tabela 2. Rozkład t-Studenta. Wartości t_α, dla których $P(t>t_\alpha) = \alpha$ przy f stopniach swobody

f ↓	Granice dwustronne				f ↓	Granice dwustronne			
	5%	2%	1%	0,1%		5%	2%	1%	0,1%
1	12,71	31,82	63,66	636,6	20	2,086	2,528	2,845	3,850
2	4,303	6,965	9,925	31,60	21	2,080	2,518	2,831	3,819
3	3,182	4,541	5,841	12,92	22	2,074	2,508	2,819	3,792
4	2,776	3,747	4,604	8,610	23	2,069	2,500	2,807	3,767
5	2,571	3,365	4,032	6,869	24	2,064	2,492	2,797	3,745
6	2,447	3,143	3,707	5,959	25	2,060	2,485	2,787	3,725
7	2,365	2,998	3,499	4,408	26	2,056	2,479	2,779	3,707
8	2,306	2,896	3,355	5,041	27	2,052	2,473	2,771	3,690
9	2,262	2,821	3,250	4,781	28	2,048	2,467	2,763	3,674
10	2,228	2,764	3,169	4,587	29	2,045	2,462	2,756	3,659
11	2,201	2,718	3,106	4,437	30	2,042	2,457	2,750	3,646
12	2,179	2,681	3,055	4,318	40	2,021	2,423	2,704	3,551
13	2,160	2,650	3,012	4,221	50	2,009	2,403	2,678	3,495
14	2,145	2,624	2,977	4,140	60	2,000	2,390	2,660	3,460
15	2,131	2,602	2,947	4,073	80	1,990	2,374	2,639	3,415
16	2,120	2,583	2,921	4,015	100	1,984	2,365	2,626	3,389
17	2,110	2,567	2,898	3,967	200	1,972	2,345	2,601	3,339
18	2,101	2,552	2,878	3,922	500	1,965	2,334	2,586	3,310
19	2,093	2,539	2,861	3,883	1000	1,960	2,326	2,576	3,291
↑	2,5%	1%	0,5%	0,05%	↑	2,5%	1%	0,5%	0,05%
f	Granice jednostronne				f	Granice jednostronne			

Korzystając z wzoru (7) obliczono niezawodny okres trwałości, z założonym 99 % prawdopodobieństwem

$$T_{0,01} = 32,9(1 - 2,65 \times 0,171) = 18 \text{ min.}$$

Niezawodny okres trwałości narzędzia nie jest jedyną poszukiwaną wartością. Często dąży się do wyznaczenia prędkości skrawania, która z określonym prawdopodobieństwem zapewni uzyskanie okresów trwałości ostrza nie mniejszych od z góry założonej wartości T_o. ***Taka prędkość nazywa się niezawodną okresową prędkością skrawania.*** W celu jej wyznaczenia, należy do wzoru (7) podstawić

w miejsce $T_{\alpha/2}$ założony okres trwałości ostrza T_o, po czym wyznaczyć oszacowaną wartość T. Następnie po wstawieniu jej do wzoru (5) i przekształceniu względem v, otrzymuje się poszukiwaną wartość niezawodnej okresowej prędkości skrawania.

Dla rozważanego przykładu założono $T_o = 10$ min. Należało dla tej wartości obliczyć niezawodną okresową prędkość skrawania. Z podstawienia danych do wzoru (7) i po jego przekształceniu otrzymano:

$$T = \frac{10}{0,547} = 18,3 \text{ min} .$$

Po przekształceniu wzoru (4) obliczono niezawodną okresową prędkość skrawania

$$v_{10;0,01} = \left[\frac{3,1333 \times 10^9}{18,3 \times 0,3^2 \times 2^{0,7}} \right]^{1/4} = 173 \text{ m/min} .$$

5. Tok postępowania

A. Przyjąć indywidualnie parametry obróbcze (v, p, g) pewnej operacji (z zakresu zmienności parametrów ujętej tabelą 1).
B. Przyjąć (z tab.2) cztery różne wartości współczynnika α.
C. Dla przyjętych danych obliczyć (wg wzoru 5) wartości T.
D. Obliczyć (wg wzoru 7) niezawodny okres trwałości dla przyjętych prawdopodobieństw.
E. Obliczyć niezawodny okres prędkości (dla przyjętych prawdopodobieństw) wg wyżej podanej metodyki postępowania.
F. Dla przyjętej wartości v obliczyć (wg wzoru 5) kilka punktów funkcji $T = f(p, g)$, tak aby można było sporządzić jej wykres.

6. Sprawozdanie

W sprawozdaniu należy podać wartości przyjętych parametrów obróbczych, wartości poszczególnych przeliczeń (ujęte w tabelkę) oraz sporządzić wykresy: niezawodnego okresu trwałości w funkcji przyjmowanego prawdopodobieństwa oraz trwałości (empirycznej) w funkcji posuwu i głębokości skrawania.

7. Literatura

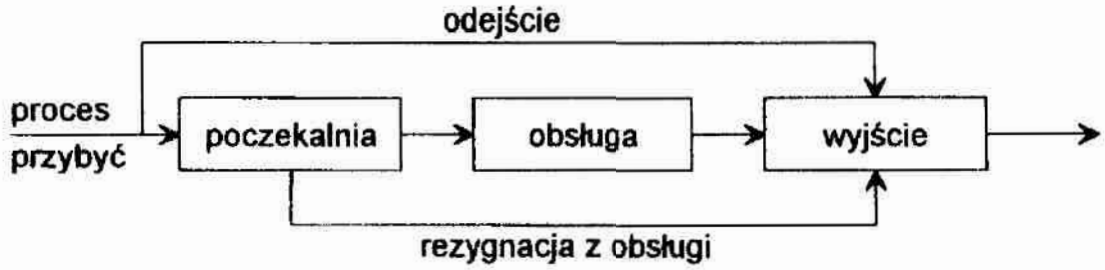
1. Bartosiewicz J.: Niezawodność narzędzi skrawających. WNT, Warszawa 1982 r.
2. Jemielniak K., Zawistowski J.: Prognozowanie niezawodności narzędzi skrawających. Mechanik Nr 8/1983 r.
3. Kacew P.G.: Kontrola narzędzi skrawających metodami statystycznymi. WNT Warszawa 1978 r.
4. Langlois-Berthelot R.: Trwałość, niezawodność, funkcjonalność wyrobów przemysłowych. WNT Warszawa 1972 r.
5. Słowiński B.: Podstawy badań i oceny niezawodności obiektów technicznych. Skrypt WSInż. Koszalin, Koszalin 1992 r.

Ćwiczenie 17

Temat: ZASTOSOWANIE MODELI OBSŁUGI MASOWEJ DO WYZNACZANIA ZAPOTRZEBOWANIA NA CZĘŚCI ZAMIENNE I MATERIAŁY EKSPLOATACYJNE

1. Wprowadzenie w zagadnienia obsługi masowej

Teoria masowej obsługi, opierając się głównie na metodach rachunku prawdopodobieństwa, zajmuje się badaniem procesów obsługi losowych strumieni zgłoszeń. Przedmiotem teorii masowej obsługi jest analiza ilościowa, a celem jest opracowanie takich metod matematycznych, które by pozwoliły wyznaczyć podstawowe wskaźniki procesów masowej obsługi, umożliwiające ocenę działania systemu obsługi. Wszystkie zagadnienia masowej obsługi mają w pełni określoną strukturę systemu, która schematycznie może być przedstawiona tak jak na rys. 1 [1].



Rys. 1. Schemat obsługi masowej

Klienci przybywają do urządzenia obsługującego (poczekalnia + obsługa) pojedynczo lub w grupach; liczność grup jest zdeterminowana lub zmienna losowo. Podobnie też chwile przybyć kolejnych klientów lub grup klientów do urządzenia obsługującego są zdeterminowane lub zmienne losowo. Klienci wchodzą do poczekalni lub odchodzą (wskutek braku miejsca w poczekalni lub na widok długiej kolejki).

Proces przybyć jest więc procesem stochastycznym (określonym wzorem lub zbiorem realizacji). W szczególnych przypadkach proces przybyć jest zmienną losową lub jest zdeterminowany.

Klient w poczekalni oczekuje na obsługę albo zostaje natychmiast obsłużony. Jeśli chce czekać na obsługę (a może z niej w dowolnym momencie zrezygnować), to poddaje się określonemu regulaminowi oczekiwania - jednemu z wielu możliwych. Jeśli obsługa posiada tylko jeden kanał, to - przy braku uprzywilejowania - klienci tworzą pojedynczą kolejkę, dzięki której są obsługiwani w kolejności zgłoszeń. Obsługa kanału może podzielić klientów na klasy o różnych stopniach uprzywilejowania i obsługiwać każdorazowo najdłużej oczekującego klienta z klasy najbardziej uprzywilejowanej (przykładowo: w kolejnictwie, na stacjach węzłowych przydziela się różne klasy uprzywilejowania pociągom towarowym, osobowym, pośpiesznym i ekspresowym. Inny przykład uprzywilejowania: w punkcie naprawy maszyn często preferuje się maszynę, której spodziewany czas naprawy jest najkrótszy).

Jeśli obsługa posiada kilka kanałów równoległych (tj. wykonujących ten sam rodzaj obsługi, jak np. kasy w sklepie samoobsługowym), to przed każdym kanałem tworzy się kolejka, z której jednostki obsługiwane są kolejno lub w systemie uprzywilejowań, klient wchodzący do poczekalni obiera dowolnie jedną z kolejek.

Kanały systemu mogą być nierównoległe, tj. wykonywać obsługi specjalne dla określonych grup klientów (pasy startowe różnych długości, dla samolotów różnych typów), lub różne kanały mogą wykonywać różne obsługi, dowolne w pewnych zakresach.

Klienci mogą być obsługiwani nie pojedynczo, lecz w grupach (winda, autobus, przechodnie na przejściu przez jezdnię), przy czym liczność grupy może być:

1) zdeterminowana (wycieczka z przewodnikiem),

2) ograniczona od góry (winda, autobus),

3) losowa (przechodnie na przejściu).

System obsługi może być dostępny stale bądź z przerwami cyklicznymi w czasie (cykl dobowy, tygodniowy itd.) bądź też z przerwami losowymi (awarie).

Niekiedy w kanałach istnieją wyróżnione stacje, na których wykonywane są kolejne etapy obsługi. W niektórych systemach jednostka znajdująca się na dowolnym etapie obsługi blokuje cały kanał. W sprawniejszych systemach obsługi między kolejnymi stacjami istnieją poczekalnie, dzięki którym możliwa jest jednoczesna obsługa na wszystkich stacjach kanału.

Istnieją w praktyce i są rozpatrywane w teorii systemy kolejkowe w sieciach, w których istnieją rozgałęzienia kanałów oraz połączenia wewnętrzne między kanałami. Przykładami są: sieć kolejowa określonej jednostki administracyjnej, punkt usługi wielobranżowej, jak: dom towarowy, hotel, łaźnia parowa itp. Do rozważania systemów kolejkowych w sieciach prowadzą też zagadnienia transportowe, uwzględniające czynnik losowy.

Czas trwania obsługi jednostki w kanale lub na stacji jest zwykle zmienną losową. Pełne określenie w modelu rozważanego systemu obejmuje między innymi łączny rozkład tych wszystkich zmiennych losowych. Zwykle zakłada się, że rozkłady czasów obsług jednostek w różnych kanałach lub na różnych stacjach są losowo niezależne oraz niezależne od procesu wejścia i sytuacji w poczekalniach (na przykład procesy w centrali telefonicznej). Założenia te nie zawsze są spełnione w praktyce.

System obsługi masowej nazywamy stabilnym, jeżeli niezależnie od jego stanu początkowego z upływem czasu ustala się jakiś graniczny rozkład prawdopodobieństw możliwych stanów systemu. Systemem niestabilnym jest na przykład taki system, w którym z dodatnim prawdopodobieństwem długość kolejki rośnie w nieskończoność. Niestabilnymi są również systemy, w których rozkłady prawdopodobieństw stanów zmieniają się okresowo w czasie.

Często zadowalamy się znalezieniem rozkładu granicznego stanów. Nieraz jednak nie można przyjąć, że ów rozkład graniczny stanowi dostatecznie wierny opis systemu w przedziale czasu użytkowania tego systemu. Trzeba wówczas

rozważać model systemu jako funkcję czasu, stosując procesy stochastyczne w miejsce zmiennych losowych.

Ogólne cele teorii obsługi masowej grupują się więc w następujących zagadnieniach:

Z punktu widzenia klienta, chodzi o wskazania do podjęcia decyzji o sposobie użytkowania systemu. Klient może na przykład obliczyć średni czas, jaki spodziewa się przebyć w danym systemie, lub średni koszt użytkowania, lub wybierać między różnymi warunkami obsługi. Może wybrać odpowiedni moment zgłoszenia (unikanie szczytu zgłoszeń). Może wybrać droższą ale sprawniejszą obsługę (wybór systemu), albo też w obrębie systemu opłacić preferencje (telegram, list ekspresowy, błyskawiczną rozmowę telefoniczną itp.). Klient po zbadaniu systemu może żądać jego określonej zmiany.

Z punktu widzenia zarządzającego systemem, studium modelu może służyć do jego usprawnienia, drogą stosownych zmian (na przykład: dodanie jeszcze jednego kanału, lub rozbudowa poczekalni) lub potanienia (zwiększenia atrakcyjności systemu) - w przypadku istnienia systemu konkurencyjnego.

Opracowany model może być podstawą optymalizacji systemu, uwzględniającej zarówno interes klienta jak i koszt zarządzania systemem.

2. Zastosowanie teorii obsługi masowej w eksploatacji

Eksploatacja różnych urządzeń, oprócz umiejętności sterowania nimi, wymaga tworzenia i utrzymania ciągłości zasileń materiałowych (np. paliwa do samochodu) oraz zasileń w części zamienne lub zespoły. Struktura systemu zaopatrywania powinna być kształtowana w zależności od konkretnego systemu eksploatacji. Istniejące rozwiązania organizacyjne systemów zaopatrywania pozwalają wyróżnić pewne wyodrębnione jednostki terytorialne - magazyny: pośrednie (np. magazyny centralne) i bezpośrednie (zlokalizowane blisko użytkownika), z których dostarczane są zasilenia materiałowe.

W systemie zaopatrywania możemy wyróżnić: wejście czyli strumień dostaw $Q(t)$, wyjście, czyli strumień popytu $Y(t)$ oraz magazyn $F(t)$ o określonych właściwościach: pojemności,

powierzchni itp. Model sterowania systemem zaopatrywania winien dać odpowiedź na jedno lub kilka pytań zamieszczonych w tab. 1. W praktyce, problem kształtowania zapasów sprowadza się najczęściej do sterowania strumieniem dostaw i zapotrzebowań istniejącego już magazynu. Analizując strumień dostaw (proces "przybyć") należy uwzględniać jego zmienność w czasie (Q jest funkcją t) oraz należy znać parametry tego strumienia.

Do podstawowych parametrów niezbędnych do analizy systemu zaopatrywania należą:

- intensywność zgłoszeń λ, czyli liczba zgłoszeń w przyjętej jednostce czasu t,
- czas obsługi τ jednego zgłoszenia,
- intensywność obsługi μ, czyli liczba zgłoszonych i obsłużonych w jednostce czasu,
- liczba kanałów obsługi N, czyli liczba stanowisk obsługujących napływające do systemu zgłoszenia.

Tabela 1. Związki między funkcjami opisującymi system zaopatrywania

Pytanie	$Q(t)$	$Y(t)$	$F(t)$	
Jak kształtować dostawy (wielkość, częstotliwość, koszt) ?	-	+	+	Optymalizować funkcję $Q = f(Y, F)$
Jak sterować zużyciem (intensywnością eksploatacji urządzeń) ?	+	-	+	Optymalizować funkcję $Y = f(Q, F)$
Jak zorganizować magazyn (powierzchnia magazynowa, liczba personelu, poziom zapasów) ?	+	+	-	Optymalizować funkcję $F = f(Q, Y)$
Jak zorganizować strukturę sieci (wzajemne powiązania, odległości, przesunięcia międzymagazynowe)?	+	+	+	Optymalizować funkcję $F = f(t)$
Postać funkcji + znana; - nieznana				

Dotychczasowa praktyka zaopatrywania w części i materiały eksploatacyjne opiera się głównie na metodach statystycznych. Metody statystyczne zakładają, że określone zjawiska, w strumieniu zaopatrywania, pojawiają się cyklicznie. Wielkość zapasów ustalana jest więc na podstawie doświadczeń z poprzednich okresów.

Bardziej racjonalne sterowanie systemami zaopatrywania opiera się na wykorzystywaniu modeli teorii obsługi masowej. Metody oparte na tych modelach należą do jednych z bardziej perspektywicznych metod sterowania systemem zaopatrywaniem w części i materiały eksploatacyjne. Zarówno strumień wejściowy (proces przybyć), jak działanie systemu oraz rezultat działania (wyjście) podlega opisowi ilościowemu. Działanie systemu masowej obsługi w całości określa, przede wszystkim, jego organizacja.

Przykładem takiego elementu organizacyjnego w systemie zaopatrywania może być magazyn (jako stanowisko obsługi). Jest to element sumujący dynamicznie, co oznacza, że sygnał wychodzący od niego zależy nie tylko od sygnału wchodzącego w danej chwili, ale także od sygnałów w chwilach poprzednich (jest ich sumą). Wobec powyższego, stan zapasu (Z) danego asortymentu części zamiennych, bądź materiałów eksploatacyjnych, w dowolnej chwili t, można wyrazić jako

$$Z(t) = Z_o + \Sigma\, q(t_i) - \Sigma\, y(t_j)\,, \qquad (1)$$

gdzie: Z_o - stan zapasu w chwili początkowej,
$\Sigma\, q(t_i)$ - suma dostaw asortymentu w okresie t_o- t,
$\Sigma\, y(t_j)$ - suma zapotrzebowań asortymentu w tym okresie.

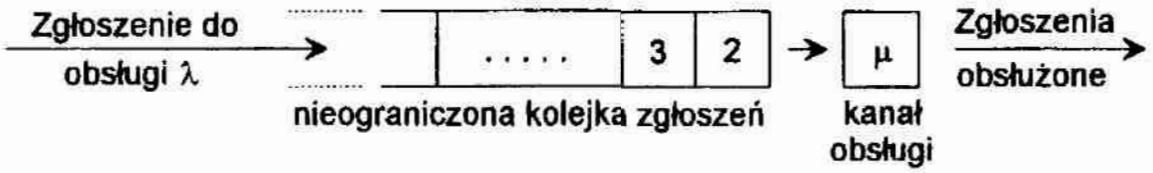
Analizując wielkość $Z(t)$ można wyróżnić trzy przypadki:

$$Z(t) > 0, \quad Z(t) < 0 \quad \text{oraz} \quad Z(t) = 0.$$

Wpływ różnorodnych czynników losowych powoduje, że osiągnięcie całkowitej równowagi pomiędzy popytem a podażą części zamiennych i materiałów eksploatacyjnych jest praktycznie niemożliwe. Przypadek, kiedy zapasy są większe od popytu, powoduje zamrożenie kapitałów i wobec tego strumień dostaw winien być optymalizowany. Powstaje pewna "kolejka" asortymentów części zamiennych lub materiałów eksploatacyjnych w oczekiwaniu na użycie. Podobna "kolejka" tworzy się, gdy zapotrzebowanie jest większe od podaży. Obydwa te przypadki mogą być rozpatrywane zgodnie z regułami teorii obsługi masowej.

Podstawowe modele obsługi masowej, mogące mieć zastosowanie w planowaniu części (zespołów) zapasowych i materiałów eksploatacyjnych, to:

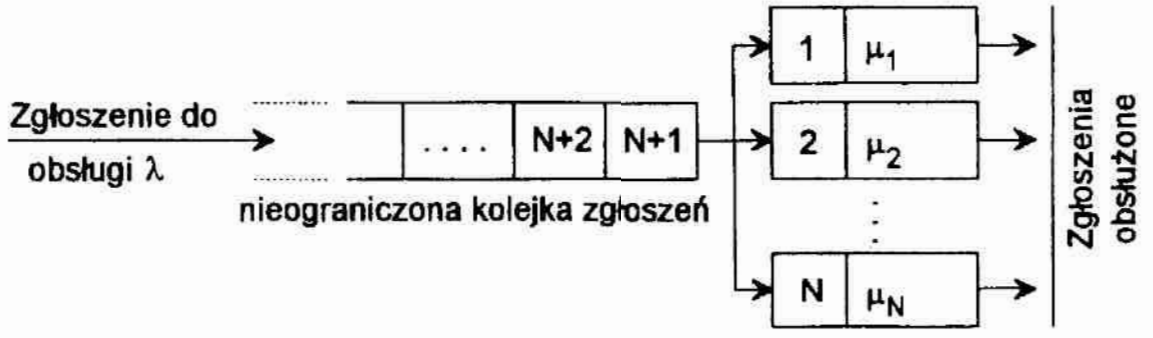
A) System bez strat z jednym kanałem obsługi i nieograniczoną kolejką.



Zgłoszenia przybywające do systemu są obsługiwane "od razu", jeśli kanał obsługi jest wolny. W przeciwnym przypadku stają w kolejce i obsługiwane są po zwolnieniu kanału w kolejności przybywania.

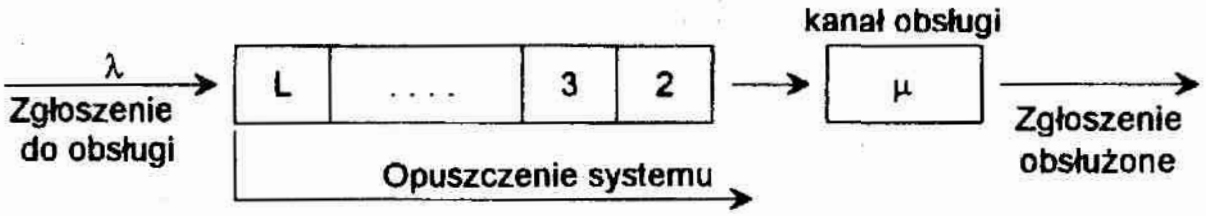
W przypadku części zamiennych i materiałów eksploatacyjnych, kolejkę tworzą części znajdujące się w zapasie, a ich "obsługa" polega na opuszczeniu systemu zaopatrywania i przejściu do systemu eksploatacji. Można zatem regulować częstość i wielkość dostaw lub sposób eksploatacji danego magazynu. Postępowanie zależy od przyjętego kryterium i od możliwości oddziaływania systemu zaopatrywania na inne systemy.

B) System bez strat z *N* kanałami obsługi i nieograniczoną kolejką.



Zgłoszenia przybywające do systemu kierowane są do obsługi, aż do zajęcia wszystkich N kanałów. Jeśli wszystkie kanały są zajęte, to zgłoszenia ustawiają się w kolejce i obsługiwane są w kolejności przybywania w miarę zwalniania kolejki.

C) System z jednym kanałem i ograniczoną liczbą miejsc w kolejce i obsłudze.

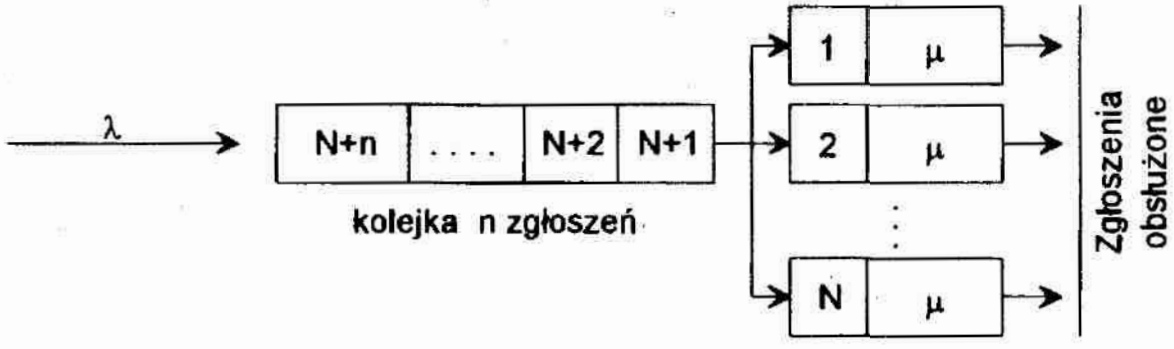


Jest to system ze stratami, które powstają, gdy liczba zgłoszeń do obsługi utworzy kolejkę o L - 1 miejscach. Wszystkie następne zgłoszenia nie są przyjmowane do kolejki tak długo, jak długo znajduje się w niej L - 1 nieobsłużonych jednostek. Razem ze zgłoszeniem przebywającym w obsłudze otrzymuje się w takim przypadku łączną liczbę zgłoszeń w systemie.

System taki można interpretować jako fragment systemu zaopatrywania w jeden asortyment części lub materiałów eksploatacyjnych, dla którego liczba możliwych do zrealizowania zamówień nie może przekroczyć pewnej ustalonej wielkości L.

W praktyce, liczba L wyznacza wielkość zapasu lub wielkość spodziewanych dostaw, które (jeśli nie są odległe w czasie) powodują, że system zaopatrywania przyjmuje zapotrzebowanie napływające od użytkowników w liczbie nie większej od liczby możliwej do zrealizowania. Zapotrzebowania tworzą wtedy kolejkę w oczekiwaniu na obsługę.

D) System z N kanałami obsługi i ograniczoną liczbą zgłoszeń.



System ten ograniczony jest pewną wielkością zgłoszeń n, przy czym intensywność obsługi jest jednakowa dla wszystkich kanałów. Zatem model ten może być stosowany do obliczania zapasu części zamiennych w systemach, w których liczba

zaopatrywanych urządzeń jest niewielka. Interpretując sprawną część zamienną (zespół, podzespół) jako wolny kanał obsługi, zaś urządzenie użytkowane w systemie jako potencjalne zgłoszenie do obsługi, wielkość zapasu określa się obliczając sumę wg (2) tak długo, dopóki założone kryterium nie jest spełnione.

$$P_o = [1 + \rho \sum^{N+n-1} \rho^k]^{-1} , \qquad (2)$$

przy czym:

$$\rho = \lambda/\mu , \qquad (\rho < 1) . \qquad (3)$$

Prawdopodobieństwo P_k, że k kanałów jest zajętych opisuje wzór

$$P_k = \rho^k P_o . \qquad (4)$$

Średnia liczba zgłoszeń n_k oczekujących w kolejce z powodu braku wolnych kanałów obsługi może być wyliczona ze wzoru

$$n_K = \sum_{k=1}^{n} k P_{k+N} . \qquad (5)$$

Średni czas oczekiwania zgłoszenia w kolejce z powodu braku wolnych kanałów obsługi opisywany jest zależnością (6)

$$T_K = n_k \mu^{-1} , \qquad (6)$$

natomiast, średnią liczbę zajętych kanałów obsługi można wyliczyć ze wzoru (7)

$$N_z = \sum_{k+1}^{N+n} k P_k . \qquad (7)$$

Kryterium podającym koniec obliczeń może być: średni czas przestoju urządzenia, spowodowany brakiem części zamiennych (6) lub współczynnik gotowości, wyrażony wzorem (8)

$$K_g = \frac{n_k}{n} . \qquad (8)$$

Liczba części zamiennych równa jest liczbie powtórzeń, w trakcie których obliczamy wartość sumy (2) lub inaczej mówiąc, liczbie kanałów niezbędnych do zapewnienia określonego czasu obsługi lub wartości współczynnika gotowości K_g.

Kryteria zakończenia obliczeń mogą być przyjmowane w zależności od rzeczywistych potrzeb systemu użytkowania i dotyczyć różnych wielkości, np. kosztów, liczby zatrudnionego personelu itp.

W systemach eksploatacji mają zastosowanie przeważnie systemy bez strat, do nich ograniczono się więc w tym ćwiczeniu.

3. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z metodyką kształtowania zapasów części lub zespołów zamiennych, wykorzystując modele obsługi masowej.

4. Dane wyjściowe

Obliczyć zapasową liczbę części, która winna znajdować się w magazynie bezpośrednim, jeżeli wiadomo, że użytkowanych jest n urządzeń z daną częścią. Oszacowana intensywność strumienia zapotrzebowania ze względu na uszkodzenia tej części wynosi λ [h^{-1}]. Przeciętny czas realizacji zapotrzebowania (obsługi) wynosi τ [h]. Ze względu na terminowość realizowanych zadań, czas oczekiwania tego urządzenia na zapasową część nie powinien przekraczać T_{gr} [h].

5. Sposób realizacji

Sposób realizacji powyższego zadania zostanie pokazany na przykładzie obliczenia liczby zapasowych wrzecion szlifierskich (jako podzespoły: para górna lub para dolna) do automatycznych linii szlifierskich przeznaczonych do szlifowania żyletek w jednej z fabryk produkujących te wyroby. Fabryka ta użytkuje w ciągłej pracy dwuzmianowej 5 takich linii automatycznych. Wydajność linii wynosi: od 360 do 380 sztuk żyletek na minutę. Praca trwa na dwie zmiany (po 8 godzin). Awaryjne

zatrzymanie takiej linii z powodu zużycia się np. ściernic (elementów roboczych wrzecion szlifierskich) na jedną zmianę wynosi: 370 × 60 × 8 = 177.600 sztuk. Licząc, że koszt operacji szlifierskiej wynosi 10 % ceny zbytu żyletki (wynoszącej 1 zł), daje to stratę ponad 17 tysięcy zł. Aby się przed tym zabezpieczyć, muszą być w rezerwie pewne liczby wrzecion, gotowych do wymiany w razie potrzeby.

Przykładowe warunki zadania $n = 5$ linii automatycznych, $\lambda = 0{,}01\ h^{-1}$, $t = 50$ h, $T_{gr} = 8$ h.

Algorytm postępowania:

Obliczenie niezbędnego zapasu części zamiennych wykonujemy wg poniższej kolejności.

1. Obliczamy wskaźnik intensywności obsługi ρ

$$\rho = \lambda/\mu = \lambda\, t = 0{,}01 \times 50 = 0{,}5$$

2. Zakładamy, na początek, że liczba N zapasowych wrzecion, niezbędnych do spełnienia warunku $T_k \le T_{gr}$ wynosi $N = 1$, zaś możliwa liczba jednoczesnych zgłoszeń $n = 5$.

3. Wg wzoru (3) liczymy prawdopodobieństwo, że wszystkie wrzeciona są sprawne

$$P_o = [1 + 0{,}5 \sum_{k=0}^{1+5-1} 0{,}5^k]^{-1} =$$

$$= [1 + 0{,}5(0{,}5^0+0{,}5^1+0{,}5^2+0{,}5^3+0{,}5^4+0{,}5^5)]-1 = 0{,}508$$

4. Według wzoru (4) obliczamy prawdopodobieństwo, że k wrzecion jest niesprawnych ($k = 2, 3, \ldots, n + N$). Uwzględniając, że $n = 5$, oraz $N = 1$, obliczamy prawdopodobieństwa

$$P_2 = 0{,}508\ (0{,}5)^2 = 0{,}127\ ,$$
$$P_3 = 0{,}508\ (0{,}5)^3 = 0{,}0635\ ,$$
$$P_4 = 0{,}508\ (0{,}5)^4 = 0{,}03175\ ,$$
$$P_5 = 0{,}508\ (0{,}5)^5 = 0{,}015875\ ,$$
$$P_6 = 0{,}508\ (0{,}5)^6 = 0{,}0079375\ ,$$

Warto zwrócić tu uwagę, że znając prawdopodobieństwo P_k łatwo obliczamy P_{k+1} według zależności $P_{k+1} = \rho\, P_k$, wynikającej z prostego przekształcenia wzoru(4).

5. Uwzględniając, że $n = 5$ oraz $N = 1$, obliczamy wg wzoru (5), średnią liczbę linii oczekujących w kolejce na naprawę z powodu braku zapasowych wrzecion

$$n_k = \sum_{k=1}^{n} k\, P_{k+N} = \sum_{k+1}^{5} \mathrm{k}\, P_{k+1} = 1P_2 + 2P_3 + 3P_4 + 4P_5 + 5P_6 .$$

Po podstawieniu obliczonych w punkcie 4 wartości P_k otrzymamy

$$n_K = 1 \times 0{,}127 + 2 \times 0{,}0635 + 3 \times 0{,}03175 + 4 \times 0{,}015875 + + 5 \times 0{,}0079375 = 0{,}452 .$$

6. Średni czas przestoju linii w kolejce z powodu braku wrzeciona liczymy wg wzoru (6)

$$T_K = n_K\, \mu^{-1} = 0{,}452 \times 50 = 22{,}6 \text{ h} .$$

7. Sprawdzamy, czy spełniona jest relacja $T_K \le T_{gr}$ przy istniejącym zapasie $N = 1$ wrzeciono.

Czas $T_K = 22{,}6$ nie jest mniejszy ani równy $T_{gr} = 8$ h, co oznacza, że zapas $N = 1$ wrzeciono jest niewystarczający. Zwiększamy zatem zapas N wrzecion o jeden (punkt 8. algorytmu postępowania) i cały cykl obliczeń wykonujemy od początku. Wyniki takich obliczeń dla $N = 1, 2, 3$ przedstawiono w tab. 2.

Tabela 2. Zależność czasu T_K oczekiwania w kolejce od wielkości zapasu N

N	P_o	n_K	T_K h	T_{gr} h
1	0,505	0,452	22,6	8
2	0,504	0,225	11,3	8
3	0,502	0,111	5,6	8

Z obliczeń przedstawionych w tabeli 2 wynika, że dla spełnienia warunku $T_k \le T_{gr}$ wystarczy, aby zapas składał się z $N = 3$ wrzecion. Dla $N = 3$ średni czas postoju w kolejce spowodowany brakiem zapasu $T_K = 5{,}6$ h jest mniejszy od dopuszczalnego T_{gr} wynoszącego 8 godzin

$$5{,}6 < 8 \rightarrow N = 3.$$

Przedstawiony algorytm postępowania może być stosowany tylko dla najniższego poziomu magazynów, tzn. dla magazynów

bezpośrednio obsługujących użytkowników urządzeń (w analizowanym przypadku jest to magazyn wydziałowy). Na wyższych poziomach (np. w składnicach części zamiennych) zarówno liczba zgłoszeń jak i liczba kanałów mogą być nieograniczone i wówczas należy poszukiwać rozwiązań stosując inne modele i inne metody planowania zapasów.

W praktyce wygodniej jest, zamiast z tablicy zawierającej kolejne wartości obliczeń, korzystać z wykresów np. $Z = f(T_K)$ dla ustalonego n (przy czym $Z = N$). Dysponując takim wykresem można w ciągu bardzo krótkiego czasu określić zapas Z w zależności od przyjętej wartości kryterium. W ogólnym przypadku wykres taki powinien się składać z rodziny krzywych dla różnych wartości parametru n w układzie współrzędnych, z których jedną jest zapas, a drugą wielkość porównywalna z przyjętym kryterium np. funkcja $T_K = f(Z)$.

6. Tok postępowania

1) Dla treści zadania podanego w danych wejściowych założyć parametry niezbędne do analizy strumienia zaopatrywania, tj. wartości: λ, t, T_{gr} oraz liczbę eksploatowanych urządzeń n (do celów dydaktycznych, każdy student wartości te przyjmuje indywidualnie).
2) Dokonać odpowiednich obliczeń wg modelu obsługi masowej (system z N kanałami obsługi i ograniczoną liczbą zgłoszeń), korzystając z podanego w ćwiczeniu sposobu realizacji takiego zadania i algorytmu postępowania. Celowe i pożądane jest opracowanie programu komputerowego, pozwalającego zarówno przyspieszyć obliczenia jak i prowadzić określone badania symulacyjne.
3) Opracować wykres $Z = f(T_K)$ dla przyjętej wartości n oraz mniejszej o 2 $(n - 2)$ i większej o 2 $(n + 2)$, przy czym na osiach: T_K oraz Z, winno znajdować się co najmniej 10 punktów.

7. Sprawozdanie

W sprawozdaniu należy podać cel ćwiczenia , treść zadania z ustalonymi przez siebie danymi wyjściowymi, wszystkie obliczenia i wyniki lub napisany przez siebie program

komputerowy oraz opracowany wykres $Z = f(T_K)$ z zaznaczonym wynikiem końcowym dotyczącym treści zadania.

8. Literatura

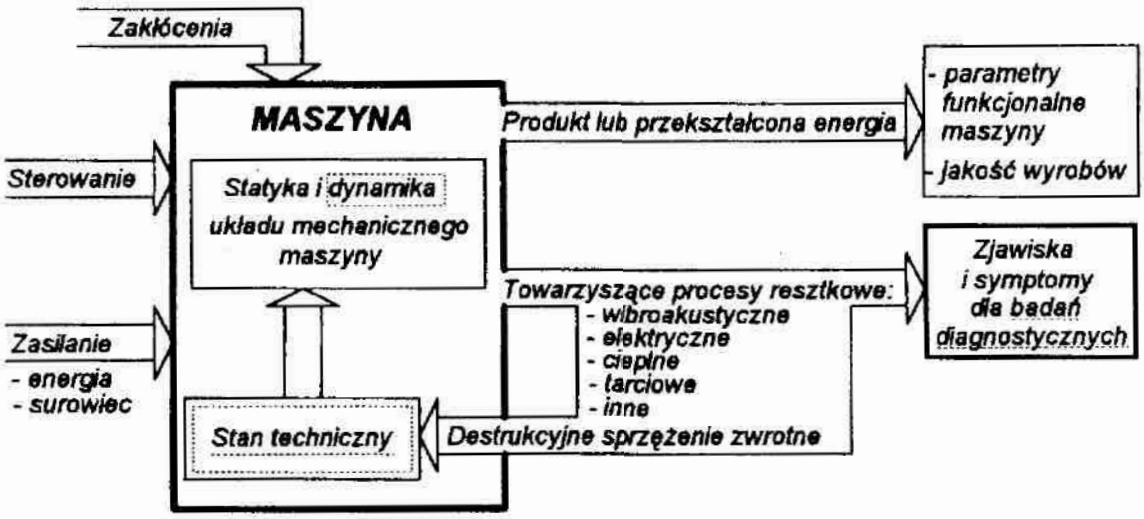
1. Burzyński J.: Teoria masowej obsługi. Skrypt Politechniki Krakowskiej, Kraków 1977 r.
2. Okręglicki W., Łopuszański B.: Użytkowanie urządzeń mechanicznych. WNT, Warszawa 1980 r.
3. Rosenberg W., Prochorow A.: Teoria masowej obsługi. PWE, Warszawa 1965 r.
4. Wolszczan J.: Zastosowanie teorii masowej obsługi w transporcie samochodowym. WKiŁ, Warszawa 1970 r.
5. Zitek F. Stracony czas. Elementy teorii obsługi masowej. PWN, Poznań 1974 r.

Ćwiczenie 18

Temat: DIAGNOSTYKA WIBROAKUSTYCZNA MASZYN I URZĄDZEŃ PRZYRZĄDEM DIAGNOTEST V-032

1. Wprowadzenie

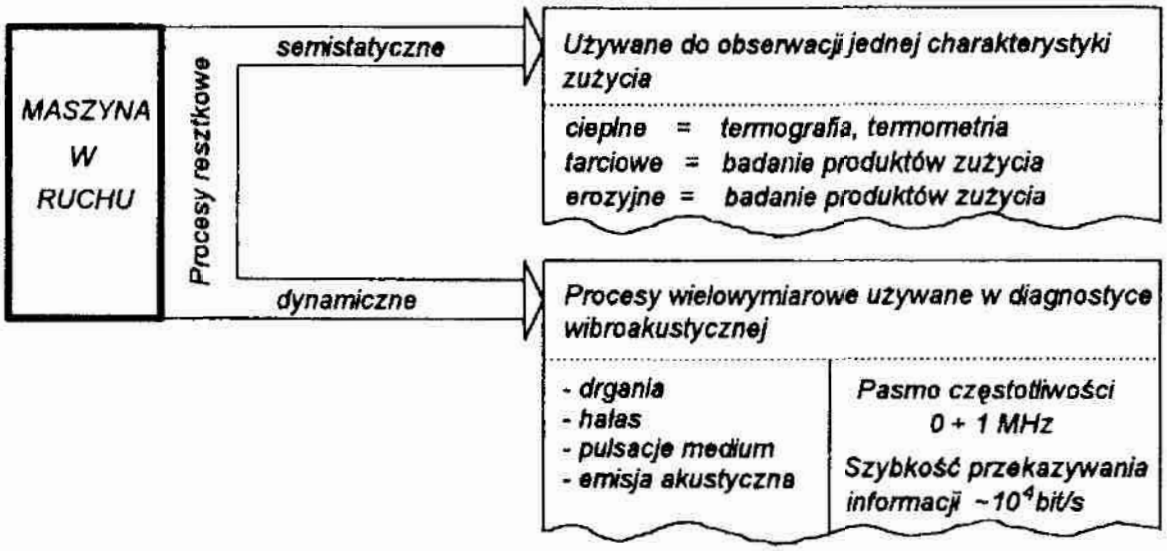
Wytworzenie "czegoś" nowego kończy się zazwyczaj aktem sprawdzenia tego czy to "coś" jest dobre. Ponieważ to "coś" jest już zbudowane - nie można wchodzić bezpośrednio do jego wnętrza. Można jedynie rozpoznać stan (dobra) pośrednio, za pomocą specjalnych metod, umożliwiających - tak jak aparat rentgenowski - "przeniknięcie" przez ścianki tego "czegoś" - rys 1.



Rys. 1. Maszyna jako system działaniowy z przepływem energii i informacji oraz możliwością jej obserwacji diagnostycznej

Rozpoznawaniem stanu (istniejącego w danej chwili "dobra") maszyn i urządzeń technicznych zajmuje się diagnostyka techniczna. Oczywiście aparatu rentgenowskiego w diagnostyce technicznej nie da się zastosować. Zresztą nie

tylko dlatego, że promienie rentgenowskie z trudem przenikają przez metal - podstawowe tworzywo maszyn. Nawet gdyby istniała możliwość obejrzenia przez ścianki obudowy - łożysk, przekładni lub sprężyn, to na podstawie tylko ich wyglądu zewnętrznego nie da się ocenić ilości tego pożytku, którego dana maszyna posiada w pewnej chwili. Na określonym stopniu złożoności organizacji (budowy) pojawiają się bowiem pewne funkcje użytkowe wynikające ze złożoności tej maszyny, ponadto ich wartość jest zmienna w czasie. Z każdym użytecznym procesem (eksploatacyjnym) związane są też efekty towarzyszące, zakłócające lub nie zakłócające ten proces - nazywane efektami resztkowymi. Diagnostyka techniczna polega więc na ocenie stanu urządzeń mechanicznych przez badania bezpośrednie tych funkcji użytkowych (np. wydajności, mocy itp.) i badania pośrednie efektów resztkowych. Efekty te bowiem w sposób niezamierzony, ale i nieodłączny, towarzyszą funkcjonowaniu maszyn - rys. 2.



Rys. 2. Diagnostyczna specyfikacja procesów resztkowych towarzyszących funkcjonowaniu maszyny

Ich sprawność energetyczna w sensie mocy dostarczanej maszynie, jest znikoma - rzędu 10^{-6} i mniej niemniej jednak ich zwrotne działanie ma w większości charakter destruktywny - niszczący.

Wśród efektów resztkowych poczesne miejsce zajmuje efekt wibroakustyczny (np. drgania, hałas) nieodłącznie związany

z funkcjonowaniem każdej maszyny Pod tą nazwą będziemy rozumieli (bez wdawania się w szczegóły definicyjne): każdy efekt dynamiczny zachodzący w maszynie (mechaniczny lub akustyczny), którego widmo częstotliwościowe zawiera się w granicach kilku herców do kilkudziesięciu kiloherców. Ocena stanu technicznego urządzeń mechanicznych na podstawie badań tego widma nosi nazwę diagnostyki wibroakustycznej. Diagnostyka wibroakustyczna pozwala przewidzieć uszkodzenie określonego węzła trybologicznego, a tym samym oszacować okres bezawaryjnej pracy maszyny

W zależności od konkretnych potrzeb i możliwości ten rodzaj diagnostyki może ujmować jedynie określenie stopnia zdatności obiektu do dalszej eksploatacji (diagnoza dwustanowa; zdatny - niezdatny), albo też określenie rodzaju i intensywności zaawansowania uszkodzenia (geneza uszkodzeń). Diagnostyka wibroakustyczna w pełnym rozumieniu ujmuje również wnioskowanie o dalszym bezawaryjnym czasie pracy maszyny (prognoza).

Normatywny czas pracy maszyny jest określany pewnymi wytycznymi (patrz tab. 3 tego ćwicz.) i gwarantowany przez producenta, pod warunkiem przestrzegania pewnych zaleceń podanych w dokumentacji techniczno - ruchowej (terminów przeglądów, smarowań itp.). Lecz mimo tego, w procesie eksploatacji takich samych maszyn notuje się dwa bardzo różne fakty. Po pierwsze istnieje grupa maszyn, dla której czas bezawaryjnej pracy jest znacznie krótszy od normatywnego. Po drugie remonty wykonywane w czasie normatywnym dla innej grupy maszyn nie znajdują uzasadnienia w ich dobrym stanie technicznym, przy czym remont taki z reguły pogarsza ich stan. Przyczyny tak dużego rozrzutu w bezawaryjnym czasie pracy są dwie: opisane już wcześniej przypadkowe zróżnicowanie własności uzyskane na etapie produkcji oraz rozrzut w charakterze i intensywności złożonych obciążeń eksploatacyjnych (między poszczególnymi egzemplarzami maszyn). Konieczność obiektywna natury ekonomicznej zmusza użytkowników do unikania nie planowanych przestojów i awarii z jednej strony, a z drugiej do eliminacji zbędnych remontów maszyn, będących w dobrym stanie technicznym (mimo przekroczenia normatywnego czasu pracy).

Podejmując dowolne zadanie rozpoznania stanu technicznego maszyny, trzeba umieć odpowiedzieć na cztery podstawowe pytania diagnostyki technicznej:

1. Co badać ? (jaką cechę),
2. Jak badać? (metodyka badań),
3. Czym badać ? (środki techniczne),
4. Jak wnioskować (system powiązań skutków z przyczynami).

Wykorzystując efekty wibroakustyczne do oceny stanów technicznych maszyn i urządzeń, podstawowym zagadnieniem jest posiadanie odpowiedniego przyrządu pomiarowego, pozwalającego z widma akustycznego wybrać sygnał niosący informację diagnostyczną. Marzeniem użytkowników jest ponadto posiadanie wyraźnych przepisów diagnostycznych - w stylu: "weź przetwornik, przyłóż w tym miejscu maszyny i odczytaj wartość na indykatorze przyrządu. Jeżeli wskazania znajdują się na czerwonym polu to wyłącz maszynę, jeśli na żółtym to przygotuj remont, jeśli zaś na zielonym to nie rób nic poza pomiarami" [1]. Na takie działanie pozwala przyrząd typu DIAGNOTEST V-032, zbudowany w Zakładzie Dynamiki i Wibroakustyki Maszyn Politechniki Poznańskiej.

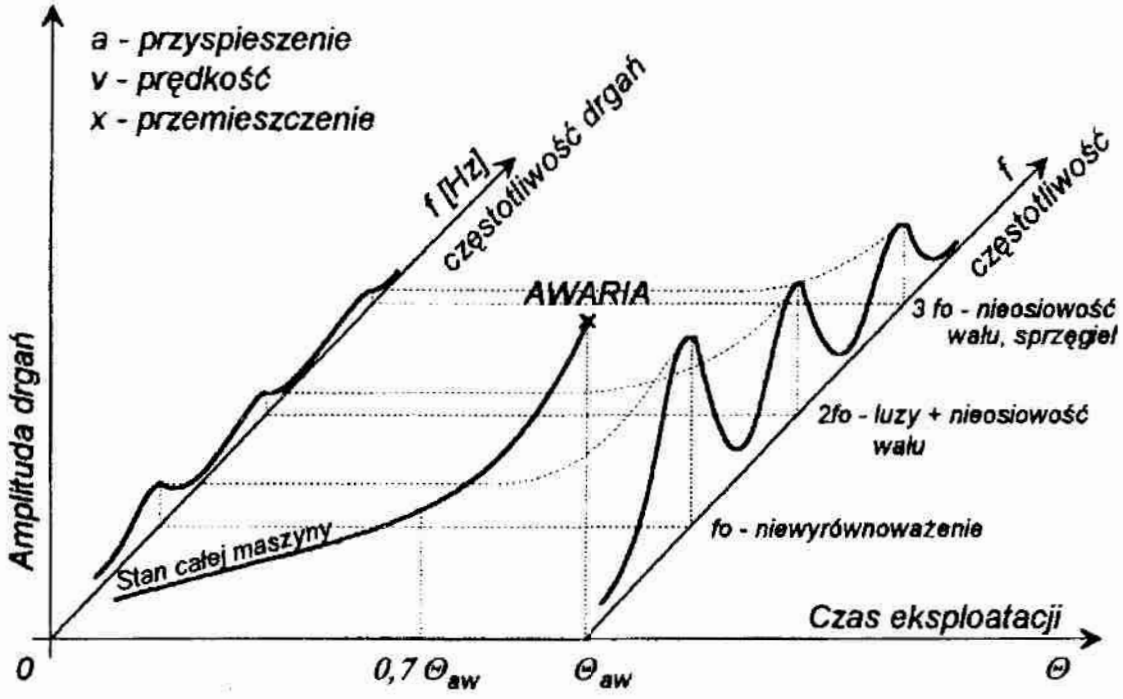
2. Podstawy nadzoru drganiowego eksploatowanych urządzeń

Każdemu stanowi technicznemu eksploatowanego urządzenia odpowiada określony sygnał akustyczny (drganiowy). Rozpoznanie tego stanu - czyli postawienie diagnozy - polega więc rozpoznaniu sygnału wysyłanego przez badane urządzenie i porównaniu go ze stanem wzorcowym. W wyniku odpowiedniej klasyfikacji, stany techniczne badanych urządzeń mogą być podstawą do podjęcia określonych decyzji eksploatacyjnych.

Wśród pięciu możliwych rodzajów nadzoru maszyn (wizualny, drganiowy, produktów zużycia, wskaźników sprawności, emisji akustycznej) nadzór drganiowy (wibroakustyczny) dostarcza największą ilość informacji niezbędnych do oceny stanu technicznego urządzenia, bez potrzeby zatrzymywania jego ruchu. Nadzór ten umożliwia także bezawaryjne wydłużanie czasu pracy urządzenia dzięki

zamianie systemu remontów: z planowo - zapobiegawczego na system z nadzorem diagnostycznym.

W pracującej maszynie każdy zespół, każda jej część jest źródłem drgań akustycznych. Postępujące zużycie tych elementów maszyny jest związane ze wzrostem amplitud i zmianą charakteru (widma) drgań rys. 3.

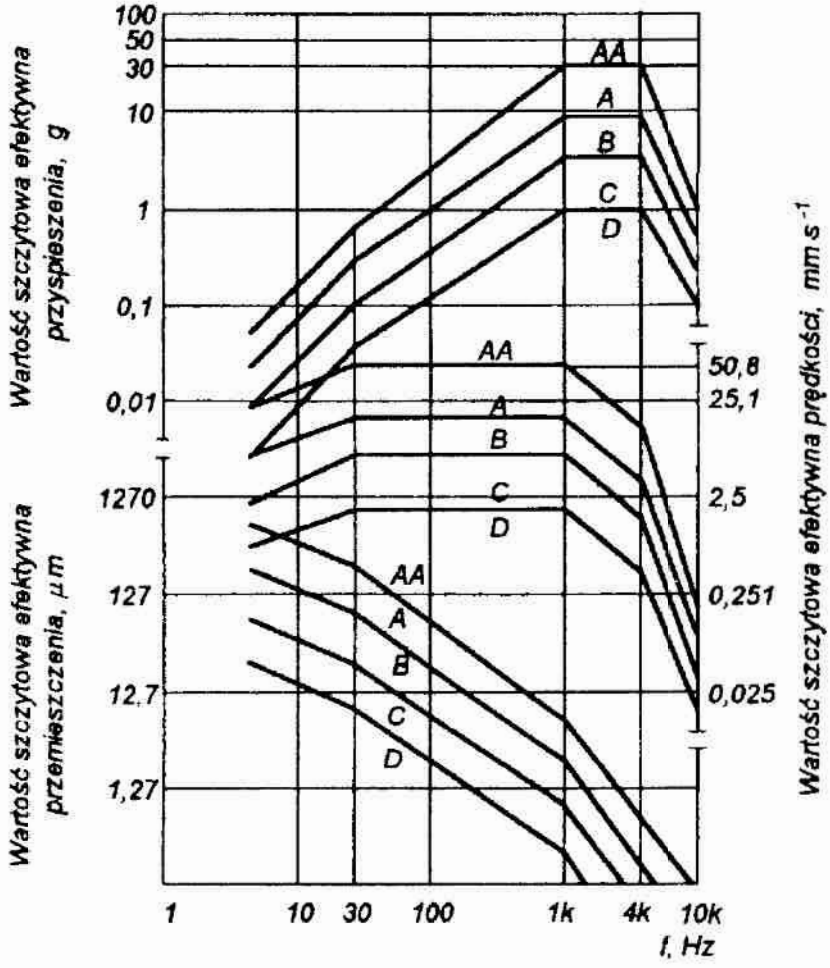


Rys. 3. Ilustracja zmiany amplitudy i widma (charakteru) drgań jako podstawa diagnostyki drganiowej

Jak wynika z rys. 1, amplituda drgań mierzona w całym paśmie częstotliwości daje informacje o stanie ogólnym całej maszyny. Natomiast amplituda w paśmie związanym z kinematyką maszyny daje informacje o stanie elementów składowych (łożyska, przekładnie itp.). Z rysunku tego wynika też fakt, że aby rozpoznać stan maszyny na podstawie takiego sygnału akustycznego potrzebne jest określenie wzorców (pokazujących jaka wartość amplitudy dopuszczalna jest dla danego stanu technicznego) oraz co będzie wielkością pomiarową (przyspieszenie lub prędkość ruchu drgającego). Do tego celu wykorzystywane są zalecenia określonych norm (patrz p. 3). Zalecenia te zostały wykorzystane do skalowania przyrządu DIAGNOTEST V-032.

3. Wzorce do badań wibroakustycznych

Punktem wyjścia do wszelkich ocen drganiowego stanu granicznego jest stan naprężeniowy elementów konstrukcji maszyny w niskich częstotliwościach określony przez amplitudę przemieszczania drgań, zaś dla wyższych amplitudę prędkości drgań. Kwestią sporną (w różnych normach) pozostaje tylko ta częstotliwość graniczna pomiędzy pomiarem przemieszczenia drgań jako miary stanu naprężeniowego, a pomiarem prędkości. Czesław Cempel w swojej pracy [1] wylicza, że granica częstotliwości, powyżej której stan naprężeniowy elementu konstrukcyjnego jest określony za pomocą prędkości drgań, jest rzędu kilkudziesięciu hertzów oraz, że graniczna wartość amplitudy prędkości wynosi dla stali 25 $mm \cdot s^{-1}$. Analizując różne normy uznaje za najlepszą i poleca - jako godną do zastosowania - normę opracowaną przez Blake'a, z której wykres drganiowej klasyfikacji stanu maszyn na podstawie drgań korpusu lub obudowy łożysk pokazano na rys. 4 [wg 1].



Rys. 4. Drganiowa klasyfikacja stanu maszyny na podstawie pomiarów drgań korpusu lub obudowy łożysk

Wyjściową wielkością jest prędkość drgań, pozostałe przelicza się dla dominującej częstotliwości drgań.
Drganiowa klasyfikacja uszkodzeń:

AA	- katastrofalne;	Wyłącz natychmiast!
A	- groźne;	Napraw w ciągu 48 h!
B	- częściowe;	Napraw w ciągu 21 dni!
C	- niewielkie;	Nie naprawiaj!
D	- bez uszkodzeń;	Nie naprawiaj!

Uwaga: *Wartości efektywne badanych parametrów uzyskuje się z przemnożenia wartości zmierzonych przez współczynnik D (tab. 1).*

Tabela 1. Zalecane wartości współczynnika dyspozycyjności *D*

Rodzaj maszyny	Współczynnik
Silnik elektryczny, jednostopniowa pompa wirowa wentylator	$D = 1$
Typowe maszyny niekrytyczne (nie w linii)	$D = 1$
Turbina, generator, sprężarka radialna, pompa wielostopniowa	$D = 2$
Typowe maszyny krytyczne ze względu na swoją funkcję	$D = 2$
Wirówka ze sztywnym wałem (pomiar na obudowie)	$D = 2$
Różne urządzenia o nieznanych charakterystykach	$D = 2$
Fundament żelbetowy	$D = 2$
Przekładnia zębata, pomiar na kadłubie	$D = 2 \div 3$
Wirówka z wałem podwieszonym	$D = 0,3$
Łożyska toczne o średnicy 30 do 200 mm	$D = 0,5$

Norma ta rozgranicza wyraźnie częstotliwości drgań do 30 Hz. W zakresie 30 Hz ÷ 1 kHz wielkością kryterialną jest stała prędkość, a pozostałe wielkości uzyskuje się z przeliczenia dominującej częstotliwości drgań. Wielkością kryterialna powyżej 1 ÷ 4 kHz jest stałe przyspieszenie z możliwością podobnych przeliczeń. Natomiast w zakresie 4 ÷ 10 kHz wielkością kryterialną może być stała pochodna przyspieszenia.

4. Ocena stanu eksploatacyjnego maszyny

Diagnotest V-032 umożliwia prowadzenie diagnostyki eksploatacyjnej przekładni i łożysk tocznych na podstawie

pomiaru przyspieszeń oraz diagnostyki szerokiej klasy maszyn i urządzeń na podstawie pomiaru prędkości drgań mechanicznych. Dołączony do przyrządu suwak diagnostyczny LDH - 80 umożliwia przeliczanie z jednego parametru na drugi. Mierzymy rzeczywiste wartości prędkości v lub przyspieszenia A, ale po ustawieniu określonego współczynnika dyspozycyjności D, otrzymujemy te parametry w postaci "efektywnej" (v_{ef} lub A_{ef}).

Aby badać stan techniczny maszyny tym przyrządem należy:

1) Wybrać do badań określone parametry akustycznego źródła sygnału. Przyrząd pozwala mierzyć zarówno prędkość jak i przyspieszenie ruchu drgającego:
   - przyspieszenie A jest szczególnie wskazane do oceny stanu łożysk tocznych i przekładni zębatych (wysokie częstości źródła sygnału),
   - prędkość v używana jest do standardowej oceny stanu całej maszyny (np. wg ISO Std 3945).

2) Przyjąć wartość współczynnika dyspozycyjności D dla badanej maszyny - tab. 1. Współczynnik ten (nastawiający skalę amplitud Diagnotestu) dla każdej konkretnej maszyny należy ustalać na podstawie własnych obserwacji. Można tutaj jednak podać pewne przesłanki do jego ustalenia. Dla przeciętnej maszyny wirującej, współczynnik dyspozycyjności wynosi 1 ($D = 1$). Współczynnik ten rośnie tj. ($D > 1$), dla maszyn o odpowiedzialnej funkcji, np. pracujących szeregowo w linii technologicznej. Z kolei, dla maszyn pracujących równolegle z rezerwowaniem, wartość D może być mniejsza od jedności ($D < 1$). Może być mniejsza ale nie musi, gdyż współczynnik dyspozycyjności zależy jeszcze od poziomu drgań znamionowych oraz łącznej masy fundamentu i maszyny (sztywny montaż).

3. Wybrać miejsce ustawienia czujnika pomiarowego.
   Najbardziej odpowiedzialnym elementem maszyn o ruchu obrotowym są łożyska, w których przenoszone są wszystkie obciążenia statyczne i dynamiczne (we współdziałaniu elementów wirujących i korpusu). Z tej racji, na łożyskach i ich obudowach należy szukać pierwszych objawów rozwijającego się uszkodzenia. Preferowany kierunek pomiaru (kierunek osi przetwornika) winien być kierunkiem maksymalnej amplitudy drgań w wybranym miejscu.

Generalnie istnieją trzy sposoby zapewnienia styku przetwornika przyspieszeń z wybranym punktem pomiaru diagnostycznego.

A) Pomiar z ręki - gdzie używamy przetwornika z nakładką penetratora i dociskamy go z siłą 20 ÷ 50 N (2 ÷ 5 kG) do wybranego punktu. Ten sposób pomiaru zapewnia jedynie przenoszenie pasma około 600 ÷ 800 Hz i może być bardzo mylący przy pomiarze przyspieszeń.

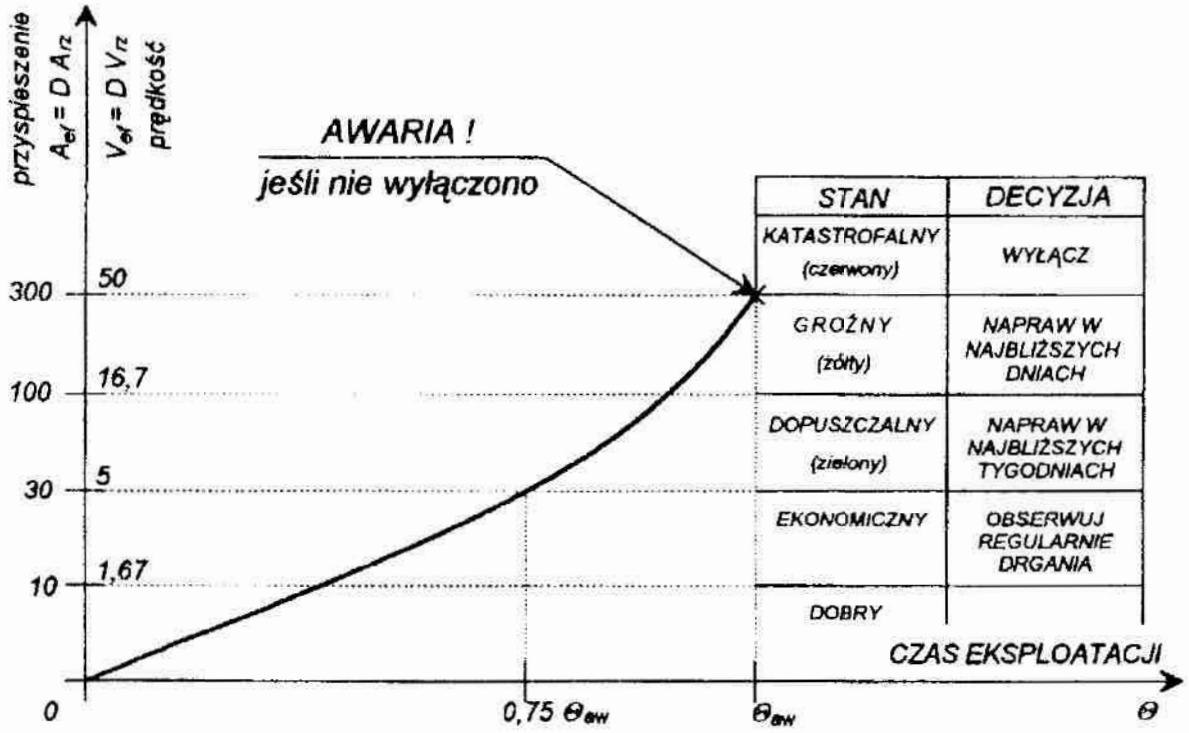
B) Mocowanie na magnes - zapewnia pasmo do 2 kHz (magnes należy do wyposażenia specjalnego przyrządu).

C) Mocowanie na wkręt (przez cienką warstwę oleju silikonowego). Mocowanie to zapewnia przenoszenie całego pasma pomiarowego drgań zgodnie z charakterystyką przetwornika. Dla posługiwania się tym sposobem w wybranym miejscu należy przykleić lub przyspawać nakrętkę o gwincie M8 i płaskiej powierzchni większej niż czoło przetwornika. Smarując obie powierzchnie smarem silikonowym dokręcamy przetwornik. Jeżeli jest to możliwe, to można, zamiast przyklejania nakrętki, w miejscu pomiaru wywiercić i nagwintować otwór M8.
Ten sposób (C) umożliwia pełne wykorzystanie własności przetwornika przyspieszeń w diagnostyce łożysk tocznych, przekładni i wykrywaniu kawitacji w maszynach i instalacjach przepływowych.

4. Ocenić stan eksploatacyjny maszyny.
Z doświadczeń eksploatacyjnych wiadomo, że zmiana stanu maszyny z dobrego na dopuszczalny jest związana z co najmniej dwukrotną zmianą amplitudy drgań, przy czym jako poziomy niedopuszczalne przyjmuje się: $A_{ef,kat} = 316\ ms^{-2}\ P$ oraz $v_{ef,kat} = 50\ mms^{-1}\ P$ (gdzie P - amplituda średnia szczytowa).

W przyrządzie DIAGNOTEST V-032 przyjęto (zgodnie z odpowiednimi normami), że zmiana stanu maszyny jest związana ze wzrostem amplitudy o pierwiastek z 10, tj. o wartość 3,16. Tak więc, w przyrządzie tym zastosowano 10 krotną zmianę amplitudy przy przejściu od stanu dobrego do katastroficznego. Pomiędzy tymi granicznymi stanami zastosowano jeszcze podział na trzy stany pośrednie. Graficzny

obraz takiego podziału wyrysowano na czołowej płycie przyrządu - rys. 5.



Rys. 5. Drganiowa krzywa życia maszyny z indykacją stanu maszyny i decyzjami eksploatacyjnymi oraz ze skalą przyspieszeń A_{ef}, prędkości v_{ef} i kolorów wskazań jakie wykorzystano w przyrządzie DIAGNOTEST -V032

5. Sposób pomiaru przyrządem DIAGNOTEST (rys. 6)

Aby wykonać pomiar tym przyrządem, należy:

1) Dokonać połączenia przyrządu z czujnikiem piezoelektrycznym za pośrednictwem kabla koncentrycznego i gniazda BNC-50/61.
2) Dokonać połączenia przyrządu z zasilaczem sieciowym używając przewodu 2 żyłowego i gniazda GM 545 (jedynie w przypadku braku baterii w pojemniku - sprawdzić czy jest bateria!).
3) Sprawdzić napięcie zasilające (wcisnąć klawisz "ZAŁ" i "BAT"), wskazówka miernika powinna się znajdować w polu oznaczonym "BAT", w wypadku, gdy napięcie jest odpowiednie.

4) Wyłączyć zasilanie: wycisnąć kl. "ZAŁ".
5) Wybrać współczynnik dyspozycyjności D poprzez wciśnięcie jednego z klawiszy.
6) Ustalić wartość współczynnika D wg tabeli 1.
7) Wybrać rodzaj pomiaru: - prędkość v_{ef} - wcisnąć kl. V_{ef}, - przyspieszenie A_{ef} - wcisnąć kl. A_{ef}.
8) Dokonać pomiaru wykonując następujące czynności:
   - docisnąć końcówkę czujnika do badanego elementu (patrz p. A, B, C),
   - włączyć zasilanie wciskając klawisz "ZAŁ",
   - odczytać wskazania miernika,
   - odczytać aktualne uwagi o stanie maszyny w obszarze diagramu, sygnalizowanym przez diodę świecącą.

6. Wnioskowanie diagnostyczne za pomocą DIAGNOTESTU

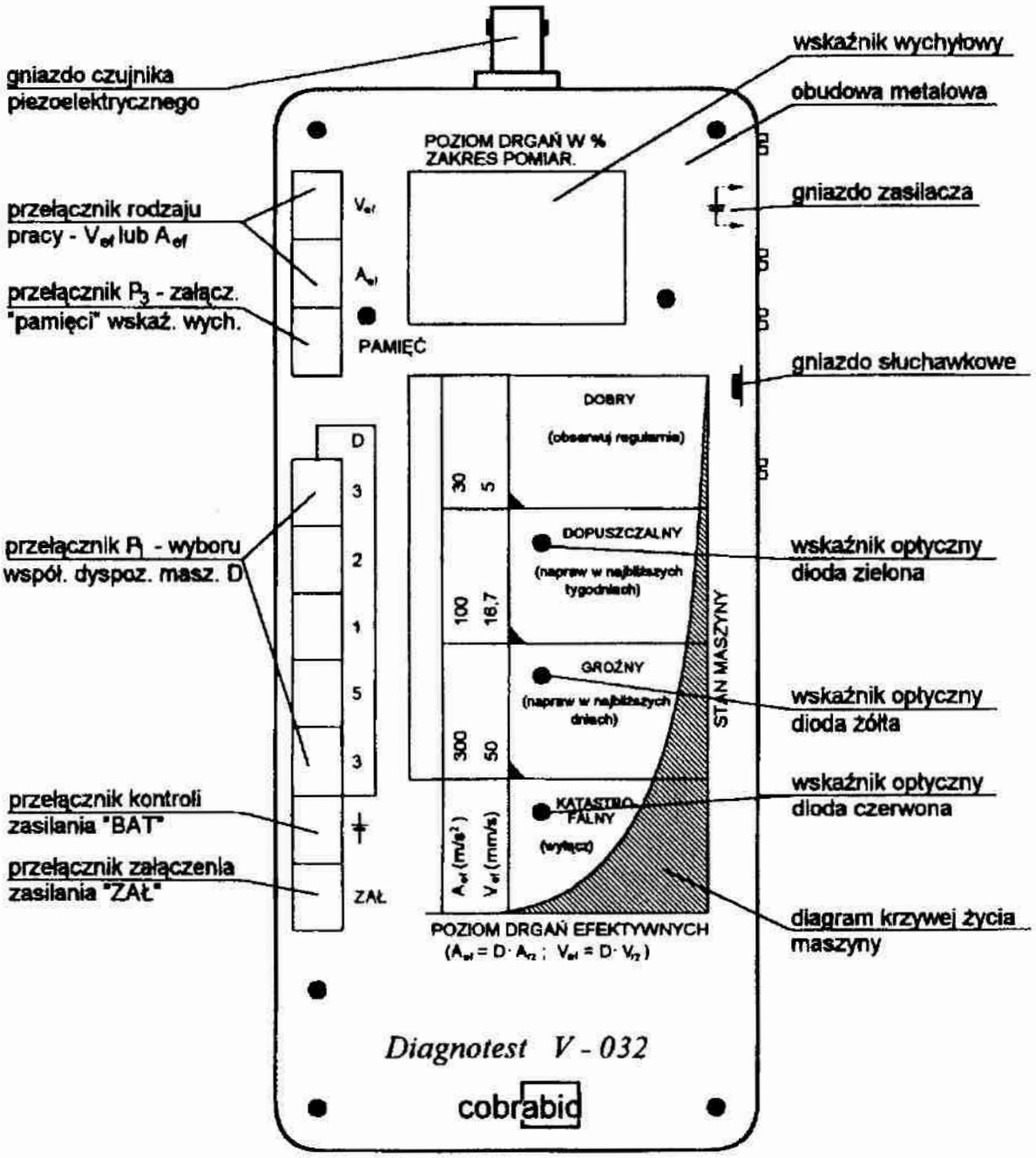
W postępie naszej wiedzy o diagnozowaniu stanu maszyn według sygnału wibroakustycznego możemy już dać odpowiedź na trzy podstawowe pytania diagnostyki: co mierzyć?, jak mierzyć?, czym mierzyć?. Pozostało tylko jeszcze ostatnie pytanie: jak wnioskować?. Zrealizujmy jednak najpierw pierwsze trzy etapy diagnostyki: włączmy sprawdzony i sprawny DIAGNOTEST - V032 i obserwujmy wskazania miernika i kolorowych diod sygnalizacyjnych. Jeśli wskazania będą niestabilne, należy włączyć przycisk PAMIĘĆ, zwiększając w ten sposób stałą czasu obwodu indykacji. Odczytując wskazania jednej z kolorowych diod (tej, która się zaświeciła) mamy wskazania zakresu pomiarowego drgań efektywnych, zaś obserwując jednocześnie wskaźnik mamy możność oceny czy drgania maszyny znajdują się na początku tak określonego stanu. Przykładowo: stan GROŹNY, kolor żółty $A_{ef} = 100 \div 300$ ms^{-2}, możemy ocenić, czy drgania wynoszą np: 150 czy 250 ms^{-2}, stąd też nasza określona decyzja eksploatacyjna - tutaj: "PRZYGOTUJ REMONT w najbliższych dniach" może być bardziej precyzyjna (im mniejsza wartość, tym termin remontu możemy nieco odsunąć, i odwrotnie). Dla łatwiejszego uchwycenia tego faktu, na stronie czołowej przyrządu wrysowano krzywą życia maszyny. Pokazano ją na rys. 5. Konfrontując ten rysunek ze wskazaniami przyrządu można

podejmować określoną decyzję eksploatacyjną. Stany techniczne maszyny i odpowiadające im poziomy decyzyjne to:

- obserwuj regularnie, napraw w najbliższych tygodniach,
- napraw w najbliższych dniach,
- wyłącz.

Odpowiadają one następującym stanom technicznym maszyny:

- dobry,
- dopuszczalny,
- groźny,
- katastroficzny.



Rys. 6. Widok płyty czołowej przyrządu Diagnotest V-032

7. Zalecenia dotyczące oczekiwanego czasu życia (trwałości) zespołów i elementów maszyn

Zabiegi remontowo - konserwacyjne parku maszynowego powinny być planowane i wykonywane w okresach wynikających ze średniej trwałości $\bar{T}$ najbardziej odpowiedzialnego elementu lub podzespołu maszyny. Trwałość tę dla wielu elementów, podzespołów itp. można znaleźć posługując się dwoma tabelami (tab. 2 i tab. 3) zamieszczonymi w ślad za [1] i prostą formułą postaci

$$\bar{T} = k \cdot T_e . \qquad (1)$$

Występujący tu współczynnik k kumuluje zagrożenie wynikające z warunków otoczenia, w którym jest zainstalowana maszyna (p. tab. 2), natomiast T_e jest oczekiwanym czasem życia w warunkach wzorcowych, (przy $k = 1$). Zalecane wartości (dolną, średnią i górną) oczekiwanego czasu życia różnych elementów, podzespołów i urządzeń przytoczono w tab. 3.

Tabela 2. Współczynnik zagrożenia otoczenia k

Typowe warunki instalacji	Całość urządzeń	Wypos. elektrycz. i elektron.	Wypos. elektro-mechan.	Wypos. mechan. (dynam.)
Pokład satelity	2,50	2,60	2,40	2,10
Laboratorium klimatyzowane	1,00	1,00	1,00	1,00
Laboratorium zwykłe	0,54	0,55	0,51	0,50
Warunki naziemne	0,30	0,31	0,26	0,25
Pokład statku	0,19	0,21	0,17	0,15
Pokład samolotu	0,16	0,18	0,14	0,12
Pokład pocisku kierowanego	0,15	0,17	0,13	0,11

U podstaw danych zamieszczonych w tych tabelach tkwią następujące założenia:

1) Przytoczone dane odpowiadają działaniu ciągłemu.
2) Nie zakłada się innej regulacji jak tylko automatyczną.
3) Średnie i skrajne wartości oczekiwanego czasu życia odzwierciedlają nie tylko własności statyczne, lecz również uwzględniają zmianę typu elementu (zespołu).

4) Zaleca się porównywać trwałość z uwzględnieniem warunków instalacji (wpływ otoczenia - wyrażany wskaźnikiem k), możliwe jest również porównywanie oczekiwanego czasu życia w warunkach wzorcowych, czyli dla $k = 1$.

Tabela 3. Wartości oczekiwanego czasu życia układów, zespołów lub elementów T_e dla warunków wzorcowych ($k = 1$)

Układ lub element	Granica górna	Średnio	Granica dolna
Akumulatory	100 000 h	60 000 h	20 000 h
Akumulatory kwasowe	16 000 h	12 000 h	800 h
Akumulatory kwasowo-zasadowe		1 500 cykli	
Antenowy układ napędowy	13 000 h	8 000 h	1 000 h
Aparaty fotograficzne migawkowe	2 000 h	1 000 h	500 h
Bateric ładowanc	5 000 cykli	2 000 cykli	300 cykli
Całkujące układy hydraulicz.		20 000 h	
Czujniki przyspieszeń	52 000 h	20 000 h	1 000 h
Cylinder tłokowy z ciśnieniem roboczym 2 · 10^6 Pa	50 000 000 cykli	30 000 000 cykli	12 000 000 cykli
Dalmierz cyfrowy (wyposażenie)		7 000 h	
Detektor mikrometeorytów	50 000 h	10 000 h	1 000 h
Diody półprzewodnikowe		200 000 h	
Dmuchawy	8 000 h	4 000 h	1 000 h
Dmuchawy osiowe	5 000 h	2 500 h	1 000 h
Deferencjały (przekładnie różnicowe)		1 000 000 cykli	
Filtry pneumatyczne		40 000 h	
Filtry elektryczne	20 000 h	12 000 h	8 000 h
Generatory	20 000 h	10 000 h	2 000 h
Generatory fazowe		30 000 h	
Generatory, materiał pędny stały		40 s	
Generatory napędzające silniki synchroniczne		10 000 h	
Generatory porównawcze	20 000 h	8 000 h	1 500 h
Generatory prądu stałego	20 000 h	6 000 h	2 000 h
Grzejniki	16 000 h	12 000 h	1 000 h
Hamulce (zespół)		20 000 h	
Inercyjne układy regulacji		20 000 h	
Klimatyzacja	1 700 h	4 000 h	7 000 h
Kolektory słoneczne		3 500 h	
Kondensatory ceramiczne	20 000 h	16 000 h	2 000 h

Tabela 3 cd.

Układ lub element	Granica górna	Średnio	Granica dolna
Kondensatory ceramiczne nastawne		16 000 h	
Kondensatory elektrolityczne	12 000 h	10 000 h	4 000 h
Krzywki	100000000 cykli	1 000 000 cykli	100 000 cykli
Koła zębate stalowe	10 000 000 cykli	1 000 000 cykli	100 000 cykli
Lampy oświetleniowe	25 000 h	20 000 h	5 h
Latarnie kierunkowe (radarowe)		40 000 h	
Lampy elektronowe dużej mocy	10 000 h	7 000 h	3 000 h
Lampy odbiorcze		9 000 h	
Liczniki cyfrowe	600 000 cykli	300 000 cykli	100 000 cykli
Liczniki w ciężkich warunk.		200 000 cykli	
Liczniki elektroniczne	100000000 cykli	60 000 000 cykli	30 000 000 cykli
Liczniki Geigera		3 400 h	
Liczniki Magnetyczne		400000000 cykli	
Linie opóźniające przestrajal.		10 000 h	
Linie opóźniające stałe	25 000 h	5 000 h	1 000 h
Liny	20 000 h	7 000 h	3 000 h
Łączniki mechaniczne z tworzyw		60 000 cykli	
Łączniki gwintowe (śruba i nakrętka)		8 000 000 cykli	
Łączniki - wkręty z łbem	450 000 cykli	400 000 cykli	300 000 cykli
Łopatki (wirnik turbiny)		6 500 h	
Łożyska suche	1 200 h	500 h	10 h
Łożyska smarowane	20 000 h	7 000 h	2 000 h
Łożyska kulkowe	15 000 h	6 000 h	500 h
Łożyska kulkowe, miniaturowe		8 000 h	
Łożyska kulkowe precyzyjne		4 000 h	
Łożyska kulkowe, w turbinach	1 000 h	650 h	50 h
Łożyska wyciskowe sprzęgieł		3 000 000 cykli	
Łożyska wysoko obciążone, smarowane	3 000 h	2 000 h	100 h
Łożyska słabo obciążone, smarowane	10 000 h	6 000 h	1 000 h
Łożyska precyzyjne, smarowane	50 000 h	20 000 h	5 000 h
Łożyska, obrotowe, wałeczkowe, smarowane		52 000 h	
Łożyska baryłkowe samonastawne		16 000 h	
Łożyska wałeczkowe suwliwe		600 000 cykli	
Magnetowidy	5 000 h	2 000 h	1 000 h

Tabela 3 cd.

Układ lub element	Granica górna	Średnio	Granica dolna
Mechanizmy detekcyjne, koła gwiazdowe		100 000 cykli	
Mierniki elektryczne		1 000 000 cykli	
Mierniki prędkości		10 000 h	
Mierniki przekaźnikowe	20 000 000 cykli 13 500 h	15 000 000 cykli 9 000 h	10 000 000 cykli 5 000 h
Mieszki aluminiowe, magnezowe	100 000 cykli	10 000 cykli	1 000 cykli
Mieszki plastikowe (zbiorn.)	50 000 cykli	10 000 cykli	1 000 cykli
Mieszki stalowe, brąz berylowy (zbiorniki)	10 000 000 cykli	100 000 cykli	1 000 cykli
Multiplexer		12 000 h	
Napędy bezpośrednie smarowane łożyskowane	20 000 h	10 000 h	2 000 h
Napęd cewka obrotowa		5 000 000 cykli	
Napęd (pobudzacz) licznika elektrycznego		100 000 cykli	
Obniwa słoneczne		720 h	
Ogniwa słoneczne (baterie)	20 000 h	3 000 h	500 h
Rezystory okładkowe węglo.	50 000 h	15 000 h	12 000 h
Rezystory regulacyjne		30 000 h	
Rezystory zespołowe	40 000 h	14 000 h	11 000 h
Rezystory zmienne	17 000 h	16 000 h	14 000 h
Rezystory lampy elektronowej		20 000 h	
Pas napędowy		2 000 h	
Pomocnicze źródła zasilania	1 000 h	500 h	30 h
Pompa		5 000 h	
Pompy jonowe	200 000 h	20 000 h	2 000 h
Pompy o napędzie elektrycznym	1 000 h	500 h	150 h
Pompy o napędzie pneumatycznym		3 000 h	
Pompy o napędzie spalinow.	5 000 h	3 500 h	2 000 h
Pompy skrzydełkowe, miniat.		2 000 h	
Pompy o zmiennym wydatku (hydrauliczne)		1 000 h	
Pompy o zmiennym wydatku (miniaturowe)	500 h	250 h	30 h
Potencjometry	30 000 h	20 000 h	250 h
Powłoki, ceramika bezpostaciowa	600 h	450 h	100 h
Przetworniki ciśnieniowe	10 000 000 cykli	100 000 cykli	1 000 cykli
Przetworniki gęstości gazu		40 000 h	
Przetworniki elektryczne polowe i jonowe		40 000 h	

Tabela 3 cd.

Układ lub element	Granica górna	Średnio	Granica dolna
Prądnice prądu przemiennego (generatory)	10 000 h	9 000 h	1 000 h
Prostowniki	40 000 h	21 000 h	3 000 h
Pierścienie uszczelniające		1 000 min	
Przekaźniki ogólnego przeznaczenia	700 000 cykli	200 000 cykli	20 000 cykli
Przekaźnik wysoko czuły	300 000 cykli	200 000 cykli	20 000 cykli
Przekaźnik do pracy w ciężkich warunkach	200 000 cykli	145 000 cykli	20 000 cykli
Przekształtniki (falowniki) 400 Hz		40 000 h	
Przeliczniki		2 000 h	
Przekładnie zębate w komunikacji	2 500 h	1 800 h	1 000 h
Połączenia mechaniczne nieruchome	1 000 000 cykli	100 000 cykli	2 500 cykli
Połączenia mechaniczne obrotowe		16 000 h	
Przełączniki ciśnieniowo różnicowe typu mieszkowego	1 000 000 cykli	350 000 cykli	10 000 cykli
Przerywacze	8 000 h	5 000 h	1 200 h
Przerywacze ciągłych sygnał.		26 000 h	
Przepony (pompy)		3 000 h	
Przepony teflonowe	10 000 cykli	5 000 cykli	1 000 cykli
Przetworniki		10 000 h	
Przetworniki ciśnienia	100 000 cykli	50 000 cykli	20 000 cykli
Przetworniki potencjometryczne		15 000 h	
Przetworniki poziomu ciśnienia		10 000 000 cykli	
Przetworniki mocy		20 000 h	
Przetworniki temperatury		5 000 h	
Przetworniki tensometryczne		20 000 h	
Przewody giętkie	800 000 cykli	500 000 cykli	250 000 cykli
Przewody giętkie z oplotem metalowym	500 000 cykli	220 000 cykli	50 000 cykli
Przetworniki analogowe	4 000 h	3 000 h	2 000 h
Regulatory ciśnienia gazu		1 500 h	
Regulatory pneumatyczne		40 000 h	
Regulatory napięcia	40 000 h	20 000 h	5 000 h
Regulatory przepływu i ciśnienia		1 000 h	
Serwomotory	65 000 h	40 000 h	20 000 h
Silniki (smarowane, łożysk.)	20 000 h	7 000 h	2 000 h
Silniki dmuchaw (smarow. łożyskowa)	20 000 h	7 000 h	2 000 h

Tabela 3 cd.

Układ lub element	Granica górna	Średnio	Granica dolna
Silniki hydrauliczne		10 000 h	
Silniki elektryczne (smarowane, łożysk.)	20 000 h	10 000 h	1 000 h
Silniki elektr. z momentem kompensującym		200000000 cykli	
Silniki elektr. prądu stałego	200000000 cykli	100000000 cykli	400 000 cykli
Silniki elek. prądu zmiennego		30 000 h	
Silniki elektr. subminiaturowe nawrotne		3 000 h	
Silniki ele. wirnik niezależny		2 000 h	
Silniki serwo	20 000 h	8 000 h	1 000 h
Skrzynie biegów w komunik.	20 000 h	5 000 h	2 000 h
Skrzynki łączeniowe		40 000 h	
Serwo napędy liniowe		200 000 cykli	
Serwo napędy obrotowe	10 000 000 cykli	500 000 cykli	1 000 cykli
Sprzęgła dużej szybkości działania		19 000 h	
Sprzęgła ruchowe precyzyjne		80 000 000 cykli	
Sprężarki (łożyska smarow.)	20 000 h	7 000 h	2 000 h
Styczniki mocy, obrotowe		100 000 cykli	
Styczniki	100 000 cykli	50 000 cykli	20 000 cykli
Styczniki mocy		50 000 cykli	
Syreny parowe (brzęczyki)	1 000 000 cykli	100 000 cykli	10 000 cykli
	2 500 h	1 000 h	500 h
Szczotki urządzenia wirnikowego	10 000 h	3 000 h	1 000 h
Świece zapłonowe		2 500 h	
Tachometry	16 000 h	10 000 h	5 000 h
Termostaty	500 000 cykli	250 000 cykli	20 000 cykli
Tłoki hydrauliczne	100 000 cykli	50 000 cykli	10 000 cykli
Tłumiki	10 000 h	5 000 h	2 500 h
Transformatory	30 000 h	10 000 h	4 000 h
Tranzystory		200 000 h	
Turbiny (limitowane przez łożyska)	15 000 h	11 000 h	8 000 h
Turbiny gazowe	100 000 h	50 000 h	7 000 h
Uszczelki gumowe nie obciążone	44 000 h	35 000 h	26 000 h
Uszczelki mechaniczne	10 000 h	7 000 h	3 000 h
Uszczelki z tworzywa sztucznego	88 000 h	35 000 h	18 000 h
Uszczelnienia elementów elektronicznych		10 000 h	
Wieniec zębaty (koła)		1 000 h	
Wirniki		10 000 h	

Tabela 3 cd.

Układ lub element	Granica górna	Średnio	Granica dolna
Wskaźniki promieniowania kosmicznego		40 000 h	
Wskaźniki obrotów silnika		10 000 h	
Wyłączniki	50 000 cykli	35 000 cykli	10 000 cykli
Wzbudniki elektryczne		150 000 h	
Wzmacniacze sygnału tranzy.		4 000 h	
Wyłączniki krzywkowe		10 000 cykli	
Wyłączniki miniaturowe		200 000 cykli	
Wyłączniki temperaturowe		10 000 h	
Wskaźniki czasu bieżącego		10 000 cykli	
Zestawy kontrolne, pneumatyczne		20 000 h	
Zegar elektroniczny	20 000 h	10 000 h	5 000 h
Zegar licznika, duża dokładność		2 000 000 cykli	
Zegar pneumatyczny		2 500 h	
Zegar podstawowy (wzorzec)		40 000 h	
Zespół napędowy		16 000 h	
Zespół napędowy elektrohydr.		2 000 h	
Złącza elektryczne	24 000 h	19 000 h	12 000 h
	500 cykli	100 cykli	50 cykli
Żyroskopy odniesienia	2 000 h	1 000 h	200 h
Żyroskopy kursu	40 000 h	1 000 h	100 h
Zbiorniki ciśnienia, wyrów. mieszkowe		100000000 cykli	
Zawory	200 000 cykli	150 000 cykli	60 000 cykli

Przykładowe zastosowanie tych tabel może być następujące:

Należy wyznaczyć średni okres dozoru drganiowego silnika elektrycznego napędzającego bezpośrednio wentylator. Całość urządzenia jest zainstalowana na zewnątrz pomieszczeń. Wynikający stąd współczynnik zagrożenia otoczenia dla napędu bezpośredniego w warunkach naziemnych wynosi $k = 0{,}26$. Trwałość sprzęgu bezpośredniego silnika z wentylatorem wyniesie $T_1 = 0{,}26 \times 104 = 2600$ h, zaś trwałość silnika elektrycznego $T_2 = 0{,}26 \times 3 \times 104 = 7800$ h. Jak widać, trwałość sprzęgła jest trzykrotnie mniejsza od silnika i stąd nadzór drganiowy musi dotyczyć elementu o mniejszej trwałości. Dzieląc więc 2600 h pracy sprzęgła na (założone) 30 odcinków nadzoru drganiowego mamy 86 h, tj. co 4 dni. Tak więc średnio co cztery dni należy mierzyć drgania silnika, zwłaszcza od strony sprzęgła. Gdybyśmy do obliczeń wzięli

górną granicę trwałości napędu bezpośredniego (2 × 104 h), to okres ten między pomiarami byłby 8 dni, czyli prawie tydzień, co jest powszechnie przyjętą praktyką w diagnostyce wibroakustycznej maszyn nie krytycznych [1].

8. Zadanie do wykonania

Zad. 1.
Przy użyciu przyrządu Diagnotest V-032 należy określić stan techniczny trzech różnych maszyn, posiadających elementy obrotowe (np. obrabiarki na biegu luzem), wg podanego wyżej sposobu pomiaru tym przyrządem oraz opisanego wnioskowania diagnostycznego.

Zad. 2.
Używając przyrządu Diagnotest V-032, określić wartość prędkości drgań mechanicznych i ich przyspieszenia dla 10 różnych prędkości wrzeciona tokarki.

Zad. 3.
Korzystając z danych zestawionych w tab. 3, należy zestawić schemat urządzenia (zaprojektowanego przez siebie), składającego się z 4 elementów (podzespołów) połączonych szeregowo. Obliczyć jego średnią trwałość w pięciu różnych warunkach instalacji (tab. 2). Naszkicować graficznie (wykres słupkowy) poziomy tej trwałości dla różnych warunków instalacji.

9. Sprawozdanie

W sprawozdaniu należy podać typy urządzeń, na których dokonywano badań stanów technicznych przyrządem Diagnotest V-032, wyniki badań (zestawione w tabelkę) oraz wynikające z nich decyzje eksploatacyjne. Do zadania 2 należy wykreślić wykres prędkości mechanicznych oraz ich przyspieszenia w funkcji prędkości obrotowych wrzeciona tokarki, a do zad. 3 wykres słupkowy średniej trwałości zaprojektowanego przez siebie urządzenia.

10. Literatura

1. Cempel C. Podstawy wibroakustycznej diagnostyki maszyn. WNT Warszawa 1982 r.
2. Instrukcja obsługi przyrządu Diagnotest V-032, opracowana przez COBRABID - Oddział w Poznaniu.