



AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
im. St. Staszica w Krakowie
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki

ZINTEGROWANY SYSTEM NADZOROWANIA
PROCESU EKSPLOATACJI SUWNIC POMOSTOWYCH

mgr inż. Artur Kocerba

Praca doktorska wykonana pod kierunkiem
Prof. dr hab. inż. Janusza Szpytko

- Kraków, 2007 -

Dziękuję Prof. dr hab. inż. Januszowi Szpytko
za cenną, merytoryczną pomoc udzieloną
w trakcie realizacji niniejszej pracy

SPIS TREŚCI

Streszczenie	4
Wybrane oznaczenia i rozwinięcia skrótów	6
1. Wstęp	9
2. Stan wiedzy i techniki	12
2.1. Proces użytkowania i obsługiwanania urządzenia	12
2.2. Wskaźniki eksploatacyjne urządzenia	13
2.3. Modele gotowości urządzenia	18
2.4. Metody i narzędzia wspomagające proces nadzorowania stanu technicznego urządzenia	24
2.5. Telematyka w nadzorowaniu procesu eksploatacji środka transportowego	33
2.6. Podsumowanie	38
3. Charakterystyka przedmiotu badań i technik pozyskiwania informacji dla potrzeb decyzyjnych	42
3.1. Model fizyczny laboratoryjnej suwnicy pomostowej o udźwigu $Q=1,5$ [kN]	42
3.2. Laboratoryjna suwnica pomostowa o udźwigu $Q=150$ [kN]	52
3.3. Przemysłowa suwnica pomostowa o udźwigu $Q=125$ [kN]	55
4. Nadzorowanie procesu eksploatacji systemu złożonego ze środków transportu	58
4.1. Metodyka procesu	58
4.2. Ocena skuteczności działania systemu	65
4.3. Doskonalenie nieuszkodzalności systemu	71
5. Podsystem bezpośredniego działania	74
5.1. Charakterystyka systemu	74
5.2. Proces decyzyjny PD1 w zakresie realizacji działania	77
5.3. Proces decyzyjny PD2 w zakresie przestrzeni roboczej	87
5.4. Ocena skuteczności działania systemu	92
6. Podsystem wspierający proces działania	94
6.1. Wstęp	94
6.2. Proces decyzyjny PD3 w zakresie oceny stanu technicznego urządzenia	100
6.3. Układ pozyskiwania informacji dla potrzeb decyzyjnych	107

6.4. Proces decyzyjny PD4 w zakresie jakościowej oceny realizacji działania przez urządzenie	112
6.5. Ocena skuteczności działania urządzenia	136
7. Techniczne środki zarządzania procesem eksploatacji urządzenia	140
7.1. Opis systemu	140
7.2. Model niezawodnościowy	142
7.3. Układy telematyczne w środkach transportu bliskiego	146
7.4. Przykładowe wyniki badań	150
8. Sposób automatyzacji wspomaganie procesu decyzyjnego eksploatacji środków transportu	157
9. Podsumowanie	161
Literatura	165

ZINTEGROWANY SYSTEM NADZOROWANIA PROCESU EKSPLOATACJI SUWNIC POMOSTOWYCH

Streszczenie

Przedmiotem pracy są suwnice pomostowe zaliczane do klasy wielkogabarytowych szynowych urządzeń transportowych (WSUT). Szczególna uwaga została zwrócona na system nadzorowania procesu eksploatacji środków transportu, a w szczególności suwnic pomostowych.

W rezultacie analizy dostępnej literatury oraz informacji uzyskanych od użytkowników suwnic pomostowych sformułowano cel i tezę pracy. Celem pracy jest *opracowanie metod mogących mieć istotny wpływ na eksploatację suwnic pomostowych w zakresie ich użytkowania i obsługi*. Z uwagi na złożoność zagadnienia zakres pracy ograniczono do procesu eksploatacji środka transportu obejmującego użytkowanie i obsługiwanie, dla którego sformułowano tezę: *opracowane metody mogą być wykorzystane w eksploatacji suwnic pomostowych w celu podwyższenia bezpieczeństwa i niezawodności ich pracy*.

Zakres pracy obejmuje: model systemu zintegrowanego procesu użytkowania i obsługiwanego środka transportu (w szczególności suwnic pomostowych) zorientowanego na działanie w układzie operator – środek transportu, metodykę oceny możliwości podjęcia określonego działania przez urządzenie oraz jego realizację przez system złożony ze środka transportowego i operatora działającego w określonym otoczeniu, metodykę zarządzania procesem eksploatacji środków transportu zorientowanych na celowe działania transportowe oraz na sposób automatyzacji wspomaganie procesu decyzyjnego w zakresie procesu eksploatacji.

Przedmiotem badań był model fizyczny (materialny) suwnicy pomostowej o udźwigu $Q=1,5$ [kN], laboratoryjna suwnica pomostowa o udźwigu $Q=150$ [kN] oraz przemysłowa suwnica pomostowa o udźwigu $Q=125$ [kN]. Z uwagi na właściwość suwnic pomostowych i uciążliwość badań w warunkach przemysłowych oraz dostępność, opracowane metody i narzędzia były najpierw testowane na modelu fizycznym suwnicy pomostowej, a następnie weryfikowane na obiektach rzeczywistych. Porównanie wyników badań, przeprowadzonych na modelu fizycznym jak i obiektach rzeczywistych, potwierdziło ich przydatność w zakresie prowadzenia wstępnych badań oraz słuszność jego zaprojektowania a następnie wykonania.

Z uwagi na wielowymiarowość i złożoność zagadnienia, dla potrzeb pracy opracowano zintegrowany system nadzorowania procesu eksploatacji środków transportu, a w szczególności suwnic pomostowych, który obejmuje podsystemy: *bezpośredniego działania, wspierający proces działania oraz koordynacji działania*. Dla każdego z podsystemów przedstawiono przykładowe wyniki badań. Następnie były one przedmiotem analizy w celu wyznaczenia przyjętego wskaźnika skuteczności działania systemu.

Uzyskane z badań eksploatacyjnych wyniki z wykorzystaniem opracowanych metod i narzędzi oraz przeprowadzone analizy wskazują na możliwość zapewnienia urządzeniu wymaganej niezawodności w procesie eksploatacji. Tym samym potwierdzono słuszność sformułowanej tezy pracy.

W pracy sformułowano ponadto kierunki dalszych prac naukowo - badawczych ukierunkowanych na kształtowanie bezpieczeństwa i niezawodności suwnic pomostowych z uwzględnieniem oczekiwań jakościowych ich użytkowników.

INTEGRATED SYSTEM FOR MONITORING OF EXPLOITATION OF OVERHEAD CRANES

Abstract

The subject of this thesis is overhead cranes belonging to the group of large dimension rail transport devices. Much impact has been given to the monitoring system of the exploitation process of the transport means, overhead cranes in particular.

The aim and argument of the thesis was based on available literature and information obtained from users of overhead cranes. The aim of the thesis is development of methods influencing on crane operation and maintenance activities. In regard to complexity of the subject the thesis discusses the process of exploitation which covers the usage and service for which the following argument was formed: developed methods it is possible to use under exploitation process to ensure the desired level of safety and operational reliability of the devices.

The thesis covers the following scope: model of a system of integrated process of usage and operation of the transport means (particularly overhead cranes) oriented on the relation between the operator and the transport means; method for evaluation of possibilities of performing particular action by the device and its accomplishment by the system consisting of the transport means and its operator in particular besetment; method of managing the process of exploitation of transport means oriented to intentional transport actions and to the automation of the decision process assistance in regard to exploitation process.

The subject of tests consisted of a physical (real) model of an overhead crane with $Q=1,5$ [kN] lifting capacity, laboratory overhead crane with $Q=150$ [kN] lifting capacity and an industrial overhead crane with $Q=125$ [kN] lifting capacity. Noting the characteristics of overhead cranes and onerousness of tests in real industrial plant conditions and availability the developed methods and tools were tested on the model first and then verified on the real objects. The comparison between test results on the physical model and the real objects confirmed their usefulness in the field of preliminary tests and validity of its design and building afterwards.

Having in mind high complexity of the problem an integrated supervising system of the transport means (overhead crane in particular) exploitation process has been developed for the purpose of the thesis. This system contains the following subsystems: *direct action*, *action assistance* and *action coordination*. Example test results for each subsystem have been presented. They have been analyzed then in order to determine the accepted rate of system effectiveness.

The exploitation test results obtained with the use of developed methods and tools together with the performed analysis show the possibility of ensuring the desired reliability in the exploitation process. Therefore it validates the arguments of the thesis.

The thesis also depicts the course of future scientific projects directed towards forming of safety and reliability of overhead cranes including quality expectations of the users.

SPIS WYBRANYCH SKRÓTÓW I OZNACZEŃ

Wybrane skróty

- AGV – pojazdy sterowane automatycznie (ang. *Automated Guided Vehicle*)
- AID – automatyczne wykrywanie nieprawidłowości w realizacji działania środka transportowego (ang. *Automatic Incident Detection*)
- AVI – układy automatycznej identyfikacji specjalnych cech pojazdów (ang. *Automatic Vehicle Identification*)
- CBM – obsługa ukierunkowana na bieżący stan urządzenia (ang. *Condition Based Maintenance*)
- CCA – analiza typu przyczyna-skutek (ang. *Cause-Consequence Analysis*)
- CIM – komputerowo zintegrowane wytwarzanie (ang. *Komputer Integrated Manufacturing*)
- CM – obsługiwanie naprawcze (ang. *Corrective Maintenance*)
- C-OT-O – system złożony z: operatora C, obiektu technicznego OT, otoczenia O
- DGK – dolna granica kontrolna
- DGO – dolna granica ostrzegawcza
- DTM – zarządzanie typu dynamicznego ruchem środków transportu (ang. *Dynamic Traffic Management*)
- EKB – elektroniczna baza wiedzy (ang. *Elektronic Knowledge Database*)
- ETA – analiza drzewa zdarzeń (ang. *Event Tree Analysis*)
- FMEA – analiza rodzajów i skutków niezdatności urządzenia (ang. *Fault Modes and Effect Analysis*)
- FMECA – analiza rodzajów, skutków i krytyczności uszkodzeń urządzenia (ang. *Failure Mode, Effects and Criticality Analysis*)
- FOF – zautomatyzowane zakłady produkcyjne (ang. *Factory of the Future*)
- FTA – analiza drzewa niezdatności (ang. *Fault Tree Analysis*)
- GGK – górna granica kontrolna
- GGO – górna granica ostrzegawcza
- GIS – geograficzne (wizualne) systemy informacyjne (ang. *Geografic Information Systems*)
- GPS – globalny układ pozycjonowania (ang. *Global Positioning System*)
- GSM – globalny układ komunikacji mobilnej (ang. *Global System for Mobile Communications*)
- GSM-R – kolejowy system radiowej łączności (ang. *Global System for Mobile communication – Railway*)
- HACCP – analiza zagrożeń i krytyczny punkt kontroli (ang. *Hazard Analysis and Critical Control Points*)
- HAZOP – metoda badania zagrożeń i gotowości operacyjnej (ang. *Hazard and Operability Study*)
- IT – techniki informacyjne (ang. *Information Technology*)
- ITS – inteligentne usługi transportowe (ang. *Intelligent Transport Services*)
- LAN – lokalna sieć komputerowa (ang. *Local Area Network*)
- LC – linia centralna
- LOPA – analiza warstw zabezpieczeń (ang. *Layer of Protection Analysis*)
- MAMT – średni czas obsługi aktywnej (ang. *Mean Active Maintenance Time*)
- MDT – średni czas przestoju systemu z przyczyn wewnętrznych (ang. *Mean Down Time*)
- MJM – mechanizm jazdy mostem
- MJW – mechanizm jazdy wózkiem
- MP – mechanizm podnoszenia
- MTBF – średni czas bezawaryjnej pracy urządzenia (ang. *Mean Time Between Failures*)

MTBM	- średni czas między obsługami systemu (ang. <i>Mean Time Between Maintenance</i>)
MTTF	- średni czas zdatności systemu do następnej awarii (ang. <i>Mean Time To Failure</i>)
MTTR	- średni czas przywrócenia urządzenia do wymaganego stanu technicznego (ang. <i>Mean Time to Repair</i>)
OEE	- wskaźnik efektywności produkcji (ang. <i>Overall Equipment Effectiveness</i>)
PHA	- wstępna analiza zagrożeń (ang. <i>Preliminary Hazard Analysis</i>)
PLC	- programowalny sterownik logiczny (ang. <i>Programmable Logic Controller</i>)
PM	- obsługa profilaktyczna (ang. <i>Preventive Maintenance</i>)
RCM	- strategia obsługi systemu C-OT zorientowana na niezawodność (ang. <i>Reliability Centered Maintenance</i>)
RDS-TMC	- układy łączności radiowej (ang. <i>Radio Data System – Traffic Message Channel</i>),
RFID	- system identyfikacji radiowej (ang. <i>Radio Frequency Identification Tag</i>)
SPC	- narzędzia typu statystycznego (ang. <i>Statistical Process Control</i>)
TPM	- koncepcja usług prewencyjnych (ang. <i>Total Productivity Maintenance</i>)
TQM	- koncepcja całkowitego zarządzania jakością (ang. <i>Total Quality Management</i>)
VMS	- zmienne znaki informacyjne w postaci tablic świetlnych (ang. <i>Variable Message Signs</i>)
WAN	- rozległa sieć komputerowa (ang. <i>Wide Area Network</i>)
WSUT	- Wielkogabarytowe Szybowe Urządzenia Transportowe

Wybrane oznaczenia

x	- pozycja mechanizmu jazdy mostu suwnicy pomostowej w przestrzeni roboczej (układ XOYZ)
y	- pozycja mechanizmu jazdy wózka suwnicy pomostowej w przestrzeni roboczej (układ XOYZ)
z	- pozycja mechanizmu podnoszenia wciągarki (układ XOYZ)
\dot{x}	- prędkość mechanizmu jazdy mostu suwnicy pomostowej w przestrzeni roboczej w kierunku OX
\dot{y}	- prędkość mechanizmu jazdy wózka suwnicy pomostowej w przestrzeni roboczej w kierunku OY
\dot{z}	- prędkość mechanizmu podnoszenia wciągarki w kierunku OZ
α	- kąt pomiędzy osią dźwigara a osią koła w płaszczyźnie pionowej
β	- kąt pomiędzy osią dźwigara a osią koła w płaszczyźnie poziomej
α_1	- kąt wychylenia ładunku w płaszczyźnie ZOZ
β_1	- kąt wychylenia ładunku w płaszczyźnie ZOY
$\lambda(t)$	- funkcja intensywności uszkodzeń urządzenia
$\Lambda(t)$	- funkcja wiodąca rozkładu zawodności
$D(t)$	- funkcja niezawodności urządzenia
$E(t)$	- funkcja wartości oczekiwania czasu zdatności
$F(t)$	- funkcja zawodności urządzenia

- f(t) - funkcja gęstości prawdopodobieństwa zmiennej losowej
R(t) - funkcja nieuszkodzalności urządzenia
- A - gotowość urządzenia
B1 - bezpieczeństwo układu C-OT
C1 - koszt eksploatacji obejmujący proces użytkowania i obsługiwanie
D - niezawodność urządzenia
J_s - jakość systemu,
K_a - wskaźnik gotowości urządzenia
K_{ao} - wskaźnik gotowości operacyjnej systemu/urządzenia
M - obsługiwalność urządzenia
Q - udźwig suwnicy
R - nieuszkodzalność urządzenia
Z - zdolność wytwarzania systemu

1. WSTĘP

Wdrożenie w przedsiębiorstwach nowych strategii zorientowanych na zysk oraz wymagania w zakresie bezpieczeństwa, mają swoje przełożenie na ewolucję w zakresie budowy i eksploatacji środków transportowych. Obserwowane kierunki zmian obejmują integrację faz życia urządzenia [1, 25, 68], zapewnienie odpowiedniego poziomu automatyzacji procesów działania [28] oraz właściwe monitorowanie i diagnozowanie urządzenia i zachodzącego procesu działania z jego udziałem, z uwzględnieniem wymagań w zakresie bezpieczeństwa, niezawodności oraz kosztów eksploatacji [14, 70]. Kluczową rolę w integracji zagadnień (technika, baza wiedzy, zarządzanie) zorientowanych na proces i produkt w przemyśle odgrywają techniki informatyczne. Konsekwencją zmian w wymaganiach rynku była jakościowa ewolucja systemów produkcyjnych, a w szczególności stosowanych w nich środków transportowych. Szybko rośnie zainteresowanie środkami transportowymi wspomagającymi działanie człowieka, jak również komunikacją pomiędzy współpracującymi ze sobą urządzeniami, zaliczanymi również do różnych klas.

Ewolucja w budowie i eksploatacji urządzeń obserwowana jest między innymi w zakresie zmniejszenia ich masy, gabarytów oraz unifikacji zespołów i automatyzacji. Odchudzanie konstrukcji środka transportowego (w rezultacie stosowanych nowoczesnych metod obliczeniowych z wykorzystaniem techniki komputerowej), doskonalenie podsystemów sterowania środkami transportowych (zorientowanych na zintegrowane: monitorowanie istotnych parametrów eksploatacyjnych, gromadzenie informacji, koordynację procesów decyzyjnych, komunikację pomiędzy wyróżnionymi modułami systemu transportowego, podejmowanie skutecznych decyzji), umożliwiła minimalizację łącznych kosztów w zakresie ich użytkowania i obsługi.

Istotny rozwój nastąpił w zakresie zarządzania środkami transportowymi. Dostępne na rynku rozwiązania inżynierskie wykorzystujące elementy telematyczne (np. Internet, WAP (ang. *Wireless Application Protocol - Protokół Aplikacji Bezprzewodowych*), sieć GSM (ang. *Global System of Mobile Comunication*), GPRS (ang. *General Packet Radio Service*), GPS (ang. *Global Positioning System*)) istotnie rozszerzają zakres działań człowieka. Osiągnięcie nowych potrzeb jest możliwe w rezultacie budowy urządzeń z elementami sztucznej inteligencji i łącznego wykorzystania w praktyce właściwości człowieka i obiektu technicznego (C-OT).

W zakresie sterowania środkami i systemami transportowymi szczególna uwaga zwracana jest na oczekiwany przez użytkownika potencjał eksploatacyjny układu człowiek – urządzenie [67]. Dla potrzeb takiego układu budowane są bazy wiedzy i danych w zakresie eksploatacji urządzenia oraz układy logicznego przetwarzania informacji dla potrzeb decyzyjnych.

Od zautomatyzowanych środków transportu oczekuje się zdolności przemieszczania ludzi i ładunków w przestrzeni roboczej oraz zadawalającego pozycjonowania w zmiennym otoczeniu. Formułowane wymagania są osiąmane w rezultacie stosowania nowoczesnych rozwiązań w podsystemach sterowania wykorzystujących między innymi sieci neuronowe, algorytmy genetyczne oraz logikę rozmytą. Stosowanie inteligentnych technik w sterowaniu środkami transportowymi jest ukierunkowane przede wszystkim na zmniejszanie kosztów ich eksploatacji oraz zwiększanie bezpieczeństwa i niezawodności. Powyższe jest możliwe do uzyskania w rezultacie zastosowania tak zwanych *inteligentnych* czujników wspomagających proces decyzyjny w zakresie użytkowania urządzenia [67]. Bardzo szybko

następuje również rozwój systemów zdalnego nadzorowania procesu użytkowania środków transportu z udziałem lub bez udziału operatora (człowieka).

Dodatkowo od systemów i środków transportowych oczekuje się elastyczności w zakresie uwzględnienia w procesie użytkowania zmienności przemieszczanego ładunku, otoczenia, trajektorii ruchu urządzenia oraz przemieszczanego ładunku. Rosną wymagania jakościowe w zakresie dokładności ruchów roboczych, identyfikacji przedmiotu działania i skuteczności użytkowania w różnych warunkach otoczenia.

Złożona struktura systemów produkcyjno-transportowych wymaga poszukiwania odpowiednich metod i narzędzi umożliwiających realizowanie określonych zadań (działań) zgodnie z akceptowaną przez użytkownika strategią. Powyższe oczekiwania wymuszają stosowanie rozwiązań zorientowanych na skuteczne wykorzystanie informacji o realizowanym działaniu oraz zmianach właściwości urządzeń zachodzących w procesie eksploatacji.

Na jakość użytkowania środków transportowych istotny wpływ mają ich wybrane parametry eksploatacyjne i ich akceptowalne odchyłki od wartości nominalnej. Obserwacja zmian stanu technicznego urządzenia jest możliwa w rezultacie ciągłego monitorowania w czasie zmian jego wybranych parametrów eksploatacyjnych. Zmiany obserwowanych parametrów eksploatacyjnych urządzenia są przesłanką do podejmowania właściwych decyzji zorientowanych na ich dostosowanie do oczekiwań użytkownika lub odtworzenie wymaganego potencjału eksploatacyjnego urządzenia w procesie obsługi. Celem pracy jest:

opracowanie metod mogących mieć istotny wpływ na eksploatację suwnic pomostowych w zakresie ich użytkowania i obsługi.

Z uwagi na złożoność zagadnienia zakres pracy ograniczono do procesu eksploatacji środka transportu obejmującego użytkowanie i obsługę, dla którego sformułowano tezę:

opracowane metody mogą być wykorzystane w eksploatacji suwnic pomostowych w celu podwyższenia bezpieczeństwa i niezawodności ich pracy.

Udowodnienie sformułowanej tezy wymaga opracowania odpowiednich metod i narzędzi integrujących procesy decyzyjne w fazach użytkowania i obsługi urządzenia zgodnie z oczekiwaniami użytkownika oraz pozwalających na jakościową ocenę podejmowanych przedsięwzięć. Dla wykazania sformułowanej tezy pracy, uwagę skoncentrowano na reprezentancie środków transportu bliskiego - suwnicy pomostowej, zaliczanej do wielkogabarytowych szynowych urządzeń transportowych (WSUT), która była przedmiotem testów weryfikacyjnych. Należy zauważyć, że urządzenia klasy WSUT z uwagi na ich właściwości eksploatacyjne [68] silnie integrują zagadnienia z obszarów bezpieczeństwa i niezawodności, istniejące współzależności funkcjonalne pomiędzy podsystemami w procesie użytkowania, a ponadto obserwuje się w nich silne przenikanie procesów użytkowania i obsługi urządzenia.

Analiza literaturowa stanu wiedzy i techniki w zakresie eksploatacji suwnic pomostowych, konsultacje z użytkownikami urządzeń zaliczanych do klasy WSUT oraz doświadczenia własne nabyte w rezultacie odbytych praktyk przemysłowych oraz uczestnictwa w pracach projektowych i badawczych (zorientowanych na eliminację niedogodności obserwowanych w procesie eksploatacji suwnic

pomostowych) potwierdzają również, że sformułowane zagadnienie jest istotne dla praktyki inżynierskiej w zakresie eksploatacji urządzeń tej klasy. Automatyzacja systemów transportowych i transportowo-produkcyjnych oraz rosnące wymagania w zakresie jakości eksploatacyjnej urządzeń będących przedmiotem specjalnego dozoru (wyrażanej niezawodnością eksploatacyjną i bezpieczeństwem) są dodatkowymi argumentami uzasadniającymi konieczność podjęcia sformułowanego problemu. Szereg sformułowanych zagadnień było przedmiotem współautorskich publikacji [73, 74, 82, 83, 84] oraz publicznych debat z ekspertami w zakresie eksploatacji środków transportowych. Debaty potwierdziły duże zainteresowanie przedstawionymi zagadnieniami i istotą ich rozwiązania dla praktyki inżynierskiej.

Konsekwencją sformułowanego celu pracy jest jej zakres obejmujący następujące zagadnienia: stan wiedzy i techniki w zakresie przedmiotu niniejszej pracy, model zintegrowanego procesu użytkowania i obsługiwanego środka transportu zorientowanego na działanie przez system operator - środek transportu, metodykę oceny możliwości podjęcia określonego działania oraz jego realizacji przez system złożony ze środka transportowego i operatora działającego w określonym otoczeniu, metodykę zarządzania procesem eksploatacji suwnic zorientowaną na celowe działania transportowe. W pracy przedstawiono również techniki pozyskiwania informacji towarzyszących procesowi eksploatacji suwnic pomostowych oraz model fizyczny zaprojektowanej i wykonanej suwnicy pomostowej. Sformułowano ponadto kierunki dalszych prac naukowo-badawczych.

Realizacja pracy była finansowana ze środków budżetowych na naukę w latach 2005-2008 i innych jako projekt badawczy.

2. STAN WIEDZY I TECHNIKI

2.1. Procesy użytkowania i obsługiwanania urządzenia

Urządzenia charakteryzują się zbiorem właściwości określających ich przystosowanie do eksploatacji w określonych warunkach, obejmujących następujące cechy: podatność użytkową, podatność obsługową (diagnostyczną), podatność naprawczą (regeneracyjną) [110].

Dowolne urządzenie charakteryzuje się następującymi cechami [31, 32]:

- jest celowym wytworem człowieka,
- ma określone przeznaczenie, czyli pewien zbiór zastosowań,
- ulega uszkodzeniom i wymaga zwykle obsługi,
- ma skończoną trwałość,
- może być wykorzystany w określonym celu tylko przez człowieka,
- może być udoskonalany,
- może zagrażać lub szkodzić człowiekowi.

Fazy życia urządzenia obejmują: projektowanie, wytwarzanie, eksploatację i likwidację.

Pod pojęciem eksploatacji urządzenia rozumie się ogół wszystkich zdarzeń, zjawisk i procesów zachodzących w danym obiekcie rzeczywistym od chwili zakończenia jego wytwarzania do chwili jego likwidacji. Eksploatację obiektów technicznych można podzielić na procesy [31, 32, 42, 48]:

- użytkowania,
- obsługiwanania,
- likwidacji.

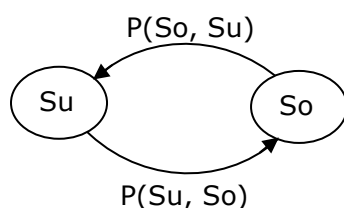
Eksploatowane urządzenie techniczne może znajdować się w fazie użytkowania lub obsługiwanania. Użytkowanie urządzenia polega na jego wykorzystaniu, zgodnie z przeznaczeniem, do realizacji określonego celu. Natomiast obsługiwananie urządzenia obejmuje wszystkie czynności związane z przywracaniem jego własności użytkowych. Wraz z upływem czasu każdy eksploatowany obiekt techniczny traci swoje własności użytkowe, które są przywracane w procesie obsługiwanania po kwalifikacji określonego uszkodzenia (awarii) lub przed jego wystąpieniem. W procesie eksploatacji obiekt znajduje się w stanach, które są określone zbiorem wartości jego charakterystyk technicznych i ekonomicznych, ustalanych dla obiektu w danej chwili lub przedziale czasu [110].

Przez stan obiektu technicznego rozumie się zbiór wartości określonych cech stanu urządzenia w danej chwili (czasie). Jeżeli wartości wszystkich cech stanu znajdują się w ustalonych granicach tolerancji, to obiekt znajduje się w stanie zdatności. Jeśli którykolwiek z tych cech wykracza poza dopuszczalne granice przyjmuje się, że obiekt znajduje się w stanie niezdatności [27, 67]. Możliwy jest również stan częściowej zdatności obiektu który polega na tym, że wartości pewnych cech urządzenia wykraczają poza zakres dopuszczalny i obiekt może być użytkowany warunkowo z uwzględnieniem określonych ograniczeń.

Ze względu na dopuszczalne stany, w jakich w procesie eksploatacji mogą znajdować się urządzenia, można dokonać ich podziału na obiekty odnawialne i nieodnawialne. Obiekty nieodnawialne są eksploatowane tylko do chwili pierwszej awarii, czyli w procesie eksploatacji znajdują się tylko w stanie zdatności [27, 94]. Obiekty odnawialne mogą znajdować się w dwóch stanach: pracy lub odnowy, kiedy przywracany jest ich stan zdatności. W praktyce wykonanie odnowy nie przywraca

obiektowi jego wszystkich pierwotnych własności (jeśli odnowa nie polega na wymianie obiektu na nowy).

W najprostszym przypadku można przyjąć, że obiekt znajduje się w dwóch przeciwstawnych stanach: zdatności (gdy spełnia wszystkie sformułowane w zakresie użytkowania wymagania) lub niezdatności (gdy wymagań tych nie spełnia). W przypadku gdy przyjmuje się większą liczbę stanów, w których może się znajdować obiekt, to wyróżnione stany nazywa się pośrednimi stanami zdatności. Wynika stąd podział obiektów na dwustanowe i wielostanowe [27]. Dwustanowy model procesu eksploatacji urządzenia można przedstawiać za pomocą grafu (rys. 2.1), gdzie: Su - stan użytkowania, So - stan obsługiwan.



Rys. 2.1. Dwustanowy model procesu eksploatacji urządzenia [27]

Przejścia między wyróżnionymi stanami mogą nastąpić z określonymi prawdopodobieństwami: $P(Su, So)$ – ze stanu użytkowania do stanu obsługiwan, $P(So, Su)$ – ze stanu obsługiwan do stanu użytkowania.

Proces użytkowania urządzenia obejmuje zdarzenia uporządkowane działalnością ludzi (operatorów) i obiektów będących w stanie zdatności. W procesie tym celowe działania użytkowników przy wykorzystaniu obiektów technicznych prowadzą do wykonywania zadań wynikających z określonych potrzeb.

Proces obsługiwan, to zbiór operacji zapobiegawczych i naprawczych, które mają na celu podtrzymywanie lub przywracanie własności użytkowych obiektów technicznych.

2.2. Wskaźniki eksploatacyjne urządzenia

Najczęściej używanym w praktyce wskaźnikiem eksploatacji urządzenia jest niezawodność obiektu technicznego. Przyjmuje się, że jest to prawdopodobieństwo spełnienia przez urządzenie przyjętych wymagań w określonych warunkach eksploatacyjnych i w określonym czasie, które wyraża ponadto własność zachowania przez obiekt techniczny możliwości do realizacji zadanych funkcji w określonym czasie i warunkach [27, 43, 59, 88].

Z pojęciem niezawodności wiąże się także trwałość obiektu technicznego, którą określa się jako własność polegającą na możliwości zachowania przez urządzenie określonych cech w zdefiniowanym przedziale czasu, pozwalającą na użytkowanie obiektu zgodnie z przeznaczeniem oraz przy odpowiedniej obsłudze [27, 43, 110, 113]. Eksploatowany w określonych warunkach obiekt techniczny traci z upływem czasu swoje własności (przykładowo: wytrzymałościowe, strukturalne, wymiary) co określa się pojęciem zużycia. Po osiągnięciu przez urządzenie określonych poziomów wybranych własności (wyrażających jego stan techniczny) wskazane jest zaprzestanie użytkowania danego obiektu [27, 43, 110, 113].

Istotne w procesie eksploatacji urządzeń są miary dotyczące bezpieczeństwa. Często w tym przypadku używa się określenia niezawodność bezpieczeństwa. Niezawodność bezpieczeństwa jest prawdopodobieństwem, że w czasie realizacji zadań nie występują uszkodzenia, których skutkami byłoby zagrożenie bezpieczeństwa urządzenia lub innych urządzeń oraz życia ludzkiego i środowiska [18, 23, 27].

Przyjmując, że czas pracy urządzenia jest procesem stochastycznym, może on być opisany poprzez zmienną losową. Wtedy miarą niezawodności obiektu (jako funkcji czasu t) jest prawdopodobieństwo, że zmienna losowa będąca czasem przebywania obiektu w stanie zdatności, przyjmuje wartość większą lub równą wybranej wartości t [9, 27, 51, 88]:

$$D(t) = P(T \geq t) \quad (2.1)$$

gdzie:

$D(t)$ - funkcja niezawodności urządzenia,

T - zmienna losowa określająca czas przebywania urządzenia w stanie zdatności.

Wskaźnikiem określającym prawdopodobieństwo uszkodzenia się urządzenia przed osiągnięciem chwili t , jest funkcja zawodności [9, 27, 51, 88, 108, 113]:

$$F(t) = P(T < t) = 1 - D(t) \quad (2.2)$$

gdzie:

$F(t)$ - funkcja zawodności (uszkodzalności) urządzenia,

T - zmienna losowa określająca czas przebywania urządzenia w stanie zdatności.

Innym wskaźnikiem niezawodnościowym obiektów technicznych jest funkcja gęstości $f(t)$ prawdopodobieństwa zmiennej losowej t . Jeśli funkcja niezawodności jest ciągła i $D(t=0)=1$, to:

$$D(t) = \int_t^{\infty} f(t) dt \quad \text{dla } t \geq 0; \quad (2.3)$$

gdzie:

$f(t)$ - funkcja gęstości prawdopodobieństwa zmiennej losowej t .

Stąd można zapisać:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = -\frac{dD(t)}{dt} \quad (2.4)$$

Przyjmuje się, że funkcja gęstości prawdopodobieństwa określa (w przybliżeniu) spadek niezawodności w małym przedziale czasu Δt [10].

Powszechnie stosowanym wskaźnikiem nieuszkodzalności obiektów nienaprawialnych jest również funkcja intensywności uszkodzeń $\lambda(t)$. Nazywana jest często funkcją ryzyka i określa gęstość rozkładu prawdopodobieństwa powstania uszkodzenia w chwili t , pod warunkiem, że do chwili t obiekt nie uległ uszkodzeniu:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{D(t)} \quad (2.5)$$

przy czym $\lambda(t) \geq 0$.

Funkcje intensywności uszkodzeń określa się również (w przybliżeniu) jako względny spadek niezawodności obiektu w małej jednostce czasu Δt [10].

Jako miarę wyczerpywania się zapasu niezawodności lub możliwości wykonania przez obiekt zadania, przyjmuje się funkcję wiodącą, która jest niemalejącą funkcją czasu przedstawianą w postaci zależności [10, 27, 37, 43]:

$$\Lambda(t) = \int_0^t \lambda(t) dt \quad (2.6)$$

Bardzo często w badaniach niezawodnościowych urządzeń wykorzystywaną liczbową charakterystyką obiektu technicznego jest wartość oczekiwana czasu zdatności, która obliczana jest z zależności [10, 27, 108, 113]:

$$E(t) = \int_0^{\infty} R(t) dt = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt \quad (2.7)$$

Dla obiektów odnawialnych można ponadto określić: średni czas pracy pomiędzy uszkodzeniami, intensywność odnowy oraz parametr strumienia uszkodzeń, który określa następująca zależność matematyczna [108]:

$$\omega(t) = \frac{dE(T_u)}{dt} \quad (2.8)$$

gdzie:

$E(T_u)$ - zmienna losowa określająca liczbę uszkodzeń, które wystąpiły od chwili rozpoczęcia eksploatacji do chwili t .

Przez gotowość obiektu rozumie się jego zdolność do natychmiastowego wykonywania zadań następujących w losowych chwilach i w losowych punktach przestrzeni roboczej. Gotowość obiektu wyraża się prawdopodobieństwem $A(t)$, że obiekt przystąpi do realizacji ustalonego zbioru zadań we właściwym czasie $T \leq t$ i we właściwym miejscu przestrzeni roboczej, a po ich zakończeniu będzie gotowy do realizacji zadań następnych [40]:

$$A(t) = P(T \leq t) \quad (2.9)$$

gdzie:

t - wymagany czas gotowości, w ciągu którego urządzenie powinno przystąpić do realizacji zleconych zadań.

Dla określenia prawdopodobieństwa zdarzenia, że w dowolnej chwili czasu obiekt będzie w stanie zdatności używany jest również wskaźnik gotowości K_a [27, 108]:

$$K_a = \frac{E(T_k)}{E(T_k) + E(T_n)} \quad (2.10)$$

gdzie:

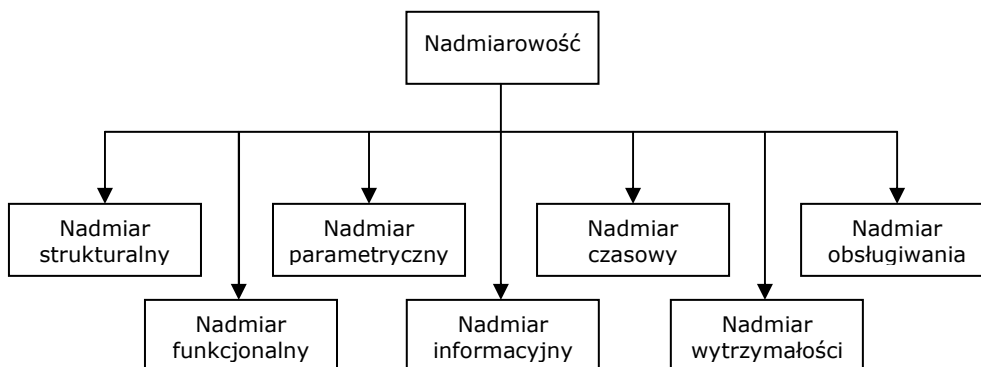
E - wartość oczekiwana zmiennej,

T_k - zmienna losowa oznaczająca czas właściwej obsługi,

T_n - zmienna losowa określająca czas utrzymywania się urządzenia w stanie zdatności między uszkodzeniami.

W praktyce dążeniem jest, aby wskaźnik gotowości miał wartość $K_a \approx 1$. Jednym ze sposobów zapewnienia w praktyce oczekiwanego poziomu wskaźnika gotowości urządzenia jest stosowanie nadmiarów. Można wyróżnić następujące rodzaje nadmiarów (rys. 2.2):

- nadmiar strukturalny (w systemie występują elementy podstawowe i elementy rezerwowe, które włączają się do funkcjonowania po uszkodzeniu się elementu podstawowego),
- nadmiar funkcjonalny (dwa elementy systemu znajdują się w relacji nadmiaru funkcjonalnego, jeżeli każdy z nich realizuje swoją funkcję w systemie, a w przypadku niezdatności któregoś z nich, drugi przejmuje w określonym zakresie jego funkcję),
- nadmiar parametryczny (polega na utrzymaniu większej energii i możliwości funkcjonalnych w odniesieniu do przeciętnych potrzeb),
- nadmiar informacyjny (nadmiar parametryczny w odniesieniu do informacji),
- nadmiar czasowy (dla wykonania czynności sterujących niezbędny jest określony czas. Jeżeli czas ten jest zbyt krótki, to operator realizujący operacje sterujące podlega stresowi),
- nadmiar wytrzymałości (wytrzymałość konstrukcji, wytrzymałość na przebicie elektryczne, wytrzymałość termiczna, itp.). Nadmiar wytrzymałości często powstaje samorzutnie, może być uwarunkowany przykładowo wymaganiami w zakresie sztywności konstrukcji,
- nadmiar obsługiwanego (w celu zmniejszenia możliwości wystąpienia błędu pierwszego i drugiego typu [67], operator wielokrotnie powtarza określone działania kontrole).



Rys. 2.2. Rodzaje nadmiarowości w systemach technicznych [83]

W praktyce stosuje się również wskaźniki gotowości operacyjnej, które określają prawdopodobieństwo zdarzenia, że obiekt będący w stanie zdatności w dowolnej chwili t przepracuje jeszcze okres czasu o długości Δt [108]:

$$K_{ao} = P(T_{ao} < t) \quad (2.11)$$

gdzie:

T_{ao} – zmienna losowa opisująca zdarzenie gotowości.

W literaturze znany jest również wskaźnik wykorzystania technicznego urządzenia, będący prawdopodobieństwem zdarzenia, że obiekt w wybranej chwili czasu jest w stanie zdatności i wykonuje zadanie do którego jest przeznaczony [27, 108]:

$$K_w = P(T_t < t) \quad (2.12)$$

gdzie:

T_t – zmienna losowa opisująca intensywność zdarzenia.

Urządzenia przeznaczone do realizowania takich samych zadań mogą mieć różną gotowość. Obiekt ma tym większą gotowość, im w krótszym czasie może przystąpić do realizacji określonego zadania. Przykładem systemu o dużej gotowości jest system człowiek - obiekt techniczny, kiedy personel obsługujący urządzenie znajduje się zawsze w stanie pracy (absolutnej gotowości), natomiast urządzenie jest uruchamiane zależnie od potrzeby. Utrzymanie urządzenia w wyższych stanach gotowości odbywa się kosztem zmniejszenia jego trwałości i niezawodności. Znając gotowość elementów składowych obiektu oraz jego strukturę gotowościową można wyznaczyć gotowość urządzenia.

Wszystkie scharakteryzowane wskaźniki eksploatacyjne urządzeń można zgrupować według określonych klas [27, 109]:

1. Nieuszkodzalność: funkcja niezawodności, intensywność uszkodzeń, funkcja wiodąca rozkładu, średni czas pracy do uszkodzenia (lub między uszkodzeniami), prawdopodobieństwo wykonania zadania jeśli obiekt jest uszkodzony, prawdopodobieństwo niewykonania zadania jeśli obiekt jest uszkodzony, prawdopodobieństwo nie wystąpienia uszkodzeń powodujących niewykonanie zadania,
2. Trwałość: średni czas do osiągnięcia stanu granicznego, prawdopodobieństwo nie wystąpienia stanu granicznego, intensywność występowania stanu granicznego, intensywność występowania stanu granicznego, funkcja wiodąca rozkładu trwałości,
3. Gotowość: współczynnik gotowości ogólnej, współczynnik gotowości operacyjnej, współczynnik wykorzystania technicznego,
4. Bezpieczeństwo: niezawodność bezpieczeństwa, zawodność bezpieczeństwa, intensywność uszkodzeń powodujących zawodność bezpieczeństwa, funkcja wiodąca rozkładu bezpieczeństwa, prawdopodobieństwo nie wystąpienia zagrożenia bezpieczeństwa jeżeli obiekt jest uszkodzony, prawdopodobieństwo wystąpienia zawodności bezpieczeństwa jeżeli obiekt jest uszkodzony,
5. Efektywność: stopień przystosowania obiektu do wykonania określonego zadania,
6. Odpowiedniość: prawdopodobieństwo, że obiekt jest przystosowany do wykonania określonych zadań,
7. Obsługiwalność: prawdopodobieństwo terminowego wykonania obsługi, intensywność obsługi, funkcja wiodąca rozkładu obsługi, średni czas trwania obsługi,
8. Naprawialność: prawdopodobieństwo terminowego wykonania naprawy, intensywność naprawy, funkcja wiodąca rozkładu naprawy, średni czas trwania naprawy.

Ponieważ istnieje wiele wskaźników charakteryzujących urządzenia, dla potrzeb badań skuteczności procesu eksploatacji wyróżnionych klas obiektów technicznych istotnym zagadnieniem jest odpowiedni ich dobór przykładowo według [27, 109]: naprawialności, czasu eksploatacji, rodzaju pracy i możliwości kontynuowania pracy po uszkodzeniu. Przykładowy sposób doboru wskaźników eksploatacji dla obiektów technicznych zestawiono w tabeli 2.1.

Tabela. 2.1. Zestawienie wybranych wskaźników eksploatacyjnych urządzenia [27]

Klasa urządzeń	Wskaźnik eksploatacyjny
Urządzenia nienaprawialne, które pracują do uszkodzenia w sposób ciągły lub przerywany, a po wymianie obiektu przewidziane do realizacji zadanie może być kontynuowane	Średni czas pracy do uszkodzenia, intensywność uszkodzeń
Urządzenia naprawialne pracują do pierwszego uszkodzenia w sposób ciągły lub przerywany, a niezależnie od czasu naprawy rozpoczęte zadanie może być kontynuowane	Średni czas pracy do uszkodzenia
Urządzenia pracujące do momentu osiągnięcia stanu granicznego w sposób ciągły lub przerywany, a po naprawie mogą kontynuować rozpoczęte zadanie	Średni czas pracy do uszkodzenia, średni czas do osiągnięcia stanu granicznego
Urządzenia pracujące do momentu osiągnięcia stanu granicznego w sposób ciągły lub przerywany, a po naprawie nie mogą kontynuować rozpoczętego zadania	Funkcja niezawodności, dystrybuanta zmiennej losowej, średni czas pracy do uszkodzenia, średni czas do osiągnięcia stanu granicznego
Urządzenia pracujące do momentu wykonania zadania w sposób ciągły, a po uszkodzeniu nie mogą kontynuować rozpoczętego zadania	Funkcja niezawodności, dystrybuanta zmiennej losowej
Urządzenia naprawialne pracujące do n -tego uszkodzenia w sposób ciągły lub przerywany i mogą kontynuować zadanie po naprawie	Gęstość odnowy, średni czas pracy do uszkodzenia
Urządzenia naprawialne pracujące do n -tego uszkodzenia w sposób ciągły, a możliwość kontynuowania zadania po naprawie zależy od czasu trwania naprawy	Gotowość wewnętrzna, gęstość odnowy, średni czas pracy do uszkodzenia
Urządzenia naprawialne pracujące do n -tego uszkodzenia w sposób przerywany, a możliwość kontynuowania zadania po naprawie zależy od czasu trwania naprawy	Gotowość wewnętrzna, gęstość odnowy, średni czas pracy do uszkodzenia, średni czas trwania naprawy
Urządzenia naprawialne pracujące do n -tego uszkodzenia lub osiągnięcia stanu granicznego w sposób ciągły lub przerywany i które nie mogą kontynuować zadania jeśli uszkodzenie nastąpi w warunkach pracy	Średni czas do osiągnięcia stanu granicznego, wskaźnik gotowości operacyjnej

2.3. Modele gotowości urządzenia

Gotowość jest to zdolność obiektu do przebywania w stanie zdatności w dowolnej chwili eksploatacji. Zależy ona między innymi od przysposobienia obiektu do zabiegów odnowy, czyli od tak zwanej *odnawialności (naprawialności)*.

W modelach gotowości urządzenia przyjmuje się zachodzące procesy najczęściej jako stochastyczne. W modelowaniu procesów z udziałem obiektów technicznych przydatne są modele Markowa [12, 17].

Proces stochastyczny $\{X(t) : t \in T\}$ o skończonym lub przeliczalnym zbiorze stanów nazywamy *procesem Markowa*, jeżeli dla dowolnych czasów $(t_0, t_1, \dots, t_n, t_{n+1}) \in T$ takich, że $t_0 < t_1 < \dots < t_n < t_{n+1}$ oraz dowolnych $(i, j, i_0, i_1, \dots, i_{n-1}) \in S$ zachodzi zależność:

$$P\{X(t_{n+1})=j \mid X(t_n)=i, X(t_{n-1})=i_{n-1}, \dots, X(t_0)=i_0\} = P\{X(t_{n+1})=j \mid X(t_n)=i\} \quad (2.13)$$

Jeżeli czasy t_0, t_1, \dots, t_{n-1} będziemy interpretować jako interwały czasowe w przeszłości oraz t_n jako chwilę obecną (teraźniejszość), natomiast t_{n+1} jako przyszły interwał czasowy to zgodnie z procesem Markowa rozkład warunkowy *przyszłych* stanów nie zależy od *przeszłości*, gdy znany jest aktualny stan procesu.

Jeżeli $T = N_0 = \{0, 1, 2, \dots\}$, to proces Markowa nazywamy *łańcuchem Markowa*, dla którego prawdopodobieństwo warunkowe ma postać:

$$P_{ij}(t_n, t_{n+1}) = P\{X(t_{n+1})=j \mid X(t_n)=i\}, i, j \in S \quad (2.14)$$

Zależność (2.14) jest prawdopodobieństwem przejścia z *i-tego* stanu w chwili t_n do *j-tego* stanu w chwili t_{n+1} . Przy założeniu $t_n = s, t_{n+1} = t$, gdzie $0 \leq s < t$, z definicji procesu Markowa wynikają następujące wnioski:

- 1) $P_{ij}(s, t) \geq 0$ dla wszystkich $i, j \in S$ oraz $s, t \in T, s < t$,
- 2) $\sum_{j \in S} P_{ij}(s, t) = 1$ dla wszystkich $i \in S$ oraz $s, t \in T, s < t$,
- 3) $P_{ij}(s, t) = \sum_{k \in S} P_{ik}(s, u) P_{kj}(u, t)$ dla wszystkich $i, j \in S$ oraz $s, u, t \in T, s < u < t$,
(równość Chapmana-Kołmogorowa).

Proces Markowa nazywamy *jednorodnym*, jeżeli prawdopodobieństwa przejścia pomiędzy możliwymi stanami zależą jedynie od różnicy chwili $t-s$:

$$P_{ij}(s, t) = P_{ij}(t-s) \quad (2.15)$$

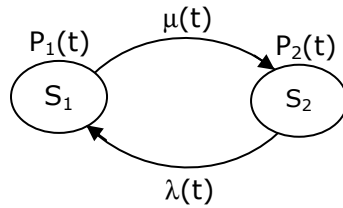
dla $s=0$, prawdopodobieństwo $P_{ij}(0, t) = P_{ij}(t)$.

Jednorodny proces Markowa o dyskretnym zbiorze stanów S i dyskretnym zbiorze parametrów $T = N_0 = \{0, 1, 2, \dots\}$ nazywamy *jednorodnym łańcuchem Markowa*.

Przy założeniu zachodzenia procesu Markowa:

$\{X(t) : t \geq 0\}$, gdzie $X(t)$ - zmienna losowa, $\{X(t) : t \in T\}$ - rodzina zmiennych losowych eksploatacji, T - czas będący zbiorem chwil czasowych (czas aplikacji), $t \in T$ - chwila (czasowa) oraz zajście określonego zdarzenia, $S = \{0, 1, 2, \dots, n\}$ - zbiór uciążliwych stanów urządzenia, przykładowo: $S=1$ - stan niegotowości urządzenia, $S=2$ - stan gotowości urządzenia,

możliwa jest budowa modelu urządzenia (środka transportu) z dwoma stanami gotowości (rys. 2.3):



Rys. 2.3. Model 2-stanowy środka transportu (zmiany gotowości) [27]

gdzie:

$P_1(t)$ - prawdopodobieństwo przebywania urządzenia w stanie niegotowości w chwili t ,

$P_2(t)$ - prawdopodobieństwo przebywania urządzenia w stanie gotowości w chwili t ,

$\lambda(t)$ - intensywność uszkodzeń urządzenia,

$\mu(t)$ - intensywność napraw urządzenia.

Macierz intensywności przejść pomiędzy możliwymi stanami urządzenia dla procesu Markowa ma postać [26]:

$$\Lambda = \begin{bmatrix} -\mu(t) & \mu(t) \\ \lambda(t) & -\lambda(t) \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

Zakładając stałe intensywności przejść pomiędzy wyróżnionymi stanami S_1, S_2 oraz przyjmując, że czasy trwania stanów procesu mają rozkłady wykładnicze z parametrami λ, μ , model gotowości urządzenia dla jednorodnego, stacjonarnego procesu Markowa ($\lambda(t) = \lambda, \mu(t) = \mu$) ma postać:

$$P_1 = \frac{\lambda}{\mu + \lambda} \quad (2.17)$$

$$P_2 = \frac{\mu}{\mu + \lambda} \quad (2.18)$$

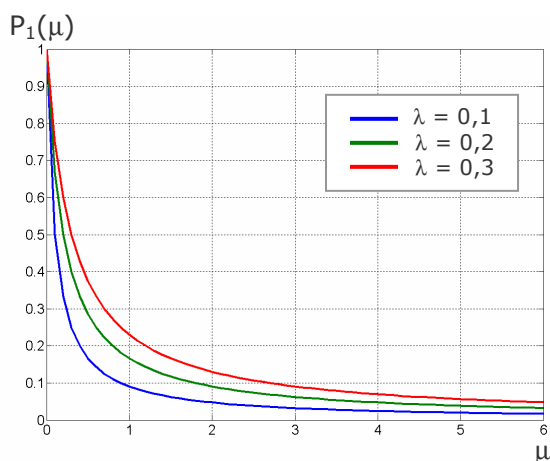
Przy powyższym założeniu możliwe jest sformułowanie układu równań różniczkowych prawdopodobieństw zachodzenia określonych stanów [26]:

$$P'_1(t) = P_2(t) \cdot \lambda(t) - \mu(t) \cdot P_1(t) \quad (2.19)$$

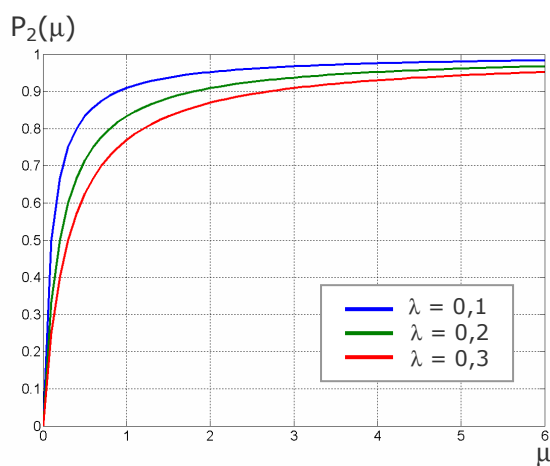
$$P'_2(t) = -P_2(t) \cdot \lambda(t) + \mu(t) \cdot P_1(t) \quad (2.20)$$

$$P_1(t) + P_2(t) = 1, \quad P_1(0) = 0; \quad P_2(0) = 1; \quad (2.21)$$

Sformułowane powyżej równania zilustrowano przykładowymi wykresami dla intensywności napraw (dla $\lambda_1 = 0,1; \lambda_2 = 0,2; \lambda_3 = 0,3$) oraz stacjonarnej niegotowości obiektu $P_1(\mu)$ (rys. 2.4), natomiast dla stacjonarnej gotowości obiektu $P_2(\mu)$ - przedstawiono na rysunku 2.5.



Rys. 2.4. Prawdopodobieństwo przebywania urządzenia w stanie gotowości w chwili t w funkcji intensywności napraw



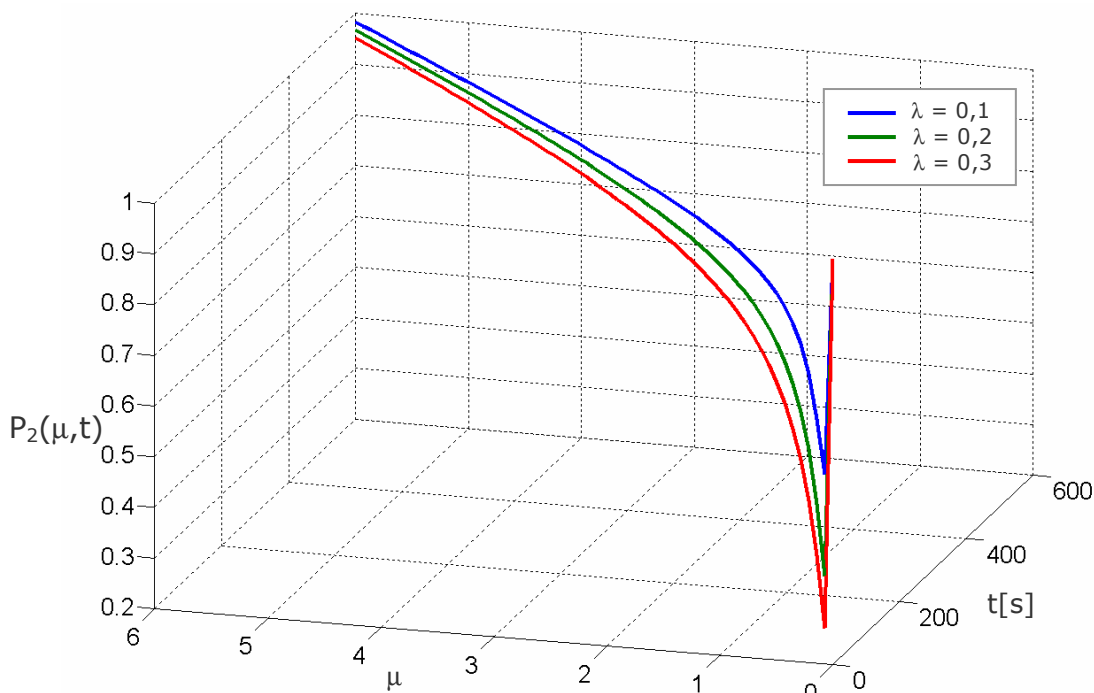
Rys. 2.5. Prawdopodobieństwo przebywania urządzenia w stanie niegotowości w chwili t w funkcji intensywności napraw

Model gotowości urządzenia dla pojedynczego procesu Markowa [26] ma postać:

$$P_1(t) = 1 - P_2(t) \quad (2.22)$$

$$P_2(t) = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \cdot \exp[-(\lambda + \mu) \cdot t] + \frac{\mu}{\lambda + \mu} \quad (2.23)$$

Przykładowy wykres funkcji gotowości $P_2(t) = f(\lambda, \mu, t)$, dla $\lambda = 0,1$; $\lambda = 0,2$; $\lambda = 0,3$; $\mu = 0 \dots 6$ oraz $t = 0 \dots 600[s]$, przedstawiono na rysunku 2.6.



Rys. 2.6. Przykładowy wykres zmian prawdopodobieństwa przebywania urządzenia w stanie niegotowości, w chwili t

Przyjmując, że czas T_2 trwania stanu gotowości S_2 (rys. 2.3) jest nieujemną zmienną losową o dowolnym rozkładzie określonym przez gęstość $f_2(t)$, natomiast stan S_1 niegotowości jest nieujemną zmienną losową o dowolnym rozkładzie określonym przez gęstość $f_1(t)$, to możliwy jest model semimarkowski, przy czym $t \rightarrow \infty$, to:

$$P_1 = \frac{E(T_1)}{E(T_1) + E(T_2)} \quad (2.24)$$

$$P_2 = \frac{E(T_2)}{E(T_1) + E(T_2)} \quad (2.25)$$

gdzie:

$E(T_k)$ – wartość oczekiwana zmiennej losowej określającej czas pozostawienia obiektu w stanie zdadności między uszkodzeniami,

$E(T_n)$ – wartość oczekiwana zmiennej losowej określającej czas trwania naprawy obiektu.

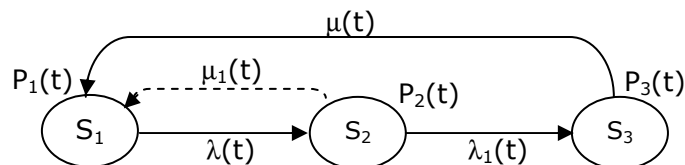
Dla potrzeb analizy środków transportowych możliwe jest budowanie ich modeli gotowości. Przykładowe modele gotowości środka transportu pracującego w cyklu przerywanym i z nieodwracalnymi stanami gotowości przedstawiono w pracy [26].

Model gotowości środka transportu pracującego w cyklu przerywanym przedstawiono na rysunku 2.7. Struktura modelu obejmuje:

S_1 - stan gotowości urządzenia i oczekiwania na podjęcie działania,

S_2 - stan gotowości urządzenia realizującego określone działanie,

S_3 - stan odnowy w procesie obsługiwanym (stan niegotowości).



Rys. 2.7. Model gotowości urządzenia pracującego w cyklu przerywanym [26]

$P_1(t)$ - prawdopodobieństwo przebywania urządzenia w stanie gotowości w chwili t w oczekiwaniu na realizację działania,

$P_2(t)$ - prawdopodobieństwo przebywania urządzenia w stanie gotowości w chwili t ,

$P_3(t)$ - prawdopodobieństwo przebywania urządzenia w stanie niegotowości w chwili t .

$\lambda(t)$ - intensywność przejścia od stanu oczekiwania do stanu użytkowania (realizacji działania),

$\lambda_1(t)$ - intensywność przejścia od stanu realizacji działania do stanu obsługiwanego (intensywność uszkodzenia),

$\mu(t)$ - intensywność przejścia ze stanu obsługiwanego do stanu oczekiwania na działanie (intensywność odnowy napraw),

$\mu_1(t)$ - intensywność przejść między stanami S_2 oraz S_1 ,

gdzie:

model gotowości urządzenia dla jednorodnego stacjonarnego procesu Markowa ($\lambda(t)=\lambda, \mu(t) = \mu$) ma postać [26]:

Przyjmując prawdopodobieństwo przebywania urządzenia w określonych stanach:

$P_1(t)$ - prawdopodobieństwo przebywania urządzenia w stanie gotowości w chwili t w oczekiwaniu na realizację działania,

$P_2(t)$ - prawdopodobieństwo przebywania k -tego podsystemu w stanie gotowości w chwili t ,

$P_3(t)$ - prawdopodobieństwo przebywania urządzenia w stanie niegotowości w chwili t ,

dla jednorodnego stacjonarnego modelu Markowa model gotowości środka transportu ma postać:

$$P_1(t) + \sum_{j=1}^m [P_{2j}(t) + P_{3j}(t)] = 1 \quad (2.31)$$

gdzie:

j - oznacza określony zespół urządzenia odpowiedzialny za k -te działanie.

Zakładając, że: $\lambda(t) = \lambda$ oraz $\mu(t) = \mu$, dla jednorodnego stacjonarnego procesu Markowa, gotowość i niegotowość urządzenia opisują zależności:

$$P_1 = \frac{1}{1 + \sum_{j=1}^m \lambda_{1j} \cdot \left(\frac{1}{\lambda_{2j}} + \frac{1}{\mu_j} \right)} \quad (2.32)$$

$$P_2 = \frac{\lambda_{1j}}{\lambda_{2j}} \cdot P_1 \quad (2.33)$$

$$P_3 = \frac{\lambda_{1j}}{\mu_j} \cdot P_1 \quad (2.34)$$

gdzie: λ , μ są intensywnościami przejść między określonymi, wyróżnionymi stanami.

Wskaźnik gotowości urządzenia ma postać:

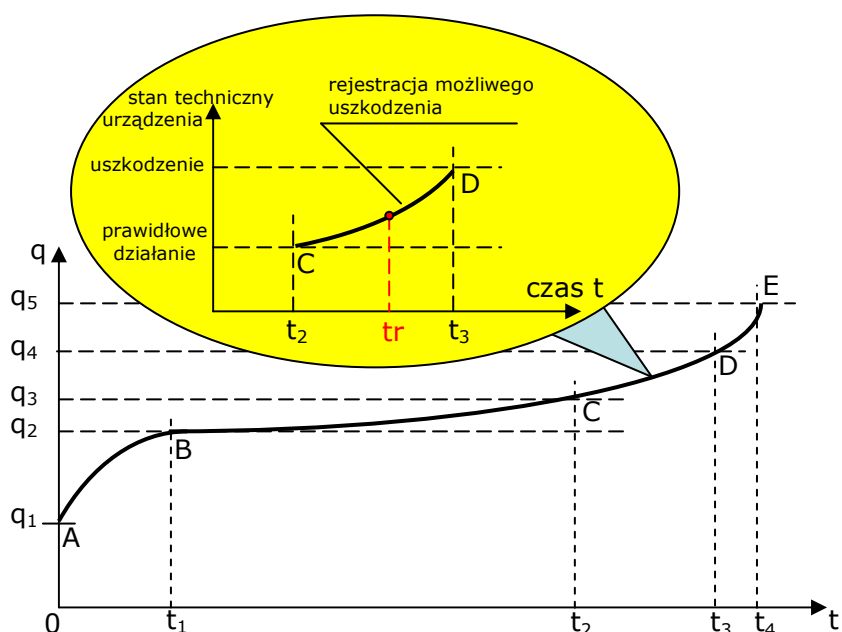
$$K_a = P_1 + P_2 + P_3 \quad (2.35)$$

Model gotowości środka transportu z nieodwracalnymi stanami gotowości ma zastosowanie również dla suwnic pomostowych.

2.4. Metody i narzędzia wspomagające proces nadzorowania stanu technicznego urządzenia

W procesie eksploatacji urządzenia następują zmiany charakterystyki q eksploatowanego urządzenia i wyróżniane są fazy docierania oraz ustabilizowanych i przyspieszonych zmian jego parametrów eksploatacyjnych (rys. 2.9) [66]:

1. faza docierania ($0 \leq t < t_1$), w której: punkt *A* określa charakterystykę q_1 urządzenia nabytą w rezultacie procesu wytwarzania, punkt *B* określa charakterystykę q_2 urządzenia uzyskaną po dotarciu jego zespołów,
2. faza ustabilizowanych zmian (degradacji) parametrów eksploatacyjnych urządzenia ($t_1 \leq t < t_2$), w której punkt *C* określa wartość akceptowalnej charakterystyki q_3 urządzenia; przekroczenie punktu *C* zagraża jego bezpiecznemu użytkowaniu oraz obniża się jakość, szybko rosną koszty obsługi,
3. faza przyspieszonych zmian parametrów eksploatacyjnych urządzenia ($t_2 \leq t \leq t_4$): punkt *D* jest punktem krytycznym (charakterystyka q_4 urządzenia wyklucza je z dalszego użytkowania z uwagi na możliwość wystąpienia awarii), punkt *E* określa taki stan techniczny urządzenia, który kwalifikuje je do kasacji.



Rys. 2.9. Zmiany charakterystyki q eksploатовanego urządzenia [68]

Charakter zmian parametrów eksploatacyjnych urządzenia podczas eksploatacji jest najczęściej losowy i zależy od warunków użytkowania. Po upływie pewnego czasu parametry eksploatacyjne urządzenia osiągają wartości krytyczne, w rezultacie przekroczenia których system jest w stanie niezdatności. Wartości krytyczne przyjmuje się jako stałe dla danej klasy urządzeń i podaje się je w wymaganiach technicznych. Chwilę przejścia urządzenia do fazy przyspieszonych zmian jego parametrów eksploatacyjnych określa się najczęściej w wyniku badań statystycznych. Praktyka potwierdza jednak, że różnorodność zjawisk wpływających na bezawaryjną pracę zespołów urządzenia jest tak duża, że powyższe podejście nie jest zawsze prawidłowe. Jest ono uzupełniane oceną stanu technicznego urządzenia w czasie rzeczywistym (ang. *on-line*) z użyciem układu monitoringu. Zastosowanie ciągłego monitoringu urządzenia pozwala na prewencyjne podejście do procesu jego obsługi.

Do oceny zidentyfikowanych możliwych zagrożeń w procesie użytkowania urządzenia używa się wiele metod, przykładowo:

- *metody porównawcze* wykorzystujące wiedzę z analiz bezpieczeństwa podobnych obiektów technicznych. Należą do nich metody indeksowe, listy kontrolne,
- *metody analityczne*, takie jak FTA, ETA, CCA pozwalają zarówno na wykrycie źródeł zagrożeń, jak i na ocenę możliwych scenariuszy awaryjnych. Ze względu na wykorzystywanie precyzyjnych zależności logicznych zachodzących w analizowanych sytuacjach, pozwalają na numeryczne wyznaczanie wielkości ryzyka,
- *metody przeglądowe* ułatwiające systematyczne przestudiowanie możliwych potencjalnych źródeł zagrożeń. Wśród tych metod najbardziej znanymi są FMECA i HAZOP. Należą do nich także metody: PHA, What-If Analysis.

Wybór jednego z dostępnego sposobu identyfikacji zagrożeń zależy od wielu czynników. Są nimi: cel analizy, dostępne informacje, doświadczenie ekspertów, wymagany czas przeprowadzenia analizy, czy w końcu tradycja i preferencje wykonawców analizy.

Do wyznaczenia ryzyka awarii urządzenia na podstawie prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzeń elementarnych oraz na podstawie wielkości start wynikających z takiego zdarzenia służą: metoda drzewa błędów (FTA - ang. *Fault Tree Analysis*), metoda drzewa zdarzeń (ETA - *Event Tree Analysis*) oraz analiza przyczyna - skutek CCA (ang. *Cause-Consequence Analysis*).

FTA (ang. *Fault Tree Analysis*) jest metodą analityczną służącą do wyszukiwania przyczyn uszkodzeń (niezdatności) danego elementu z wykorzystaniem wykresu w kształcie drzewa. Na podstawie analizy drzewa niezdatności urządzenia można w systematyczny sposób określić i przedstawić w formie graficznej wszystkie powiązania logiczne możliwych uszkodzeń elementów struktury systemu. Budowę drzewa uszkodzeń rozpoczyna się od ustalenia najistotniejszego zdarzenia. Jeśli do zdarzenia może dojść w wyniku kilku różnych i niezależnych od siebie zdarzeń, należy je umieścić na najniższym poziomie drzewa i połączyć ze sobą bramką logiczną *OR*. Jeśli wyróżnione zdarzenie jest uwarunkowane równoczesnym skutkiem kilku zdarzeń, to należy je połączyć bramką logiczną *AND*. Analiza taka pozwala na podjęcie określonych przedsięwzięć zaradczych zmierzających do wyeliminowania przyczyn obserwowanych uszkodzeń. W rezultacie analizy drzewa niezdatności można:

- zidentyfikować wszystkie potencjalne uszkodzenia systemu, ich kombinacje oraz przyczyny prowadzące do określonych zdarzeń,
- zaprezentować kombinacje zdarzeń o charakterze krytycznym,
- obliczyć wskaźniki niezawodności, przykładowo prawdopodobieństwo wystąpienia niepożądanego zdarzenia.

Punktem wyjścia dla analizy typu FTA, jest system złożony z n elementów struktury, które mogą być zdatne lub uszkodzone (niezdatne). Stan niezdatności systemu charakteryzuje się wyróżnionym niepożądanym zdarzeniem. Model drzewa niezdatności systemu określa wszystkie potencjalne uszkodzenia elementów systemu, lub ich kombinacje, dodatkowo wykazując związek przyczynowy z określonym stanem systemu. Oprócz analizy logicznej (jakościowej) drzewa niezdatności, duże znaczenie praktyczne ma jego analiza ilościowa, przykładowo oczekiwana częstość występowania zdarzenia wyróżnionego [11].

Analiza drzewa zdarzeń ETA (ang. *Event Tree Analysis*) rozpatruje drogę od zdarzenia początkującego do końcowego, ze szczególnym uwzględnieniem czasów

mających decydujące znaczenie na stan techniczny systemu. Mimo, że rozmiary drzewa zdarzeń rosną wraz ze złożonością systemu, to metoda ta w przejrzysty sposób pokazuje możliwe konsekwencje zaistnienia zdarzenia nieprawidłowego. Pozwala również prześledzić w kolejnych krokach skutki zajścia zdarzenia początkowego. Procedura analizy typu ETA składa się z sześciu etapów [11]:

- identyfikacji zdarzenia inicjującego, które może doprowadzić do założonej awarii,
- identyfikacji funkcji bezpieczeństwa, przewidzianych do łagodzenia skutków zdarzenia inicjującego,
- konstrukcji drzewa zdarzeń,
- opisu wynikającego z konstrukcji drzewa sekwencji awaryjnych,
- wyznaczenia minimalnych przekrojów drzewa,
- opracowania dokumentacji.

W analizach zagrożeń ważne jest określenie zdarzenia inicjującego, którego zaistnienie wywołać może sekwencje kolejnych zdarzeń. Analiza ETA może być wykorzystywana zarówno do identyfikacji zagrożeń, jak i oszacowania prawdopodobieństwa sekwencji zdarzeń prowadzących do sytuacji zagrażających [60].

Metoda przyczyna-skutek (CCA) łączy opisane sposoby postępowania dla FTA i ETA. Wychodząc od założonej sytuacji awaryjnej możliwa jest identyfikacja zarówno przyczyny oraz potencjalnych skutków obserwowanego zdarzenia. Podstawą dla tych metod jest przyjęcie do obliczeń właściwych wartości prawdopodobieństwa zaistnienia zdarzeń uzyskanych w rezultacie badań eksploatacyjnych urządzenia.

Pozyskiwane w rezultacie monitorowania procesu eksploatacji urządzenia informacje są coraz częściej analizowane z wykorzystaniem metod analizy rodzajów, skutków i krytyczności uszkodzeń FMECA (ang. *Fault Mode, Effect and Criticality Analysis*) i metodami analizowania ryzyka gotowości HAZOP (ang. *HAZard and OPerability study*) [104, 105]. Metody przyczynowo-skutkowe wykorzystują wiedzę heurystyczną w zakresie budowy i eksploatacji urządzenia oraz umożliwiają analizowanie:

- procesu działania urządzenia i możliwych przyczyn niezdatności (z uwzględnieniem zależności pomiędzy jego elementami i ich funkcjami),
- potencjalnych skutków stanów niezdatności na poziomie lokalnym (oraz ich wpływu na zmniejszenie lub utratę możliwości wykonywania zadanych przez użytkownika działań) oraz na poziomie globalnym systemu.

Przyczynowo-skutkowe metodyki oceny stanu technicznego środków transportu przedstawiono w pracy [74].

Metody indeksowe mają na celu syntetyczne określenie poziomu bezpieczeństwa całego systemu. Każdy z uwzględnionych czynników stwarzających zagrożenie, jest szacowany według zadanej (przyjętej) skali punktowej. Szacowane są także techniczne i organizacyjne środki zapobiegania i ograniczania awarii. Wynikiem takiej analizy jest uzyskana przez urządzenie liczba punktów, która syntetycznie wyraża poziom zagrożeń. Na podstawie punktacji można się zorientować, które czynniki mają decydujący wpływ na wynik końcowy i starać się je w przyszłości poprawić. Metody indeksowe oparte są na wieloletnich analizach przyczyn i skutków zaistniałych awarii określonej klasy urządzeń (z wykorzystaniem heurystyki).

Metody FMEA (ang. *Failure Mode and Effect Analysis*), czyli analiza przyczyn i skutków wad oraz jej odmiana FMECA (ang. *Failure Mode and Criticality Analysis*), stały się narzędziami projektantów pragnących zminimalizować straty spowodowane niską jakością produktów. Celem analiz z wykorzystaniem metod

FMEA/FMECA jest znalezienie potencjalnych przyczyn i skutków błędów popełnianych przy projektowaniu i ich wyeliminowanie zanim jeszcze powstanie gotowy produkt. Metoda FMECA umożliwia prowadzenie analiz jakościowych i ilościowych, a skuteczność realizowanych działań prewencyjnych wyrażana jest akceptowalnym współczynnikiem krytyczności (liczbą priorytetową ryzyka).

Metoda przyczynowo-skutkowa typu FMECA wykorzystuje funkcjonalną dekompozycję urządzenia (np. podsystemy, zespoły, elementy). Dla wyróżnionych elementów struktury urządzenia formułuje się wskaźniki ich możliwych uszkodzeń, którym przypisuje się ponadto parę: skutek, przyczyna. Dla wprowadzonych wskaźników określa się odpowiednio kryteria: częstotliwości R , znaczenia Z i wykrywalności W . Z uszkodzeniem wiąże się jego znaczenie typu funkcjonalnego dla urządzenia i częstotliwość R występowania zagrożeń (prawdopodobieństwo wystąpienia przyczyn) prowadzących do możliwego uszkodzenia. Ze skutkiem uszkodzenia powiązane jest znaczenie Z uszkodzenia z punktu bezpieczeństwa urządzenia. Przyczyna uszkodzenia kojarzona jest z wykrywalnością W możliwych zagrożeń przed ich fizycznym zaistnieniem.

Każde uszkodzenie urządzenia można wyrazić z użyciem wag (przykładowo liczby całkowite z przedziału od 1 do 10): dla R w funkcji częstotliwości występowania od mało prawdopodobnego do bardzo częstego, dla Z od bardzo małego do bardzo dużego, dla W od bardzo wysokiego do bardzo niskiego. Nałożenie na urządzenie łącznego kryterium umożliwia wyznaczenie liczby priorytetu ryzyka P wyrażającej poziom ryzyka odpowiadający występującemu uszkodzeniu:

$$P = R \cdot Z \cdot W \quad (2.36)$$

Dla przyjętych powyżej wag, priorytet ryzyka może się zmieniać w przedziale od 1 do 1000. Przyjęcie dla określonego urządzenia, pracującego w znanych warunkach otoczenia, referencyjnego priorytetu ryzyka P , umożliwia jakościowe analizowanie przedmiotowego systemu, pod kątem zapewnienia oczekiwanego użytkownika.

Metoda HAZOP (ang. *Hazard and Operability Study*) jest analityczną metodą stosowaną przy badaniu możliwości wystąpienia zagrożeń w projektowanych oraz modernizowanych urządzeniach i jest realizowana przez grupę specjalistów z różnych dziedzin związanych z danym systemem. Specyficzną cechą metody HAZOP jest to, iż może być stosowana we wszystkich fazach życia urządzenia. Jej celem jest prowadzenie badań nad możliwościami odchylenia procesów eksploatacyjnych systemu od założeń projektowych i identyfikacja zagrożeń lub zakłóceń zdolności realizacji celowych działań.

Wstępna analiza zagrożeń PHA (ang. *Preliminary Hazard Analysis*) jest metodą pozwalającą oszacować ryzyko powstania możliwych zagrożeń w procesie użytkowania urządzenia w stanie niezdatności całkowitej lub częściowej. Pozwala określić możliwe straty (S) spowodowane przez użytkowane urządzenie i prawdopodobieństwo (P) wystąpienia możliwych szkód. Wskaźnik ryzyka można wyrazić zależnością:

$$W = S \cdot P \quad (2.37)$$

gdzie:

S - stopień szkód powstałych w procesie użytkowania systemu,

P - prawdopodobieństwo wystąpienia szkód w rezultacie zaistniałego zdarzenia.

Analiza typu "Co Jeżeli" (ang. *What - If Analysis*) jest sposobem testowania procesu działania systemu opartym na metodzie "burzy mózgów". Głównym zadaniem analizy "Co Jeżeli" jest szczegółowa ocena wpływu możliwych odstępstw w procesie

(produktach wejściowych i wyjściowych) oraz zmian parametrów eksploatacyjnych urządzenia, sformułowanych w postaci: *co się stanie jeżeli...*, od założeń przyjętych w procesie projektowania i przyjętych procedur użytkowania i obsługiwanego na podstawie informacji o zdarzeniach z groźnymi skutkami (awariami). Przedstawiona metoda identyfikuje zagrożenia, skutki i potencjalne metody minimalizacji możliwych zagrożeń.

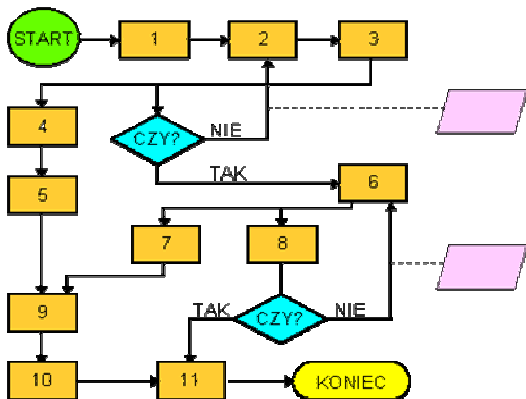
W ostatnich latach obserwowana jest tendencja do łączenia wyróżnionych metod i narzędzi ze sobą. Ma to na celu łatwiejsze i precyzyjniejsze identyfikowanie i ocenianie możliwych zagrożeń. Tak na przykład stało się w przypadku popularnej w ostatnich latach techniki LOPA (ang. *Layer of Protection Analysis*). Łączy ona w sobie wygodę przeglądowych metod identyfikacji zagrożeń jakościowych metod oceny z ilościową analizą wpływu poszczególnych zabezpieczeń (bezpieczników) na ryzyko wynikowe zabezpieczanego urządzenia (procesu). Technika LOPA urządzenia wymusza prowadzenie w sposób ciągły analizy zmian parametrów eksploatacyjnych. Integracja procesu pozyskiwania produktów wejściowych i wyjściowych z procesu eksploatacji urządzenia [68], z analizą jego stanu technicznego z wykorzystaniem opracowanej referencyjnej bazy danych produktów urządzenia i danych historycznych z procesu jego użytkowania, pozwala na automatyzację procesu decyzyjnego w zakresie oceny możliwości realizacji działania, a ponadto oceny trwałości i niezawodności systemu.

Istotnymi w procesie eksploatacji środków transportowych są procesy decyzyjne (sterowania) w zakresie użytkowania i obsługiwanego. W praktyce stosowane są tradycyjne rozwiązania z udziałem człowieka (operatora), narzędzi typu SPC (ang. *Statistical Process Control*), RCM (ang. *Reliability Centered Maintenance*), a ponadto wprowadzane są nowe rozwiązania z udziałem sztucznej inteligencji, przykładowo: sieci neuronowe, logika rozmyta, algorytmy genetyczne. W metodzie SPC decyzje są podejmowane na podstawie analizy trendów wybranych zdarzeń uzyskanych w rezultacie zastosowania określonych narzędzi typu SPC, przykładowo: schematu blokowego, diagramu Pareto, diagramu Ishikawy, kart kontrolnych, histogramów, wykresów (rys. 2.10).

Metoda RCM (ang. *Reliability Centered Maintenance*) jest efektywną metodą stosowaną do określenia wymagań w zakresie sposobu utrzymania obiektu technicznego, w kontekście realizacji bieżących zadań produkcyjnych [44]. Celem RCM nie jest całkowita eliminacja awarii, ale zwiększenie bezpieczeństwa i niezawodności systemu, jego zabezpieczenie przed wystąpieniem awarii lub zminimalizowanie skutków awarii oraz zmniejszenie kosztów przeglądów przez zmianę lub wyeliminowanie zbędnych przedsięwzięć. Zaletą RCM jest to, że może być przeprowadzona zarówno dla systemów nowych jak i istniejących. Stosowanie metody RCM wymaga:

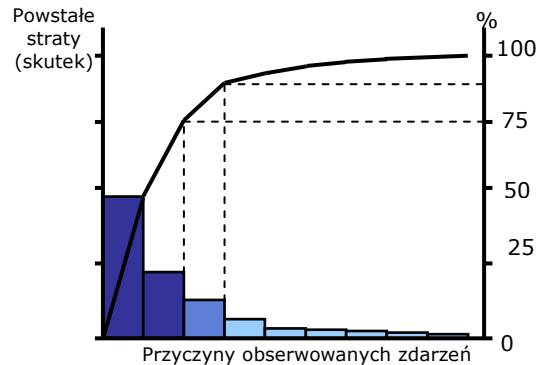
- dekompozycji funkcjonalnej urządzenia na jego elementy w celu zrozumienia relacji pomiędzy wyróżnianymi elementami systemu oraz otoczeniem i ich istotności,
- systematycznej identyfikacji możliwych uszkodzeń na wyróżnionych poziomach dekomponowanego systemu,
- wyznaczenia istotności każdego wyróżnionego elementu w systemie z uwzględnieniem możliwych uszkodzeń,
- identyfikacji wymagań w zakresie obsługiwanego urządzenia z uwagi na bezpieczeństwo i niezawodność oraz skutki degradacji elementu na przebiegu użytkowania,
- optymalizacji oraz ustalenia zakresów i priorytetów obsług profilaktycznych w celu skutecznego obniżenia występowania uszkodzeń systemu.

SCHEMAT BLOKOWY



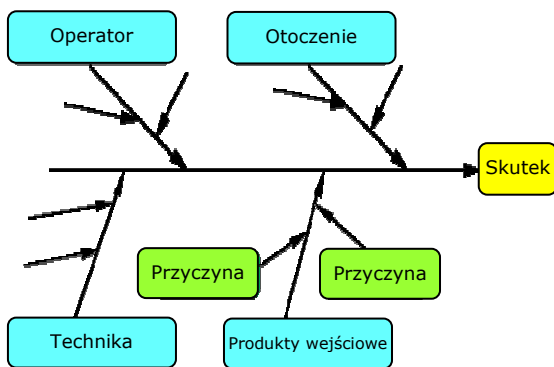
Stanowi punkt wyjścia do analizy procesu realizowanego przez urządzenie. Pozwala zaobserwować zależności (relacje) pomiędzy elementami struktury i wskazać jego słabe punkty.

DIAGRAM PARETO



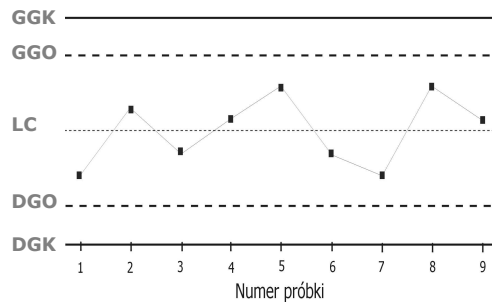
Ilustruje nierównomierność rozkładu zależności typu „skutek-przyczyna” w procesie eksploatacji urządzenia, wskazując że stosunkowo niewielka liczba przyczyn ma znaczny (istotny) udział w obserwowanych skutkach jego działania. Pozwala skoncentrować uwagę użytkownika urządzenia na najważniejszych problemach eksploatacyjnych.

DIAGRAM ISHIKAWY



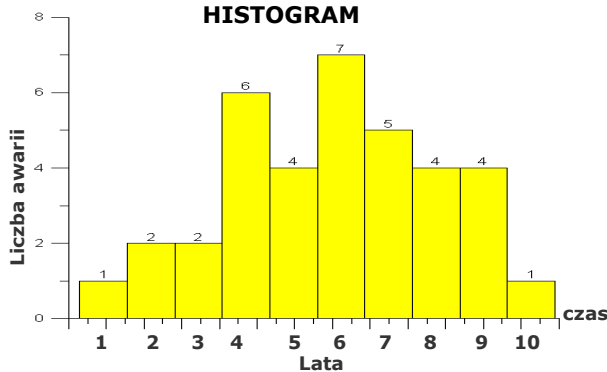
Pozwala rozpoznać wpływ określonych właściwości urządzenia oraz oddziaływań zewnętrznych na ostateczny wynik procesu (działania). Wskazane jest tworzenie diagramu w zespole metodą tzw. „burzy mózgów”.

KARTY KONTROLNE



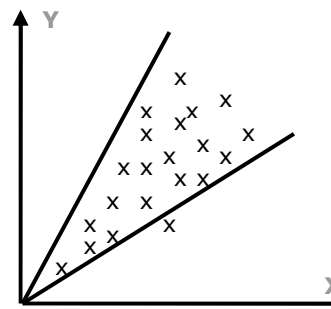
Ilustruje zmienność wybranych parametrów eksploatacyjnych urządzenia. Pozwalają ocenić stabilność procesu oraz zdolność do spełnienia jakościowych wymagań użytkownika urządzenia. Na diagram nanosimy informacje pochodzące z próbek pobieranych w regularnych odstępach z procesu poddawanego kontroli. Na osi poziomej, przedstawia się kolejne próbki pobrane z badania urządzenia, natomiast na osi pionowej odkłada się wartości obserwowanej charakterystyki z próbki (średnia, itp).
GGK – górna granica kontrolna, GGO – górna granica ostrzegawcza, LC – linia centralna, DGO – dolna granica ostrzegawcza, DGK – dolna granica kontrolna

HISTOGRAM



Stanowi graficzne przedstawienie częstości występowania obserwowanej właściwości urządzenia lub zdarzenia w określonych przedziałach czasu. Ilustruje postać rozkładu i jego usytuowanie w stosunku do wartości nominalnej i tolerancji.

WYKRESY



Przedstawiają współzależność zmian dwóch wybranych parametrów eksploatacyjnych urządzenia (x,y) w procesie eksploatacji (analiza korelacji).

Rys. 2.10. Wybrane narzędzia typu SPC wykorzystywane w jakościowym zarządzaniu systemem technicznym [48]

Sieci neuronowe (ang. *neural networks*) stanowią gałąź sztucznej inteligencji wykorzystującą w przetwarzaniu sygnałów analogie do zjawisk zachodzących w neuronach organizmów żywych. Pierwsi badacze w dziedzinie sztucznych sieci neuronowych (McCulloch, Pitts [90]) zadawali sobie sprawę z tego, że sam neuron nie stanowi o myśleniu. Jednak, aby wykonać pierwszy krok, skoncentrowali się na skonstruowaniu elementu podstawowego – sztucznego neuronu. Sztuczny neuron jest daleko idącym uproszczeniem prawdziwej komórki nerwowej. W podstawowym modelu, który do dziś niewiele się zmienił, sztuczny neuron odbiera sygnały wejściowe x_1, \dots, x_n ze środowiska lub od innych neuronów. Sygnały wejściowe, zwykle liczby rzeczywiste, są następnie mnożone przez przypisane im wagi w_1, \dots, w_n . Wagi odpowiadają za to, jaki jest wpływ konkretnego sygnału x_i na działanie neuronu. Działanie neuronu polega na zsumowaniu wartości sygnałów wejściowych pomnożonych przez wagi i podaniu ich jako argumentu do *funkcji aktywacji* f . Wartość funkcji aktywacji $y = f\left(\sum_{i=1}^n w_i \cdot x_i\right)$ stanowi odpowiedź

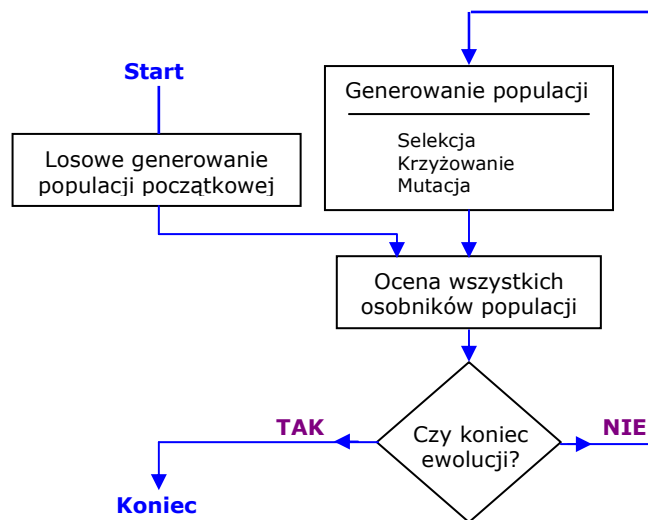
sztucznego neuronu i jest zwracana do środowiska lub przesyłana do innych neuronów.

Programowanie neuronu polega na takim dobraniu wag, aby neuron podawał oczekiwaną odpowiedź na zestaw sygnałów wejściowych. W przypadku pojedynczego neuronu taką technikę stosunkowo łatwo skonstruować, gorzej gdy trzeba poustawiać wagi całej sieci neuronów.

Logika rozmyta (ang. *fuzzy logic*), albo inaczej logika wielowartościowa [98], umożliwia odzwierciedlanie zjawisk i pojęć o charakterze niejednoznacznym, a nawet sprzecznym. Logika rozmyta opiera się głównie na teorii zbiorów rozmytych, które są rozwinięciem klasycznej kwantowskiej teorii zbiorów (zakładają że element "należy" lub "nie należy" do danego zbioru). W teorii zbiorów rozmytych element może również częściowo należeć do danego zbioru, a stopień przynależności wyrażony jest za pomocą liczby rzeczywistej z przedziału $[0,1]$.

Korzyści uzyskiwane z zastosowania logiki rozmytej w rozwiązaniach inżynierskich obejmują między innymi: zmniejszenie czasu badanego procesu oraz poprawę jego jakości. Logika rozmyta jest stosowana wszędzie tam, gdzie występuje problem w zapisie matematycznym procesu lub gdy wyliczenie lub pobranie zmiennych potrzebnych do rozwiązania problemu jest niemożliwe. Ma szerokie zastosowanie w różnego rodzaju sterownikach, jak również może być wykorzystywana do bardziej złożonych zagadnień jak: przetwarzanie obrazu, rozwiązywanie problemów związanych z inżynierią ruchu drogowego. Sterowniki wykorzystujące logikę rozmytą są również używane w inżynierskich rozwiązaniach hybrydowych z sieciami neuronowymi. Zastosowanie logiki rozmytej jest przedmiotem wielu publikacji [15, 39, 62].

Algorytmy genetyczne (ang. *genetic algorithm*) są metodami numerycznymi wykorzystującymi mechanizmy darwinowskiej teorii doboru naturalnego i dziedziczenia. Powstały one jako efekt obserwacji i analizy procesów adaptacyjnych występujących w przyrodzie. Algorytmy genetyczne znalazły zastosowanie do rozwiązywania problemów optymalizacji, jak również problemów optymalizacji kombinatorycznej, przewidywania ruchów na giełdzie, rozpoznawania obrazów, tworzenia grafiki oraz projektowania budynków i maszyn. Algorytmy genetyczne dokonują symulowanej ewolucji na populacjach chromosomów, składających się z genów [55]. Ogólny schemat blokowy klasycznego algorytmu genetycznego przedstawiono na rysunku 2.11.



Rys. 2.11. Ogólny schemat blokowy klasycznego algorytmu genetycznego [21]

W klasycznym algorytmie genetycznym chromosomy są ciągami binarnymi. *Osobniki* populacji (chromosomy) oceniane są za pomocą odpowiednio zdefiniowanej funkcji przystosowania. W algorytmach genetycznych wyróżniamy etap selekcji (*metoda ruletki, metoda rankingowa, metoda turniejowa*), który z bieżącej populacji chromosomów wybiera najlepsze osobniki populacji. Następnym etapem jest zastosowanie operatorów genetycznych, takich jak krzyżowanie i mutacja. *Krzyżowanie* polega na połączeniu niektórych (wybierane losowo) genotypów w jeden. Kojarzenie ma sprawić, że potomek dwóch osobników rodzicielskich ma zespół cech, który jest kombinacją ich cech (może się zdarzyć, że tych najlepszych). Sposób krzyżowania jest zależny od kodowania chromosomów i specyfiki problemu:

- rozcięcie dwóch chromosomów i budowy nowego poprzez sklejenie lewej części jednego rodzica z prawą częścią drugiego rodzica (dla chromosomów z kodowaniem binarnym i całkowitoliczbowym),

$$\begin{array}{|c|c|c|c|c|c|} \hline 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|} \hline 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|} \hline 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ \hline \end{array}$$

- stosowanie operacji logicznych (kodowanie binarne),
- obliczanie wartości średniej genów (kodowanie liczbami rzeczywistymi).

Mutacja polega na wprowadzaniu różnorodności w populacji, czyli zapobiegnięciu (przynajmniej częściowemu) przedwczesnej zbieżności algorytmu. Mutacja zachodzi z pewnym przyjętym prawdopodobieństwem - zazwyczaj rzędu 1%. Jest ona niska, ponieważ zbyt silna mutacja przynosi efekt odwrotny do zamierzonego: zamiast subtelnie różnicować dobre rozwiązania - niszczy je. Stąd w procesie ewolucji mutacja ma znaczenie drugorzędne, szczególnie w przypadku długich chromosomów.

Operatory genetyczne modyfikują tylko jednostki o najwyższej wartości funkcji dopasowania. Należy podkreślić, że klasyczne algorytmy genetyczne w żaden sposób nie wykorzystują wiedzy o rozwiązywanym problemie. To, że znajdują rozwiązanie wynika z faktu, że do każdej następnej generacji przedostają się lepsze

jednostki z generacji poprzedniej, a operatory genetyczne wymieniają informacje zawarte w tych jednostkach tworząc nowe, potencjalnie doskonalsze.

Rozwiązania wykorzystujące narzędzia typu inteligentnego znajdują coraz szersze zastosowania w procesach decyzyjnych ukierunkowanych na eksploatację maszyn i urządzeń [25].

2.5. Telematyka w nadzorowaniu procesu eksploatacji środka transportowego

Na przestrzeni ostatnich lat informacja jest jednym z najbardziej docenianych towarów. Czynnikiem, który podnosi istotę informacji jest szybkość oraz niezawodny sposób jej przekazywania. Rozwiązania typu Internet, WAP (ang. *Wireless Application Protocol - Protokół Aplikacji Bezprzewodowych*), sieć GSM (ang. *Global System of Mobile Communication*), GPRS (ang. *General Packet Radio Service*), GPS (ang. *Global Positioning System*) są przykładowymi technikami wykorzystywanymi w procesach decyzyjnych przez nowoczesne firmy w złożonych przedsięwzięciach transportowych. Wszystkie te rozwiązania przyczyniły się do powstania nowej dziedziny nauki, jaką jest telematyka.

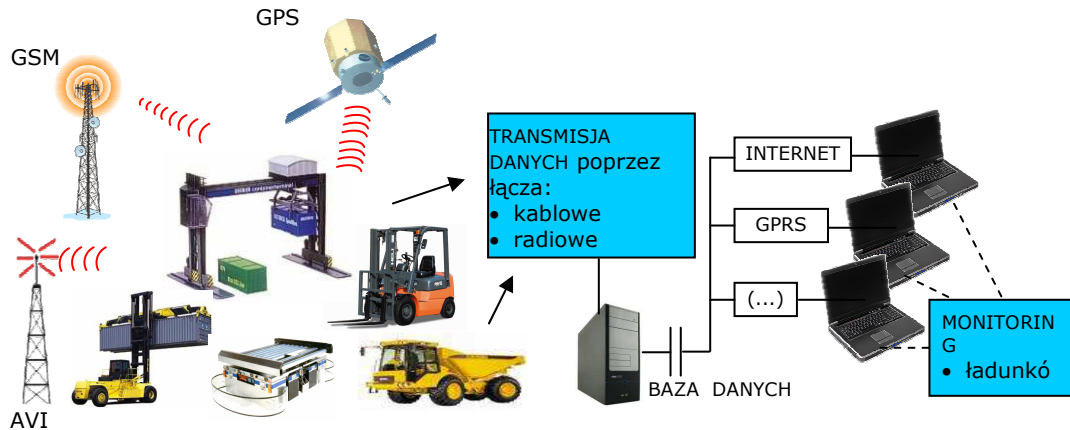
Telematyka jest dziedziną nauki integrującą telekomunikację i informatykę [47, 75, 76, 77, 79] w zakresie przetwarzania informacji z jej skutecznym przekazem do miejsc, w których jej wykorzystanie pozwala osiągnąć określoną jakość działania. Jednym z obszarów, w którym telematyka jest wdrażana jest transport. Telematyka koncentruje uwagę na działaniach zorientowanych na informacje z uwzględnieniem możliwych ograniczeń. Racjonalne działania na przedmiocie (ładunek, osoba) są możliwe wyłącznie z wykorzystaniem posiadanych informacji. Działania na informacjach obejmują: pozyskanie z różnych źródeł (monitoring), następnie przetwarzanie w sposób właściwy i użyteczny dla podejmującego decyzję, zapisanie na nośnikach cyfrowych dla celów archiwalnych lub prognoz (magazynowanie), przesłanie do zainteresowanych odbiorców (transmisja), prezentacja dla potrzeb decyzyjnych.

Zastosowanie telematyki w środkach transportowych jest przedmiotem wielu publikacji, w których autorzy koncentrują swoją uwagę między innymi na następujące zagadnienia [4, 24, 34, 49, 77]:

- identyfikacja przedmiotu działania,
- identyfikacja położenia środków transportu w przestrzeni roboczej,
- zapewnienie komunikacji pomiędzy wyróżnionymi środkami transportu,
- wspomaganie procesu decyzyjnego w zakresie zarządzania ruchem środków transportowych,
- wspomaganie procesu obsługowego środków transportowych.

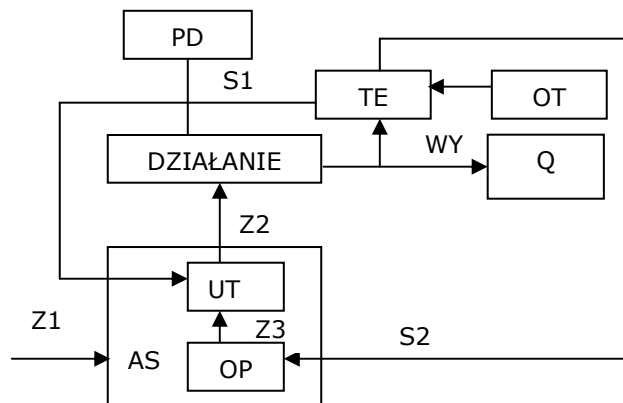
Globalizacja rynku stawia nowe wyzwania w zakresie zarządzania poszczególnymi obszarami działania człowieka, w szczególności w transporcie [34, 71]. Poszukiwane są techniki umożliwiające efektywne zarządzanie systemem transportowym, z uwzględnieniem zagadnienia bezpieczeństwa i niezawodności eksploatacyjnej. W rezultacie zastosowania telematyki w różnych obszarach aktywności człowieka możliwe jest obniżenie kosztów eksploatacji. Techniki wspomagające telematykę (oprogramowanie i narzędzia) szybko są doskonałe. Rośnie zapotrzebowanie na tak zwane inteligentne usługi transportowe typu ITS (ang. *Intelligent Transport Services*) oraz zarządzanie typu dynamicznego ruchem środków transportowych DTM (ang. *Dynamic Traffic Management*) [16, 99] zarówno na dużych odległościach, jak również w zintegrowanych zautomatyzowanych

przedsiębiorstwach produkcyjnych [56]. Koncepcję lokalizacji środków transportu z wykorzystaniem techniki typu IT przedstawiono na rysunku 2.12.



Rys. 2.12. Koncepcja lokalizacji środków transportu bliskiego: AVI (ang. Automatic Vehicle Identification), GSM (ang. Global System of Mobile Communication), GPS (ang. Global Positioning System)

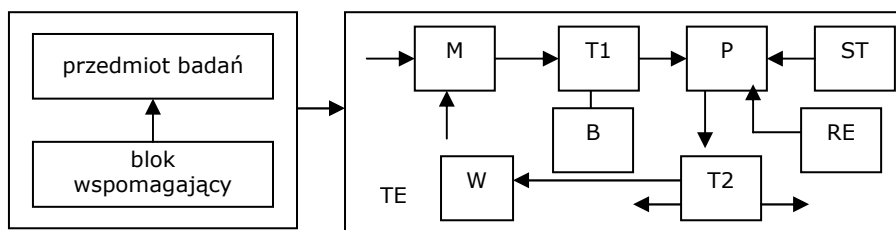
Przykładowy schemat blokowy działania układu zorientowanego na transport z udziałem układu człowiek - urządzenie przedstawiono na rysunku 2.13 [67]. Układ typu człowiek - obiekt techniczny, charakteryzują jego parametry eksploatacyjne. Dedykowane na przemieszczanie ładunku lub osób (przedmiot działania PD) działania są realizowane najczęściej przez układy typu człowiek-maszyna AS złożone z operatora OP i urządzenia UT (aktorzy). Realizacja działania jest możliwa w rezultacie zasilania energetycznego i informacyjnego Z1 układu AS, a następnie jego przetworzenia na sterowania Z2. Skutek działania w postaci produktów wyjściowych WY jest przedmiotem oceny jakościowej Q (np. koszt, czas, bezpieczeństwo, niezawodność). Produkty WY działania są najczęściej przedmiotem regulacji/ korekcji z uwzględnieniem wymagań użytkownika oraz warunków otoczenia OT (w tym oddziaływania od innych modów).



Rys. 2.13. Schemat blokowy działania układu antropocentrycznego [67]

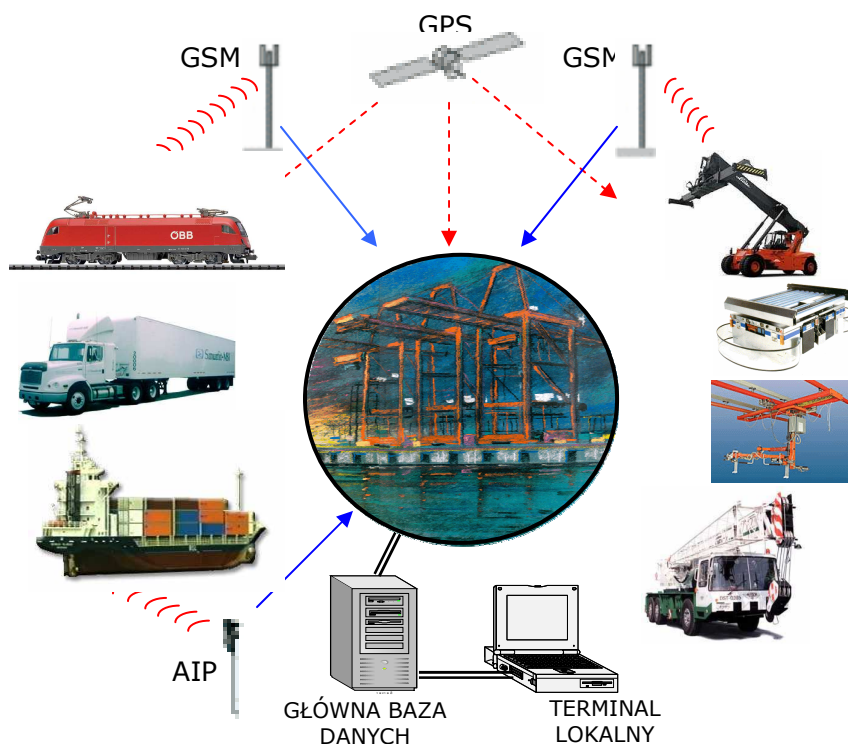
Jakościowa i ilościowa ocena produktów wyjściowych jest możliwa w module jakościowym TE. Przetworzone w module TE informacje są przekazywane do operatora urządzenia OP (S2), który przetwarza je na odpowiednie sterowania urządzeniem UT (Z3). W urządzeniach z modułami automatycznej regulacji, informacje z modułu TE są niezależnie przekazywane do UT w postaci sterowań S1

(autosterowanie). Schemat modułu jakościowego TE przedstawiono na rysunku 2.14, gdzie zarejestrowane dane w procesie pozyskiwania informacji M, przekazywane są z użyciem modułu transmisji informacji T1 do bloku ich przetwarzania P. W bloku P pozyskane informacje są przetwarzane zgodnie z przyjętą strategią ST oraz z wykorzystaniem wzorca referencyjnego RE. Następnie w postaci syntetycznych informacji są przekazywane (przez moduł transmisji informacji T2) do operatora i/lub urządzenia, a ponadto są przedmiotem wizualizacji w module W. Pozyskiwane informacje mogą być gromadzone w bazach danych B dla potrzeb bardziej złożonych (innych) procesów decyzyjnych.



Rys. 2.14. Schemat modułu jakościowego [66]

Telematyka coraz częściej jest stosowana we wszystkich kategoriach transportu: kołowym (drogowym), szynowym (kolej), morskim (statki), lotniczym (samoloty), bliskim (zakłady przemysłowe) (rys. 2.15).



Rys. 2.15. Zintegrowany system transportowy złożony z n -tej liczby środków transportowych [80]

Poziom nasycenia telematyką wymienionych kategorii transportu jest zróżnicowany: największy jest w transporcie morskim i lotniczym, ale również pozostałe kategorie transportu coraz chętniej stosują nowoczesne rozwiązania z wykorzystaniem technik informatycznych, optoelektroniki, automatyki oraz telekomunikacji.

W transporcie kołowym wykorzystywane są odbiorniki typu GPS instalowane w pojazdach. Odbierają one informacje o położeniu i prędkości pojazdu, które po przetworzeniu są przesyłane bezprzewodowo (telefon komórkowy lub radiostacja) do centrum nadzoru pojazdów. Następnie lokalizacja i prędkość pojazdu może być przedmiotem wizualizacji na planie miasta. Dodatkowymi informacjami umożliwiającymi bezpieczną jazdę podróżującym z użyciem środka transportu są znaki drogowe o zmiennej treści. Inne zastosowania telematyki to zautomatyzowane systemy parkowania w aglomeracjach miejskich.

Stosowane w transporcie kołowym metody śledzenia przemieszczenia pojazdów z wykorzystaniem satelitarnego systemu lokalizacji znajdują również zastosowanie w transporcie szynowym (kolejowym). Systemy pozycjonowania satelitarnego GPS uzupełniane są poprzez radiowe lub satelitarne technologie transmisji danych (typu: GSM, OrbCom, Inmarsat) [24]. Stały dostęp operatora do niezbędnych informacji podczas eksploatacji pociągów, w szczególności o dużych prędkościach, pozwala zapewnić wymagany poziom ich bezpieczeństwa. Prowadzone są badania w zakresie wdrożeniem systemu GSM-R, który pozwoliłby na zapewnienie radiołączności w transporcie szynowym [52].

W żegludze morskiej i śródlądowej telematyka znajduje zastosowanie w zarządzaniu ruchem statków i barek, informacją o przemieszczanych ładunkach, a także wpływa na zapewnienie bezpieczeństwa żeglugi z wykorzystaniem nawigacji radiowej oraz satelitarnej.

Istotnym problemem w transporcie lotniczym jest sterowanie jej ruchem w warunkach rosnącego natężenia ruchu w powietrzu, przy jednoczesnym zachowaniu bezpieczeństwa. Prognozy ruchu lotniczego wskazują na szybki wzrost przewozów pasażerskich, skutkiem których będą problemy natury logistycznej możliwe do rozwiązania z wykorzystaniem telematyki. Intensywnie rozwijane są w lotnictwie interfejsy operator/ człowiek - środek transportu [5].

Telematyka koncentruje uwagę na działaniach zorientowanych na informacje z uwzględnieniem możliwych ograniczeń. Racjonalne działania na przedmiocie (ładunek, osoba) są możliwe wyłącznie z wykorzystaniem posiadanych informacji. Działania na informacjach obejmują: pozyskanie z różnych źródeł (monitoring), następnie przetwarzanie w sposób właściwy i użyteczny dla podejmującego decyzję, zapisanie na nośnikach cyfrowych dla celów archiwalnych lub prognoz (magazynowanie), przesłanie do zainteresowanych odbiorców (transmisja), prezentacja dla potrzeb decyzyjnych.

Rozwój systemów telematyki transportu ukierunkowany jest przede wszystkim na zwiększenie bezpieczeństwa i płynności ruchu urządzeń w systemach transportowych [95]. Telematyka jest ponadto narzędziem konkurencyjności na rynku transportowym. Stosowanie jej w praktyce wspomaga proces zarządzania złożonymi systemami transportowymi, a w szczególności w zakresie:

- optymalizacji sieci transportowych,
- skutecznego wykorzystania baz danych dla potrzeb sterowania i prognozowania,
- wspomaganie sterowaniem ruchem środków transportu,
- śledzenie pojazdów i ładunków, w tym niebezpiecznych.

Według raportu firmy konsultingowej Frost & Sullivan [20] urządzenia oraz oprogramowania wykorzystywane w telematyce wspomagającej transport będą w najbliższych latach przedmiotem dynamicznego rozwoju. Dostępność sieci GSM w Europie oraz standaryzacja architektury systemu przyczyniają się do powszechnego dostępu do usług telematycznych (np. *Messaging*). Istotnym elementem rozwoju telematyki będzie konkurencja w zakresie obniżania kosztów eksploatacji systemów transportowych i pozyskiwania klientów. Dodatkowym czynnikiem stymulującym rozwój telematyki będą przedsięwzięcia mające na celu optymalizację transportu i wspierające rozwój zintegrowanej polityki transportowej oraz elektronicznych systemów pobierania opłat.

W rezultacie analizy dostępnej literatury można stwierdzić, że wybrane zastosowania telematyki w transporcie obejmują następujące zagadnienia:

- identyfikację ładunku lub/i środka transportowego (statyczna, dynamiczna), identyfikację i monitorowanie położenia ładunku lub/i środka transportowego (statyczna, dynamiczna) w przestrzeni działania, ewidencję informacji i bazy danych, optymalizację wykorzystania posiadanego potencjału eksploatacyjnego n -licznego systemu, zapewnienie dedykowanej elastyczności wykorzystania posiadanego potencjału eksploatacyjnego, optymalne zarządzanie środkami transportu w systemie produkcyjnym,
- wspomaganie procesu decyzyjnego w zakresie zarządzania ruchem środków transportowych (np. transport kontenerowy, centra dystrybucji ładunku, zajętość parkingów) oraz służbami specjalistycznymi w przypadku zajścia zdarzeń, zagrażających bezpieczeństwu eksploatacyjnemu systemu transportowego, sterowanie środkami transportowymi (całkowicie zautomatyzowane – np. AGV (ang. *Automated Guided Vehicle*), semi-automatyczne) w zadanej zmiennej infrastrukturze (pojedyncze urządzenie: ręcznie sterowane przez operatora, automatyczne wspomaganie pracy nadzorowanej przez operatora - wprowadzenie warunków brzegowych transportowych i ich realizacja przez automat, sterowanie wieloma urządzeniami - automatyczne wspomaganie pracy nadzorowanej przez operatora z poziomu centralnego), prognozowanie natężenia ruchu środków transportowych i wypracowanie sposobów jego minimalizacji,
- generowanie informacji w postaci kodu ratunkowego w przypadkach zdarzenia typu niebezpieczeństwo (łączenie środków transportowych w system złożony z interaktywnych podsystemów nadzorowanych przez jednostkę centralną),
- aktywne układy informujące operatora w zakresie możliwości uzyskania specjalistycznej pomocy, możliwych zagrożeń/ bezpieczeństwa, realizacji określonych usług/ potrzeb pasażerów i operatorów (*interface operator – urządzenie*).

Telematyka jest stosowana do kontroli oraz sterowania wszystkimi kategoriami transportu, w szczególności w układzie intermodalnym [67, 77].

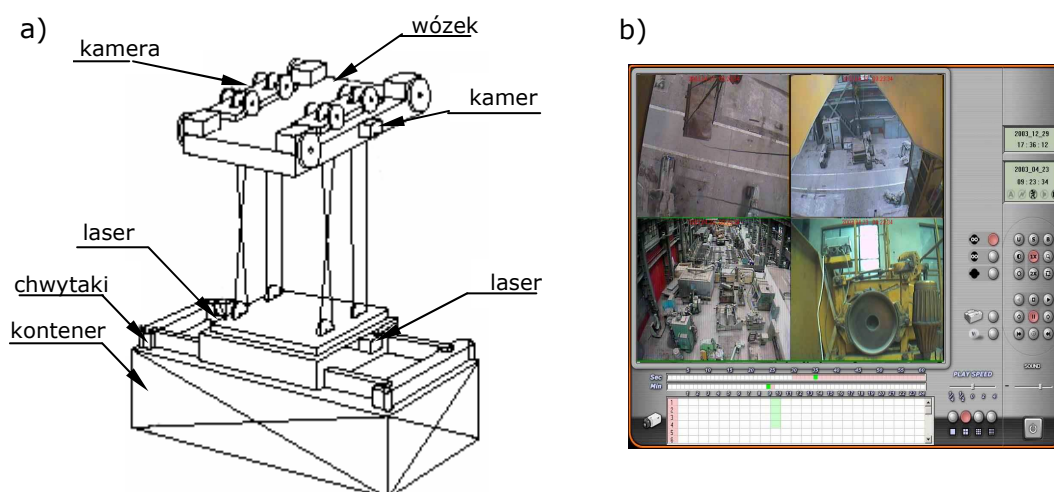
Bardzo ważną rolę w procesie eksploatacji maszyn i urządzeń pełnią również układy wizyjne, które są wykorzystywane w procesach inspekcyjnych i diagnostycznych procesu i obiektów technicznych. Umożliwiają prowadzenie obserwacji w sposób ciągły, zdalny i bezstykowy oraz zapewniają cyfrową transmisję i gromadzenie otrzymanych wyników, coraz szerzej są wykorzystywane w procesach sterowania urządzeniami i przyczyniają się do poprawy ich bezpieczeństwa i niezawodności.

W środkach transportu bliskiego układy wizyjne znajdują zastosowanie w następujących obszarach:

- identyfikacja przedmiotu przemieszczania (ładunku),
- pozycjonowanie ładunku w przestrzeni roboczej w układzie 3D,

- pozycjonowanie środka transportu w przestrzeni roboczej w układzie 3D,
- identyfikacja przestrzeni roboczej w celu eliminacji ewentualnych kolizji podczas realizacji przez urządzenie ruchów roboczych,
- ocena jakościowa przedmiotu obserwacji (ładunku),
- ocena stanu technicznego środka transportowego,
- ocena stanu technicznego najbliższego otoczenia środka transportowego,
- uzyskane w rezultacie monitoringu informacje są wykorzystywane w układzie sterowania urządzeniem w trybie *on-line* lub w procesie decyzyjnym w zakresie obsługiwanego prewencyjnego w trybie *on-line*,
- automatyczne wyzwalania układów monitorowania.

Przykłady zastosowania kamer wizyjnych w eksploatacji suwnic przedstawiono na rysunku 2.16.

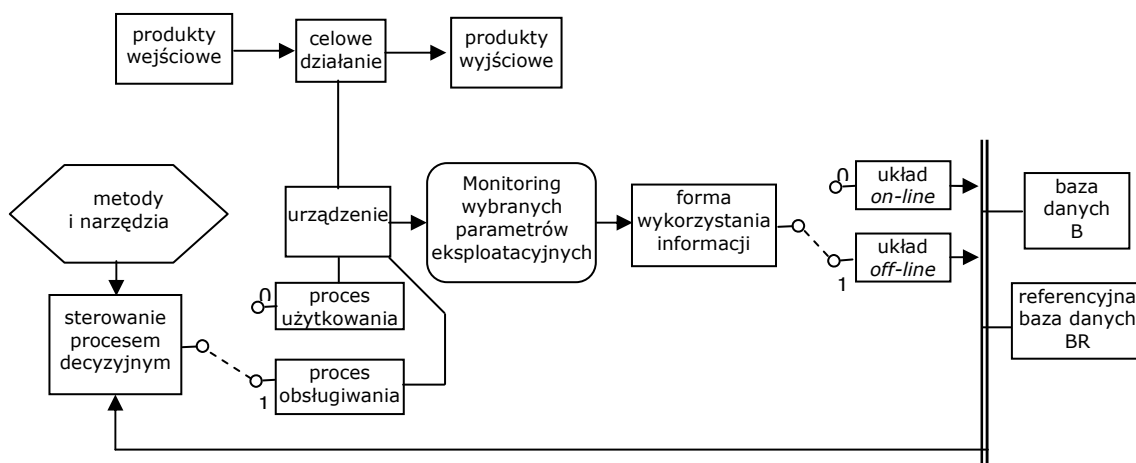


Rys. 2.16. Przykłady zastosowania kamer wizyjnych w eksploatacji suwnic:
 a) pozycjonowanie kontenerów [97],
 b) diagnostyka wybranych zespołów urządzenia [65]

Kamery cyfrowe znajdują coraz szersze zastosowanie w przemyśle, szczególnie w układach identyfikacji oraz sterowania i pozycjonowania środka transportu i ładunku [78]. Szczególnie przydatnymi własnościami układów wizyjnych jest możliwość realizacji obserwacji w czasie rzeczywistym, bezstykowo i zdalnie. W istotny sposób telematyka wpływa na poziom automatyzacji systemów i środków transportowych oraz nadzorowania ich stanu technicznego, a ponadto umożliwia budowę zintegrowanych systemów sterowania. Powyższe mają również wpływ na zwiększenie bezpieczeństwa i niezawodności systemów i środków transportowych.

2.6. Podsumowanie

Tradycyjne, najczęściej spotykane w praktyce, podejście do zarządzania procesami eksploatacji środków transportu przedstawiono na rysunku 2.17. Wybrane zdarzenia towarzyszące procesowi użytkowania urządzenia wyrażone zmianami wybranych parametrów eksploatacyjnych są rejestrowane i wykorzystane w układzie czasu rzeczywistego (*on-line*) lub najczęściej jako dane historyczne (*off-line*) podczas decyzji zorientowanych na eksploatację.

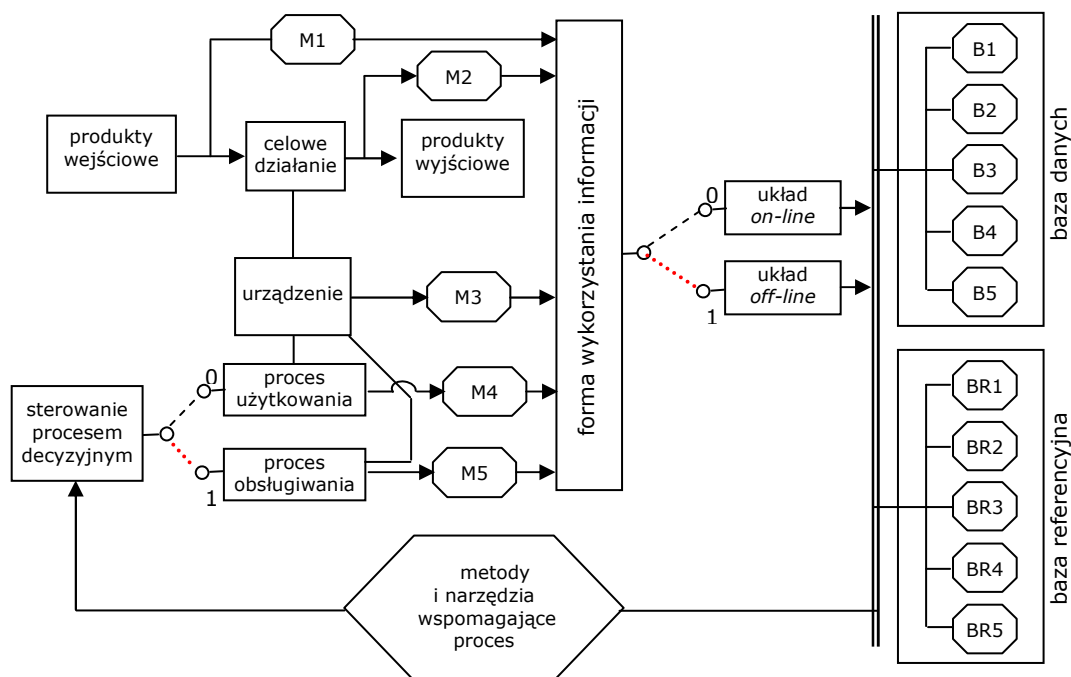


Rys. 2.17. Schemat blokowy tradycyjnego zarządzania procesem eksploatacji urządzenia

Obserwowane i rejestrowane informacje są gromadzone w bazach danych B i są przedmiotem porównania z danymi typu referencyjnego BR. W rezultacie możliwa jest kwalifikacja stanu technicznego urządzenia (zdatny, niezdatny) i jego przypisanie do jednego z procesów: użytkownika lub obsługi. Celem obsługi jest przywrócenie urządzeniu jego właściwości niezbędnych do realizacji określonych działań w procesie użytkownika zgodnie z wymaganiami użytkownika. Proces użytkownika może być wspomagany układami automatycznego sterowania z wykorzystaniem rozwiązań typu inteligentnego (np. logika rozmyta, sieci neuronowe, algorytmy genetyczne). Z wykorzystaniem narzędzi typu statystycznego SPC (schematy blokowe, diagramy Pareto, diagramy Ishikawy, histogramy, karty kontrolne, wykresy zmiennych), możliwa jest oczekiwana przez użytkowników racjonalizacja procesu eksploatacji.

Obecnie jakościowe oczekiwania użytkowników obejmują wymagania uwzględniające między innymi: koszt eksploatacji, dokładność realizacji działania, wymagania środowiskowe. Konsekwencją jest dążenie do podejmowania przedsięwzięć typu prewencyjnego z uwzględnieniem aktualnego stanu technicznego urządzenia. Na skuteczność procesu decyzyjnego istotny wpływ ma baza wiedzy w zakresie eksploatacji przedmiotowego urządzenia i innych zaliczanych do danej klasy. W rzeczywistości proces obsługi jest realizowany dla przypadków niepełnej (ograniczonej) i pełnej informacji o przebiegu procesu użytkownika urządzenia [86]. Dla potrzeb sterowania procesem obsługi urządzeń niezbędne są metody i narzędzia wspomagające proces decyzyjny z uwzględnieniem podejścia typu przyczyna-skutek.

Aby spełnić powyższe wymagania należy obserwować trendy zmian istotnych wybranych parametrów eksploatacyjnych urządzenia i reagować z odpowiednim wyprzedzeniem czasowym na zdarzenia typu krytycznego. Takie podejście jest możliwe w rezultacie monitorowania w czasie rzeczywistym istotnych parametrów eksploatacyjnych urządzenia związanych ze zmianą jego stanu technicznego oraz produktami wejściowymi i wyjściowymi powiązanych z działaniem samego systemu, a następnie porównywania zachodzących zmian parametrów eksploatacyjnych z referencyjną bazą danych. W rezultacie monitorowania zmian parametrów eksploatacyjnych w czasie rzeczywistym istnieje możliwość (wykorzystując odpowiednie metody i narzędzia wspomagające proces decyzyjny, w tym również telematyki) wpływania w układzie automatyki na sterowanie procesem użytkownika i obsługi urządzenia według przyjętej strategii użytkownika (rys. 2.18).



Rys. 2.18. Schemat blokowy zarządzania procesem eksploatacji urządzenia:
M – monitoring *i*-tego parametru, B – *i*-ta baza danych; BR – *i*-ta referencyjna baza danych

Cechą współczesnych urządzeń jest automatyzacja procesów towarzyszących działaniu, a w szczególności:

- monitorowania, polegającego na śledzeniu zmian wybranych parametrów eksploatacyjnych procesu i urządzenia; zarejestrowane parametry eksploatacyjne są przedmiotem transmisji, przetwarzania i prezentacji dla operatorów,
- diagnozowania umożliwiającego ocenę procesu realizowanego przez urządzenie lub/ i ocenę stanu technicznego urządzenia z wykorzystaniem zarejestrowanych wybranych parametrów eksploatacyjnych i ich porównania z wartościami dopuszczalnymi,
- nadzorowania realizowanego procesu oraz stanu technicznego urządzenia w czasie rzeczywistym oraz właściwości podejmowania lub inicjowania działań korygujących lub sterujących ukierunkowanych na przystosowanie do nowych warunków działania.

Zarządzanie procesem eksploatacji urządzenia wymaga przedsięwzięć realizowanych na trzech poziomach:

- użytkownika: monitoring procesu (gromadzenie danych, ich ukierunkowane przetwarzanie, wizualizacja) oraz bieżąca ocena stanu technicznego systemu w aspekcie możliwości realizacji działania z wykorzystaniem bazy wiedzy (w zakresie akceptowalnej zmiany potencjału eksploatacyjnego systemu [13, 67] wyrażonego polami tolerancji jego parametrów eksploatacyjnych),
- obsługi: diagnozowania i prognozowania zmian stanu technicznego systemu w ujęciu prewencyjnym z wykorzystaniem technik typu TPM (ang. *Total Productivity Maintenance*); planowanie zasobów niezbędnych do przywrócenia wymaganego potencjału eksploatacyjnego systemu,
- sterowania procesem użytkownika i obsługi: prezentacji trendów zmian parametrów eksploatacyjnych procesu użytkownika systemu z wykorzystaniem

narzędzi typu SPC (ang. *Statistical Process Control*), analizy rodzajów, skutków i krytyczności uszkodzeń FMECA (ang. *Failure Modes, Effects and Criticality Analysis*), badania poziomu ryzyka zajścia zdarzenia niekorzystnego i zmian (degradacji) potencjału eksploatacyjnego HAZOP (ang. *Hazard and Operability Studies*) w aspekcie możliwych skutków, analizy ryzyka zajścia zdarzenia niekorzystnego i identyfikacji symptomów diagnostycznych i miejsc ich obserwacji (kontroli) HACCP (ang. *Hazard Analysis and Critical Control Points*).

Procesowi eksploatacji środków transportu towarzyszy ich ciągła ocena przez użytkownika w zakresie realizacji oczekiwań typu działaniowego (funkcje użyteczne) oraz jakościowego (wymagania zorientowane na przedmiot działania, użytkownika lub otoczenie). Oczekiwania użytkownika urządzenia mają charakter ewolucyjny, a ich spełnienie jest możliwe w rezultacie określonych przedsięwzięć przede wszystkim w obszarach użytkowania i obsługi, w tym zmian typu modernizacyjnego (dostosowawczego).

W procesie eksploatacji urządzenia generowane są liczne informacje, które stają się przydatne, gdy istnieje właściwa metodyka pozyskiwana, analizy i syntezy wybranych danych dla zorientowanych celowo potrzeb decyzyjnych. Wykorzystywane są narzędzia i metody typu: porównawczego (ang. *Benchmarking*), statystyczne typu SPC (ang. *Statistical Process Control*), przyczynowo – skutkowe FMEA (ang. *Failure Mode And Effects Analysis*) i inne. Istotnym zagadnieniem jest wypracowanie właściwych strategii realizowanych przedsięwzięć oraz zadawalającego poziomu bezpieczeństwa i niezawodności eksploatacyjnej urządzeń.

Przedsięwzięcia w zakresie sterownia procesem eksploatacji środków transportu nie są realizowane najczęściej w układach czasu rzeczywistego. Coraz większe znaczenie w procesie eksploatacji urządzeń zaczyna odgrywać prewencyjne podejście do ich obsługi oraz metody oceny skuteczności wykonywanych prac zapobiegawczych i modernizacyjnych. Dodatkowo istotnym jest fakt, że urządzenia transportowe najczęściej stanowią system (układ) złożony z pary operator-urządzenie. Rola operatora nie zawsze jest należycie doceniana, a jego znaczenie w badaniach eksploatacyjnych maszyn i urządzeń nie jest często uwzględniana [50]. Problematyka nadzorowania procesu eksploatacji środków transportu bliskiego jest zagadnieniem wielowymiarowym i złożonym z uwagi na strukturę i relacje zachodzące w systemach typu człowiek - maszyna. Dlatego też istotne jest podejmowanie prac integrujących przydatne metody i narzędzia w przedsięwzięcia ukierunkowane na doskonalenie procesu eksploatacji urządzenia z wykorzystaniem podejścia potencjałowego [13, 67] oraz technik komputerowych.

Zagadnienie formułowania wymagań w zakresie zapewnienia bezpieczeństwa eksploatowanych maszyn i urządzeń są przedmiotem dyrektyw UE 95/63/WE [100] i 2001/45/WE [101]. Problematyka nadzorowania procesu eksploatacji suwnic pomostowych w zakresie ograniczonym wybranymi do potrzeb zapewnienia wymaganego bezpieczeństwa i niezawodności była przedmiotem prac naukowo-badawczych realizowanych w AGH w Krakowie, Politechnice Krakowskiej, Politechnice Łódzkiej, Politechnice Śląskiej, Politechnice Wrocławskiej. W szczególności w zakresie badań statystycznych suwnic pomostowych wyróżnić można prace [68, 91].

Przedstawiona analiza stanu wiedzy i techniki potwierdza potrzebę podjęcia sformułowanej tematyki pracy.

3. CHARAKTERYSTYKA PRZEDMIOTU BADAŃ I TECHNIK POZYSKIWANIA INFORMACJI DLA POTRZEB DECYZYJNYCH

Będący przedmiotem pracy sposób nadzorowania procesu eksploatacji środków transportu został zaprojektowany i przetestowany na suwnicy pomostowej, reprezentancie wielkogabarytowych szynowych urządzeń transportowych, zaliczanych do klasy środków transportu bliskiego.

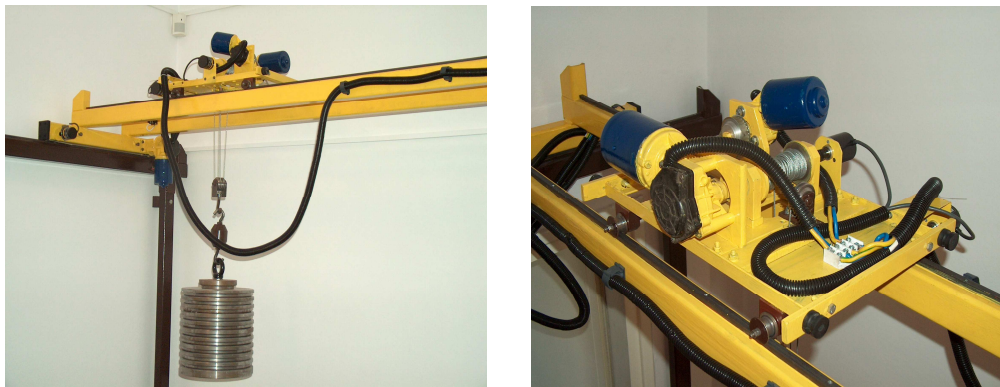
Suwnice pomostowe są złożone z przejezdnego po torowisku szynowym ustroju nośnego (konstrukcji nośnej) i poruszającej się po nim wciągarki przejezdnej, do której podwieszane jest urządzenie chwytające. Suwnice pomostowe służą do przemieszczania ładunków w sposób przerywany w ograniczonej przestrzeni roboczej.

Opracowane metody i narzędzia wspomagające proces eksploatacyjny środków transportu były przedmiotem weryfikacji odpowiednio na: modelu fizycznym suwnicy pomostowej o udźwigu $Q=1,5$ [kN], laboratoryjnej suwnicy pomostowej o udźwigu $Q=150$ [kN] oraz przemysłowej suwnicy pomostowej o udźwigu $Q=125$ [kN]. Z uwagi na właściwości suwnic pomostowych, zwłaszcza pracujących w warunkach przemysłowych, prowadzenie przedmiotowych badań weryfikacyjnych opracowanych metod i narzędzi jest w praktyce bardzo uciążliwe i trudne z uwagi na warunki pracy urządzenia oraz dostępność, ponadto są one kosztowne i czasochłonne.

Dla potrzeb badań laboratoryjnych zaprojektowano i wykonano fizyczny model suwnicy pomostowej. Model suwnicy umożliwił przeprowadzenie weryfikacyjnych badań zaprojektowanych torów pomiarowych, sposobów pozyskiwania i wykorzystywania zarejestrowanych podczas realizacji ruchów roboczych informacji, opracowanych algorytmów sterowania, a ponadto testowanie opracowanych narzędzi i metod wspomagających procesy decyzyjne eksploatowanych urządzeń w układach *on-/off-line*.

3.1. Model fizyczny laboratoryjnej suwnicy pomostowej o udźwigu $Q=1,5$ [kN]

Dla potrzeb badań laboratoryjnych opracowano dokumentację techniczną urządzenia i jego torowiska, a następnie wykonano (przy istotnym wkładzie pracy Autora rozprawy) model fizyczny (materialny) suwnicy pomostowej o udźwigu $Q=1,5$ [kN], rozpiętości mostu $L=2,3$ [m] oraz wysokości podnoszenia $H=2$ [m] (rys. 3.1).

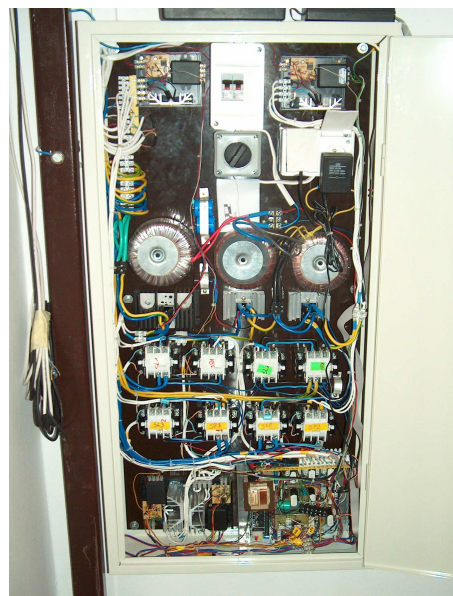


Rys. 3.1. Widok modelu fizycznego laboratoryjnej suwnicy pomostowej

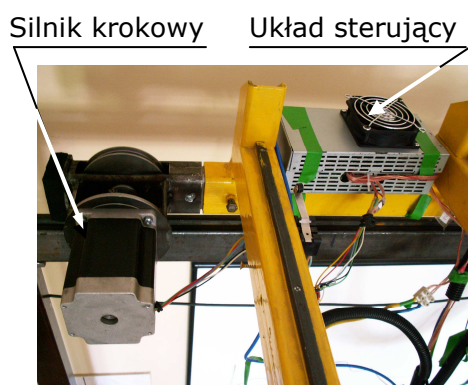
Stanowisko badawcze zainstalowano w Laboratorium Zautomatyzowanych Urządzeń Transportowych Akademii Górniczo-Hutniczej, w Katedrze Urządzeń Technologicznych i Ochrony Środowiska (Zespół Transportu Technologicznego).

Model fizyczny suwnicy pomostowej nie jest wiernym odwzorowaniem obiektu rzeczywistego urządzenia. Celem wykonanego modelu fizycznego suwnicy pomostowej było utworzenie zintegrowanego stanowiska nadzorowania wybranych parametrów eksploatacyjnych urządzenia obejmujących między innymi: pozycjonowanie położenia zespołów wykonawczych, ukosowania mostu suwnicy, wychylenia ciężna z zawieszonym ładunkiem od położenia równowagi oraz dokonanie pomiarów odkształceń konstrukcji mostu suwnicy i jezdni podsuwnicowej, a ponadto do testowania opracowanych inteligentnych technik sterowania mechanizmami urządzenia.

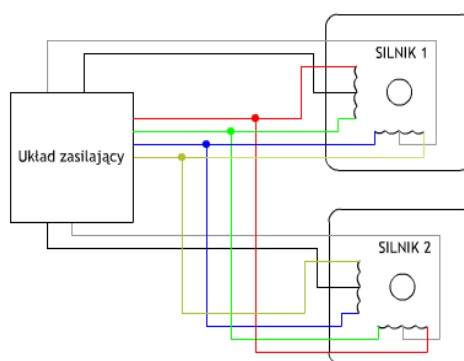
W laboratoryjnej suwnicy pomostowej zastosowano cztery silniki prądu stałego (1-biegunowe z reduktorem) do napędu poszczególnymi mechanizmami ruchu: dwa silniki dla mostu i po jednym dla wózka i podnoszenia. Napięcie na silniki podawane jest poprzez przełączniki, które zlokalizowano w szafie sterującej (rys. 3.2). Po modernizacji ruch poszczególnymi mechanizmami urządzenia zapewniają silniki krokowe. Układy sterujące dla silników zamocowano na czołownicach suwnicy (rys. 3.3). Silniki krokowe podłączono w sekwencji zapewniającej zgodny kierunek ruchu mostu urządzenia (rys. 3.4).



Rys. 3.2. Szafa sterująca

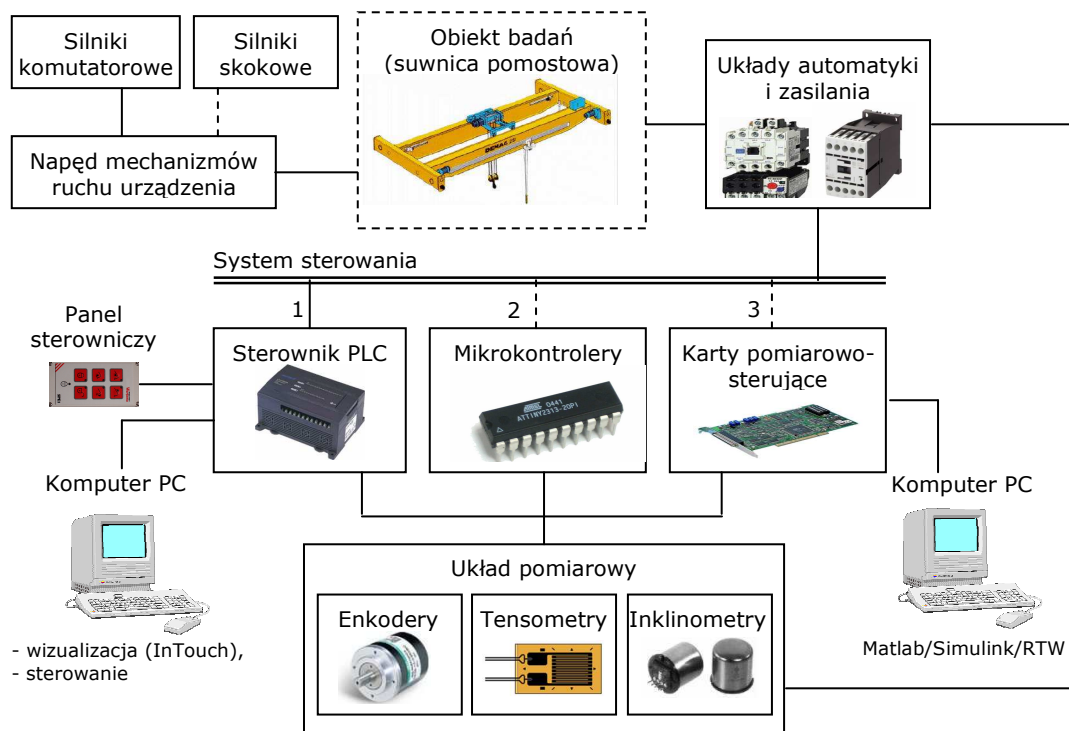


Rys. 3.3. Widok zamocowanego silnika skokowego wraz z nowym układem sterującym



Rys. 3.4. Sposób podłączenia silników skokowych

Schemat blokowy opracowanego i zbudowanego układu pomiarowo-sterującego laboratoryjnej suwnicy pomostowej przedstawiono na rysunku 3.5.



Rys. 3.5. Schemat blokowy układu pomiarowo-sterującego laboratoryjnej suwnicy pomostowej

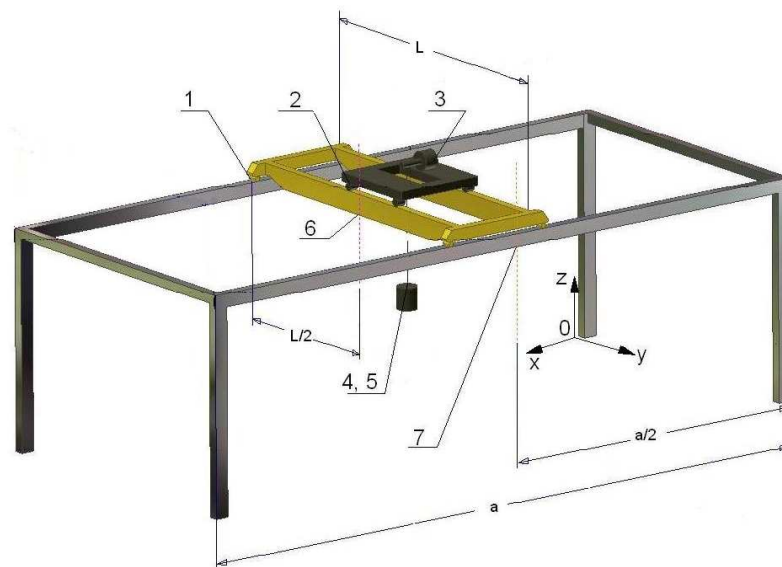
Układ sterowania urządzeniem i transmisji informacji obejmuje między innymi: sterownik, kartę zapisu cyfrowego, serwer lokalny, przełącznik sieciowy, kartę sieciową oraz dwa komputery.

Dodatkowo stanowisko badawcze umożliwia pozyskiwanie informacji o środowisku pracy urządzenia z użyciem kamer typu CCD (ang. *Charged Couple Device*). Proces użytkowania suwnicy może być obserwowany w innym oddalonym pomieszczeniu na ekranach monitorów. Operator urządzenia ma również możliwość zdalnego sterowania ruchami roboczymi suwnicy.

Na suwnicy laboratoryjnej zainstalowano następujące czujniki pomiarowe (rys. 3.6):

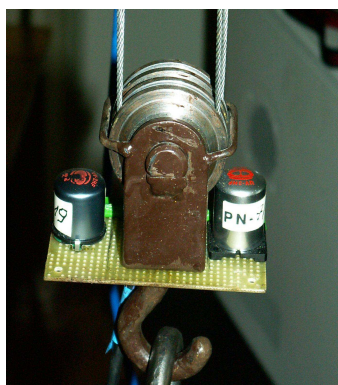
- trzy czujniki impulsowo-obrotowe do wyznaczania położenia mostu (1), wózka (2) i wysokości podnoszenia (3),
- dwa inklinometry – czujniki służące do pomiaru kąta wychylenia ładunku zawieszony na elastycznym cięgnie w dwóch płaszczyznach ZOY i ZOX (4,5),
- dwa tensometry oporowe do pomiaru odkształceń i naprężeń dźwigara mostu (6) i belki jezdni podsuwnicowej (7).

Transmisja informacji z czujników zainstalowanych na suwnicy wykorzystuje złącza przewodowe. Celem określenia właściwości wykonanego urządzenia dla potrzeb sprawdzenia poprawności opracowanych układów pomiarowo-sterujących, przeprowadzono serię badań na laboratoryjnej suwnicy pomostowej.

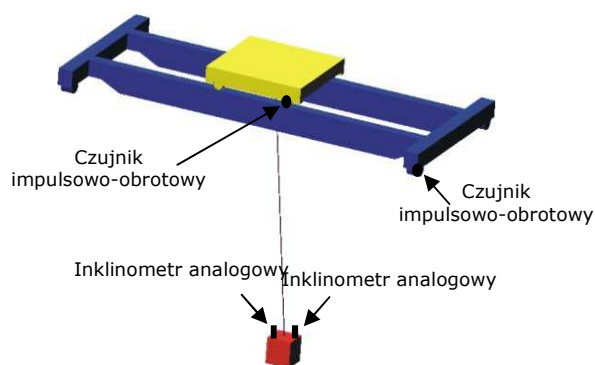


Rys. 3.6. Schemat rozmieszczenia czujników pomiarowych na suwnicy laboratoryjnej: 1 – enkoder mostu, 2 – enkoder wózka, 3 – enkoder bębna wciągarki, 4,5 – inklinometry, 6 – tensometr dźwigara mostu, 7 – tensometr belki jezdni podsuwnicowej

Przykładowym pomiarem wykonanym na fizycznym modelu suwnicy pomostowej był pomiar zmian kąta wychylenia liny (ciągna) z zawieszonym ładunkiem (w płaszczyźnie ZO_X i ZO_Y) od stanu równowagi, w zależności od obciążenia i długości liny oraz prędkości i pozycji mechanizmów wykonawczych urządzenia. Kąty były odczytywane z inklinometrów (rys. 3.7). Schemat rozmieszczenia zastosowanych czujników pomiarowych przedstawiono na rys. 3.8. W tabeli 3.1 zestawiono przykładowe warunki dla których przeprowadzono badania.



Rys. 3.7. Widok inklinometrów zamocowanych przy zbloczu hakowym na modelu suwnicy laboratoryjnej

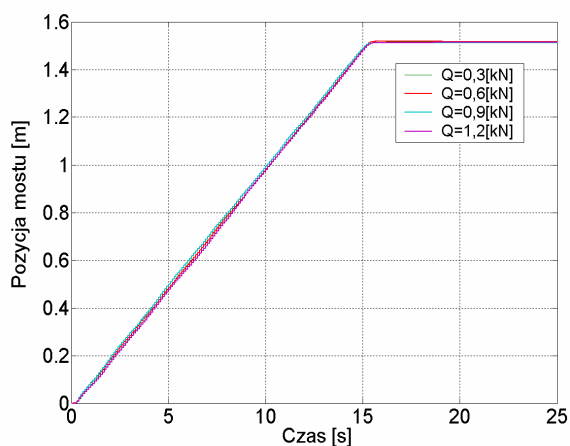


Rys. 3.8. Sposób rozmieszczenia czujników na modelu suwnicy pomostowej

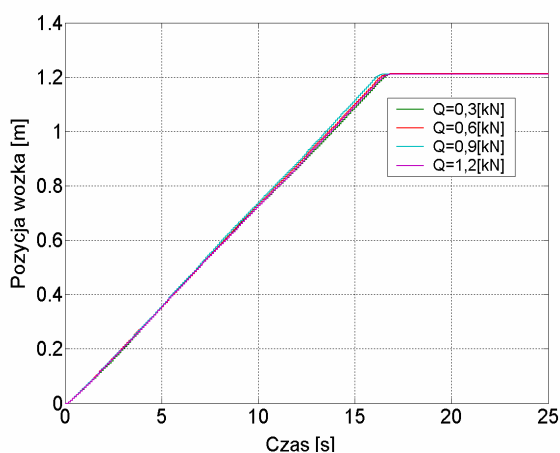
Tabela 3.1. Zestawienie przykładowych warunków badań

Masa wózka z mechanizmem podnoszenia bez przemieszczanego ładunku	$m_1=0,15[\text{kN}]$
Masa mostu z wózkiem bez przemieszczanego ładunku	$m_2=0,9[\text{kN}]$
Opis	
Założenia początkowe	Ładunek w pozycji $[0,0,0]$
Przemieszczany ładunek	$Q_1=0,3[\text{kN}]$, $Q_2=0,6[\text{kN}]$, $Q_3=0,9[\text{kN}]$, $Q_4=1,2[\text{kN}]$
Długość liny (od osi bębna do zbocza hakowego)	$l_1=0,4[\text{m}]$, $l_2=0,8[\text{m}]$, $l_3=1,2[\text{m}]$, $l_4=1,6[\text{m}]$
Parametry mierzone	Pozycja mechanizmów ruchu: x, y, z Prędkość mechanizmów ruchu: $\dot{x}, \dot{y}, \dot{z}$ Kąty wychylenia ładunku: płaszczyzna ZOX i ZOY (rys. 3.6)

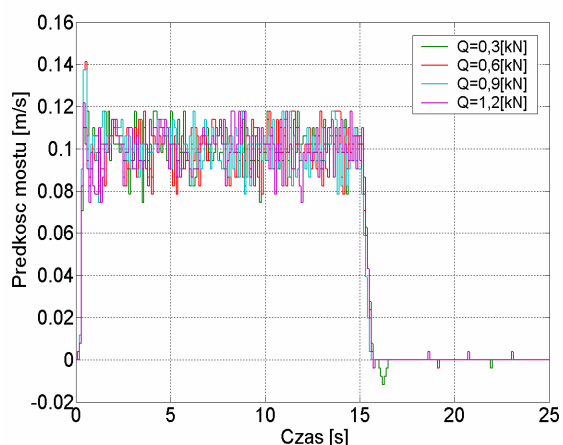
W trakcie eksperymentów ładunek przemieszczany był przez mechanizm jazdy wózka i mostu do zadanej pozycji wynoszącej $x=1,5[\text{m}]$ i $y=1,2[\text{m}]$ (rys. 3.9÷3.10) z prędkościami przedstawionymi na rysunkach 3.11 i 3.12.



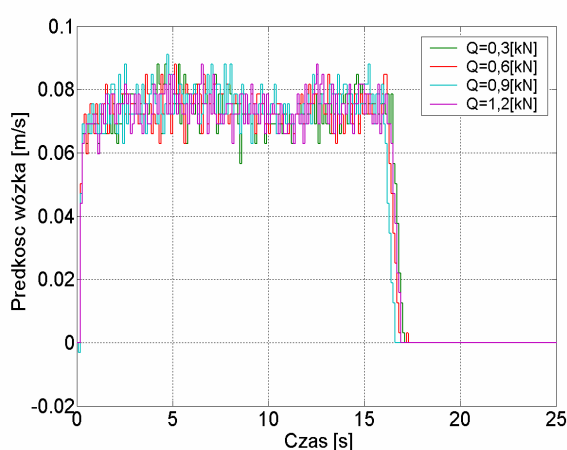
Rys. 3.9. Zmiany pozycji mechanizmu jazdy mostu w funkcji masy przemieszczanego ładunku Q



Rys. 3.10. Zmiany pozycji mechanizmu jazdy wózka w funkcji masy przemieszczanego ładunku Q

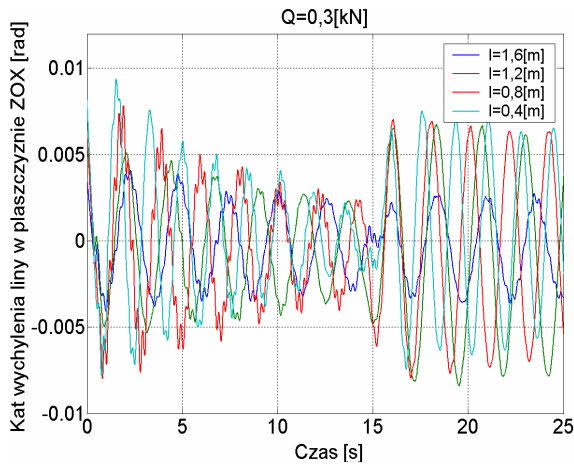


Rys. 3.11. Zmiany prędkości mechanizmu jazdy mostu w funkcji masy przemieszczanego ładunku Q

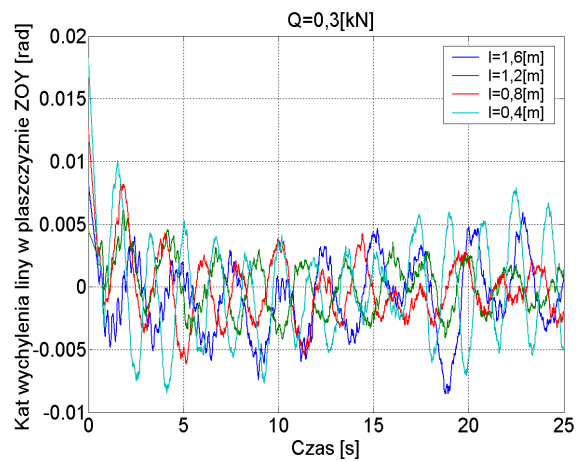


Rys. 3.12. Zmiany prędkości mechanizmu jazdy wózka w funkcji masy przemieszczanego ładunku Q

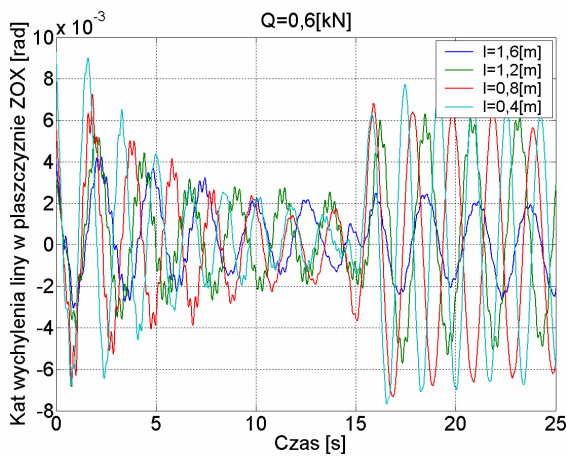
Przykładowe wyniki pomiarów kątów wychylenia linii w płaszczyźnie ZO_X i ZO_Y w funkcji przemieszczanego ładunku oraz długości ciągną, dla jednakowych warunków sterowania jazdy mostu i wózka suwnicy zestawiono na rysunkach 3.13 ÷ 3.20.



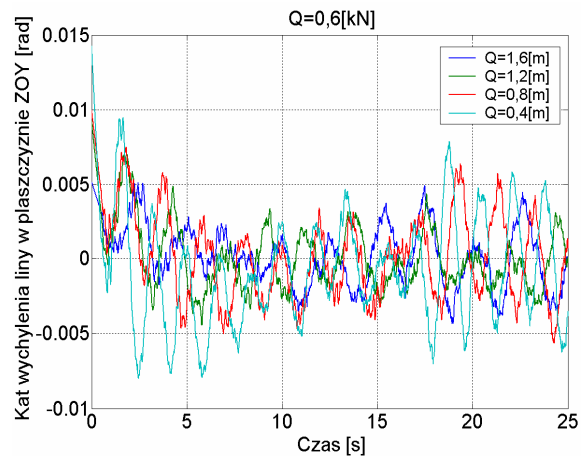
Rys. 3.13. Wykresy czasowe kąta wychylenia ładunku w płaszczyźnie ZO_X dla Q=0,3[kN]



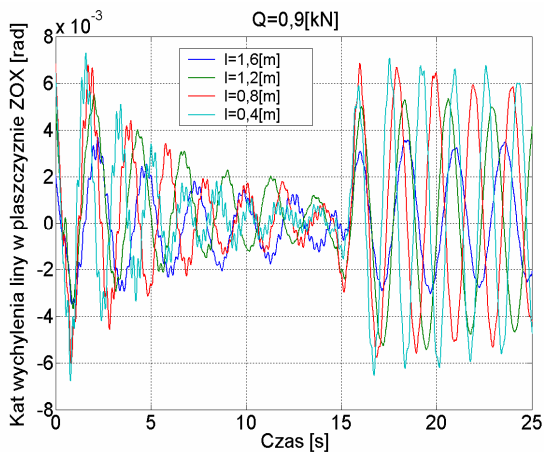
Rys. 3.14. Wykresy czasowe kąta wychylenia ładunku w płaszczyźnie ZO_Y dla Q=0,3[kN]



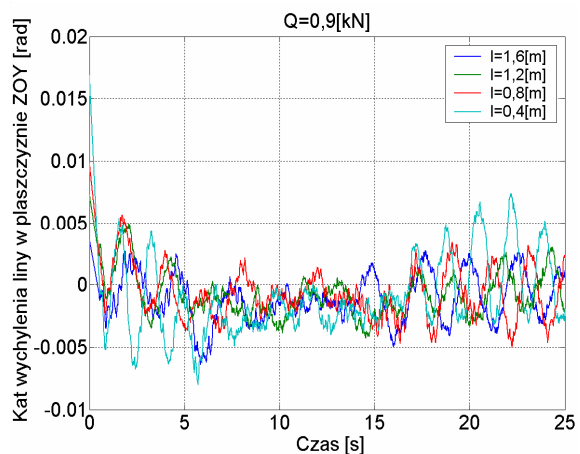
Rys. 3.15. Wykresy czasowe kąta wychylenia ładunku w płaszczyźnie ZO_X dla Q=0,6[kN]



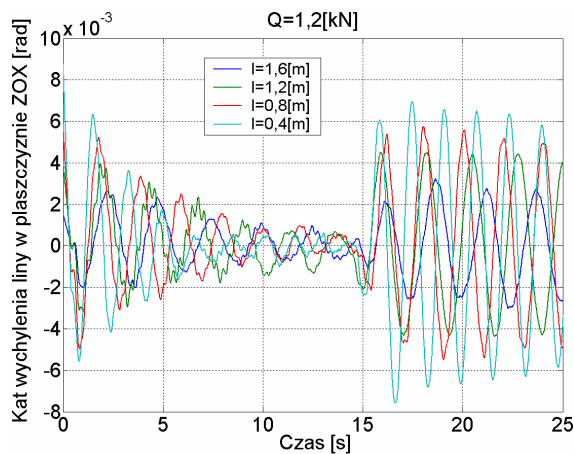
Rys. 3.16. Wykresy czasowe kąta wychylenia ładunku w płaszczyźnie ZO_Y dla Q=0,6[kN]



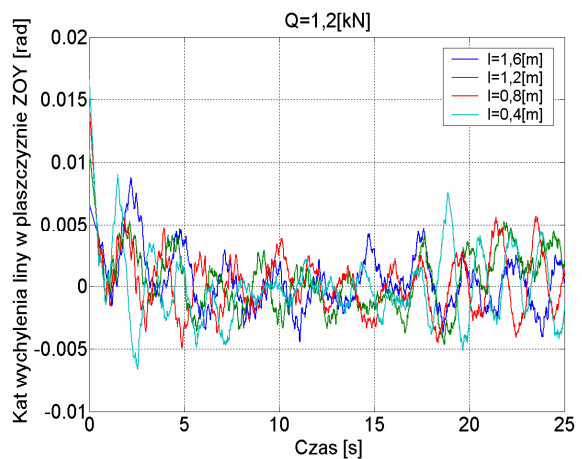
Rys. 3.17. Wykresy czasowe kąta wychylenia ładunku w płaszczyźnie ZO_X dla Q=0,9[kN]



Rys. 3.18. Wykresy czasowe kąta wychylenia ładunku w płaszczyźnie ZO_Y dla Q=0,9[kN]



Rys. 3.19. Wykresy czasowe kąta wychylenia ładunku w płaszczyźnie ZOY dla $Q=1,2$ [kN]



Rys. 3.20. Wykresy czasowe kąta wychylenia ładunku w płaszczyźnie ZOY dla $Q=1,2$ [kN]

W tabeli 3.2 przedstawiono wartości maksymalne zarejestrowanych kątów α_1 i β_1 podczas rozruchu i hamowania transportowanego ładunku.

Tabela 3.2. Zestawienie przykładowych wyników badań

l[m]	Q[kN]	α_{1max} [rad]		β_{1max} [rad]	
		przy rozruchu	przy hamowaniu	przy rozruchu	przy hamowaniu
0,4	0,3	0,0095	0,0075	0,01	0,0075
	0,6	0,009	0,0075	0,009	0,0075
	0,9	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075
	1,2	0,0062	0,0070	0,007	0,007
0,8	0,3	0,008	0,008	0,008	0,004
	0,6	0,0072	0,0068	0,0075	0,006
	0,9	0,007	0,0068	0,006	0,006
	1,2	0,005	0,0058	0,0055	0,0055
1,2	0,3	0,0058	0,0068	0,0065	0,0035
	0,6	0,0056	0,0062	0,006	0,0035
	0,9	0,005	0,0052	0,005	0,0035
	1,2	0,004	0,0043	0,005	0,005
1,6	0,3	0,004	0,0026	0,007	0,008
	0,6	0,004	0,0023	0,005	0,005
	0,9	0,0038	0,0038	0,006	0,005
	1,2	0,0025	0,0032	0,008	0,005

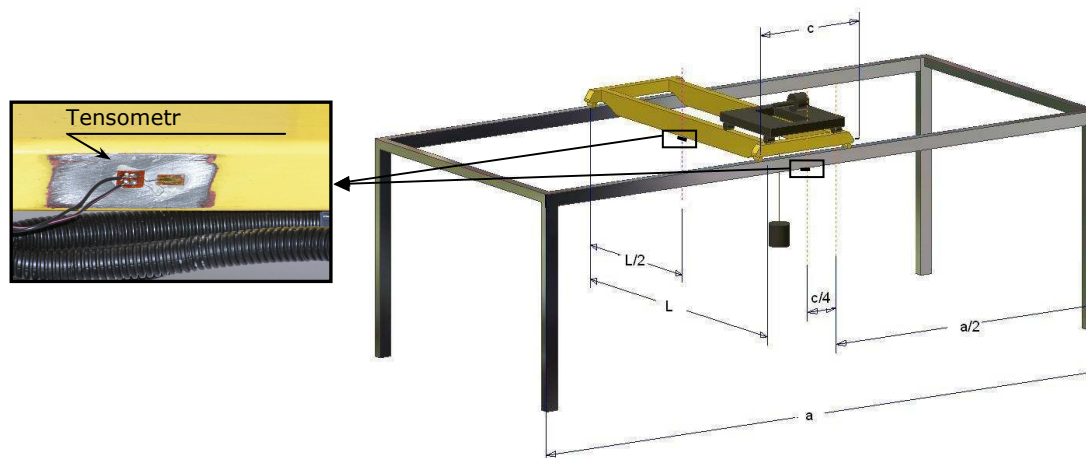
Na podstawie uzyskanych wyników badań (rys. 3.13+3.20) oraz tabeli 3.2 wykazano, że przedmiotowy pomiar jest możliwy do realizacji z użyciem zastosowanego toru pomiarowego. Ponadto uzyskane wyniki z pomiarów potwierdzają występowanie zależności pomiędzy częstotliwością zmian amplitudy kąta wychylenia a długością liny.

Na podstawie przedstawionych wyników zauważono, że największa wartość kąta α_1 i β_1 rzędu około 0,01[rad] uzyskano dla $l=0,4$ [m], przy czym należy zauważyć, że są to wartości kątów w czasie rozruchu i hamowania transportowanego ładunku. Przeprowadzone badania potwierdziły również zmniejszanie się wartości wychylenia ładunku w płaszczyźnie ZOY i ZOY wraz ze wzrostem obciążenia Q. Podczas rozruchu przemieszczanego ładunku oraz próby zatrzymania, występują największe wychylenia ładunku od stanu równowagi (najbardziej widoczne na płaszczyźnie ZOY).

Wykazano ponadto w rezultacie przeprowadzonych eksperymentów, że na modelu suwnicy pomostowej możliwe jest prowadzenie pomiarów naprężeń występujących w dźwigarze mostu σ_1 urządzenia oraz w belce jezdni podsuwnicowej σ_2 . Pomiary wykonano przy różnym obciążeniu suwnicy przemieszczanym ładunkiem oraz zmiennym jej położeniu na jezdni podsuwnicowej. Podczas badań rejestrowano pozycje urządzenia oraz prędkości mechanizmów ruchu.

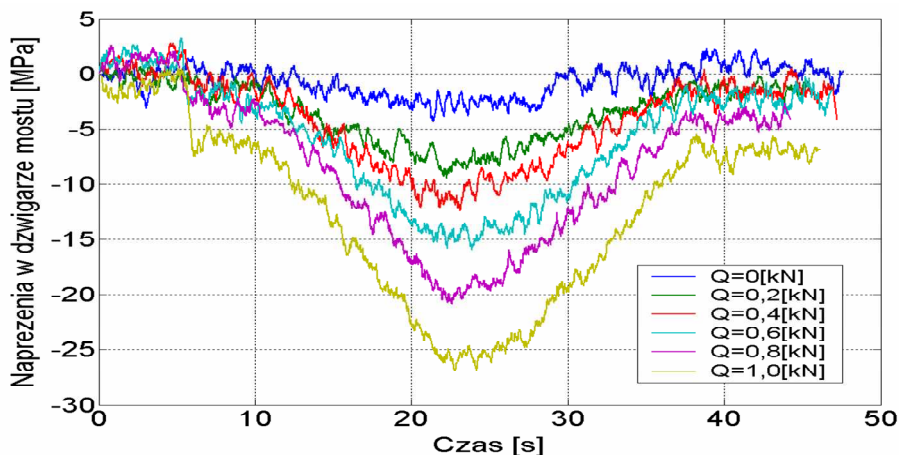
W pomiarze naprężeń dźwigara mostu i jezdni podsuwnicowej zastosowano tensometry rezystancyjne w układach ćwierćmostka prądu stałego. Zarejestrowany sygnał napięciowy, proporcjonalny do odkształcenia zgodnie ze wzorem na odkształcenie względne tensometru w układzie ćwierćmostka [54] został przeliczony na naprężenie przy założonym module Younga $E=2,1 \cdot 10^5$ MPa (dla stali węglowej).

W przykładowej serii przeprowadzonych badań most suwnicy znajdował się na środku jezdni podsuwnicowej, natomiast wózek na skraju mostu, przy tensometrze zamocowanym na jezdni podsuwnicowej (rys. 3.21). Pomiary polegały na poderwaniu ładunku na określoną wysokość 0,2[m] i przejechaniu wózkiem po całej długości mostu suwnicy pomostowej. Mechanizm jazdy wózka załączany był z 5 sekundowym opóźnieniem względem mechanizmu podnoszenia. W tej serii pomiarów wyłączony z ruchu zostały całkowicie mechanizmy jazdy mostem.

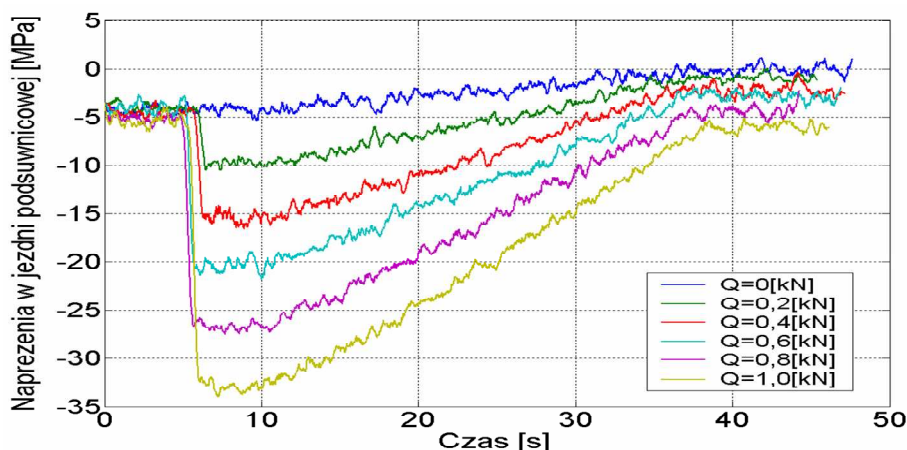


Rys. 3.21. Usytuowanie modelu suwnicy w przestrzeni roboczej: L – rozpiętość mostu suwnicy, a – długość jezdni podsuwnicowej, c – szerokość rozstawu kół jezdnych w czołownicy

Wyniki przedmiotowych pomiarów zestawiono i porównano w postaci przebiegów czasowych na rysunkach 3.22 ÷ 3.23.



Rys. 3.22. Naprężenia σ_1 rejestrowane w dźwigarze mostu suwnicy pod zmiennym obciążeniem mechanizmu podnoszenia przemieszczanym ładunkiem Q



Rys. 3.23. Naprężenia σ_2 rejestrowane w belce jezdni podsuwnicowej urządzenia w funkcji przemieszczanego ładunku Q

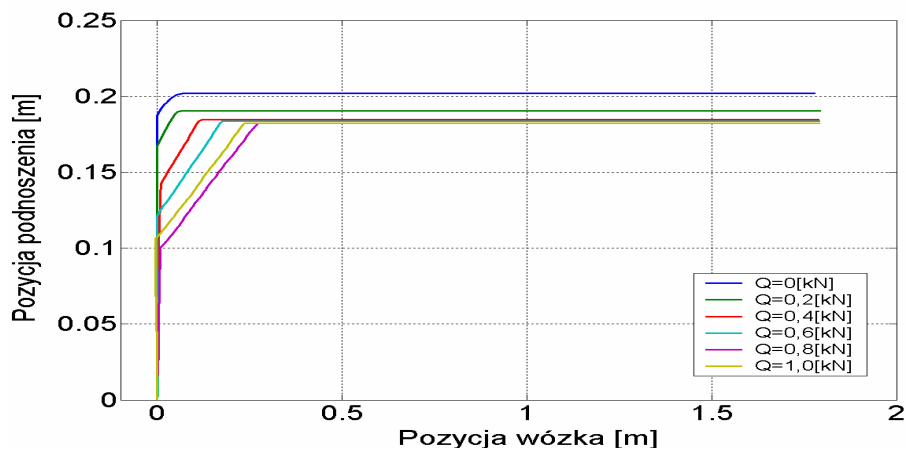
W tabeli 3.3 przedstawiono maksymalne zarejestrowane wartości naprężeń σ_1 (dźwigar mostu suwnicy) i σ_2 (belka jezdni podsuwnicowej).

Tabela 3.3. Wykaz wartości maksymalnych naprężeń występujących w dźwigarze suwnicy laboratoryjnej oraz jezdni podsuwnicowej

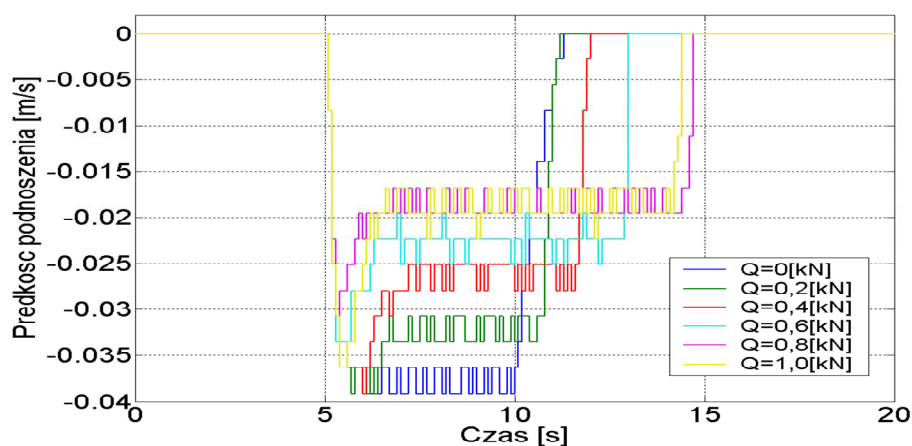
L.p	Q [kN]	σ_{1max} [MPa]	σ_{2max} [MPa]
1	0	-3	-5
2	0,2	-8	-10
3	0,4	-12	-16
4	0,6	-15	-21
5	0,8	-20	-26
6	1,0	-26	-33

Na podstawie przeprowadzonych wyników badań oraz tabeli 3.3 można zauważyć, że w belce jezdni podsuwnicowej występują około 25% większe naprężenia w porównaniu do dźwigara mostu urządzenia. Naprężenia dźwigara mostu zmieniają się w zakresie od 3 do 26[MPa], natomiast belki jezdni podsuwnicowej od 5 do 33[MPa]. Większe naprężenia w belce jezdni podsuwnicowej są spowodowane niedostateczną sztywnością konstrukcji ramy jezdni podsuwnicowej urządzenia. Przeprowadzono ponadto badania zależności pozycji wózka od mechanizmu podnoszenia (rys. 3.24). Zauważono, że dla obciążenia $Q=0,8$ [kN] i $Q=1,0$ [kN] na wykresie prędkości podnoszenia pojawia się różnica czasu pozycji będąca skutkiem istnienia luzu pomiędzy zboczem hakowym a uchwytem przemieszczanego ładunku.

Zmiana prędkości oraz pozycji mechanizmu podnoszenia suwnicy pomostowej (rys. 3.24 ÷ 3.25) zależy od masy przemieszczanego ładunku. Dodatkowo na prędkość, zarówno mostu jak i wózka mają wpływ oscylacje zawieszonoego na linie ładunku podczas przemieszczania.



Rys. 3.24. Zmiany pozycji wózka i mechanizmu podnoszenia w funkcji przemieszczanego ładunku Q



Rys. 3.25. Zmiany prędkości mechanizmu podnoszenia suwnicy w funkcji masy przemieszczanego ładunku Q

Sformułowane w rezultacie przeprowadzonych eksperymentów wnioski są porównywalne z wynikami przedmiotowych badań przeprowadzonych na obiektach rzeczywistych. Wykonany model fizyczny suwnicy pomostowej jest ponadto przydatny w procesie dydaktycznym.

Zaprezentowane wyniki badań, które zostały przeprowadzone na modelu fizycznym laboratoryjnej suwnicy pomostowej umożliwiły zweryfikowanie właściwości wykonanego urządzenia. Wykazano przydatność tego modelu do testowania różnych opracowanych układów pomiarowo-sterujących. W rezultacie przeprowadzonych prób wykazano, że na zaprojektowanym i wykonanym stanowisku badawczym istnieje możliwość realizacji między innymi następujących badań ukierunkowanych na:

- ❑ pozycjonowanie ładunku w przestrzeni roboczej 3D (OXYZ),
- ❑ tłumienie oscylacji ładunku w czasie transportu w realizacji określonej techniki sterowania mechanizmami ruchu urządzenia,
- ❑ przeciwdziałanie zjawisku ukosowania mostu suwnicy pomostowej podczas realizacji ruchów roboczych,
- ❑ wyznaczenie bezpiecznej trajektorii ruchu ładunku w przestrzeni roboczej,
- ❑ minimalizację przeciążeń w układach napędowych i konstrukcji suwnicy pomostowej.

3.2. Laboratoryjna suwnica pomostowa o udźwigu $Q=150$ [kN]

Przedmiotem badań doświadczalnych dla potrzeb niniejszej pracy była również rzeczywista laboratoryjna suwnica pomostowa o udźwigu $Q=150$ [kN], rozpiętości mostu $L=12,5$ [m], wysokości podnoszenia $H=9$ [m] i rozstawie osi kół jezdnych $B=4,3$ [m]. Widok suwnicy usytuowanej w hali pawilonu B4 Akademii Górniczo-Hutniczej, Katedra Urządzeń Technologicznych i Ochrony Środowiska (Laboratorium Urządzeń Dźwigowych - Zespół Transportu Technologicznego) przedstawiono na rysunku 3.26.



Rys. 3.26. Ogólny widok badanego obiektu






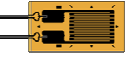

Suwnica pomostowa, której dane techniczne zestawiono w tabeli 3.4, była wyposażona w mechanizm jazdy mostu z przekładniami bocznymi, które były napędzane przez jeden silnik, umieszczony na środku mostu (napęd centralny). Mechanizm jazdy wózka napędzany był poprzez silnik wraz z przekładnią zębatą umieszczoną na środku wału pomiędzy zestawami kołowymi. Suwnica nie posiadała mechanizmu podnoszenia pomocniczego. Silniki suwnicy sterowane były nastawnikami.

Tabela 3.4. Wybrane dane techniczne badanej suwnicy pomostowej o udźwigu $Q=150$ [kN]

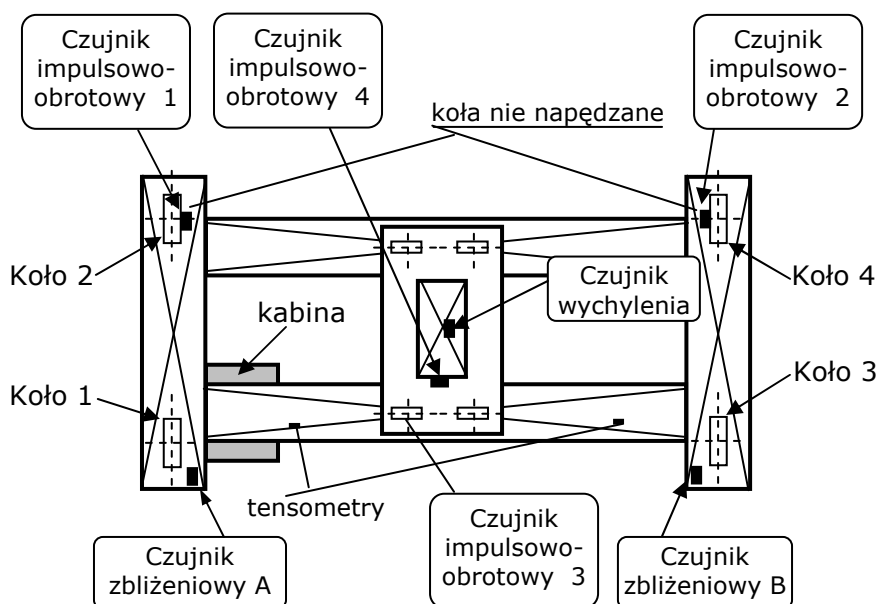
Dane ogólne		
Udźwig	[kN]	150
Rozstaw osi kół w czołownicach	[m]	4,3
Rozstaw kół jezdnych mostu	[m]	12,5
Prędkość podnoszenia mechanizmu	[m/min]	4,87
Prędkość jazdy wciągarki	[m/min]	29,2
Prędkość jazdy mostu	[m/min]	49,3
Mechanizm jazdy wózka		
Masa całkowita wózka	[kg]	4607
Średnica nominalna kół jezdnych	[mm]	315
Moc nominalna silnika SZUDa-58a	[kW]	1,85
Prędkość obrotowa silnika	[obr/min]	700
Całkowite przełożenie mechanizmu	[-]	26,4
Szerokość główki szyny (kolejowa, pośrednia S30)	[mm]	53
Mechanizm jazdy mostu		
Masa całkowita mostu	[kg]	13066
Średnica nominalna kół jezdnych	[mm]	710
Moc nominalna silników SZUDa-78	[kW]	9,5
Prędkość obrotowa silników	[obr/min]	715
Całkowite przełożenie mechanizmu	[-]	17,99
Bieżnia koła jezdnych	[-]	cyldryczna
Szerokość główki szyny (S49 kolejowa)	[mm]	70
Mechanizm podnoszenia		
Średnica nominalna bębna	[mm]	450
Moc nominalna silnika SZUDa-98	[kW]	15,5
Prędkość obrotowa silnika	[obr/min]	720
Całkowite przełożenie mechanizmu	[-]	53,14
Dopuszczalna masa podnoszonego ładunku	[kg]	15000
Wysokość podnoszenia	[m]	9

Badania przeprowadzone na laboratoryjnej suwnicy pomostowej o udźwigu $Q=150$ [kN] ukierunkowano na weryfikację opracowanych technik i torów pomiarowych (rozdział 3.1), a w szczególności: identyfikację położenia mostu, wózka oraz zbloca mechanizmu podnoszenia suwnicy, badania odkształceń dźwigara mostu pod obciążeniem podczas realizacji ruchów roboczych, ukosowania mostu suwnicy, a ponadto pomiaru mocy poszczególnych mechanizmów ruchu oraz ich prędkości, odkształcenia liny oraz kąta jej wychylenia w procesie przemieszczania ładunku. Zastosowane w badaniach czujniki pomiarowe zestawiono w tabeli 3.5.

Tabela 3.5. Charakterystyka czujników pomiarowych

Nazwa czujnika	Mierzona charakterystyka	Jednostka mierzonej charakterystyki	Zdjęcie czujnika
Czujnik impulsowo-obrotowy	Przesunięcie liniowe	[m]	
Inklinometr analogowy (UV-2HF-SW2)	Kąt wychylecia liny	[rad]	
Inklinometr analogowy (UV-3HF-SW2)	Kąt wychylecia liny	[rad]	
Czujnik mocy typ PP73	Moc czynna	[kW]	
Czujnik indukcyjny	Odształcenie względne	[-]	
Tensometr rezystancyjny	Odształcenie względne	[-]	
Czujnik zbliżeniowy RU30-Q30-LUX-H1141	Przesunięcie koła względem szyny	[mm]	

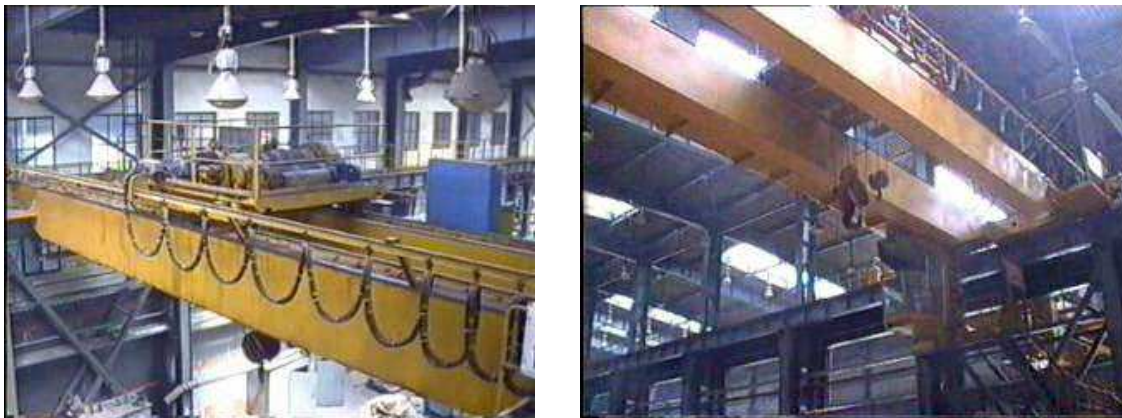
Sposób rozmieszczenia czujników pomiarowych zainstalowanych na suwnicy pomostowej o udźwigu $Q=150$ [kN] przedstawiono na rysunku 3.27.



Rys. 3.27. Schemat rozmieszczenia czujników pomiarowych na suwnicy pomostowej

3.3. Przemysłowa suwnica pomostowa o udźwigu $Q=125[\text{kN}]$

Przedmiotem badań doświadczalnych była również przemysłowa suwnica pomostowa o udźwigu $Q=125[\text{kN}]$, rozpiętości mostu $L=16[\text{m}]$ i rozstawie osi kół jezdnych $B=5[\text{m}]$, która pracowała w grupie natężenia pracy A4. Widok suwnicy usytuowanej w hali produkcyjnej przedstawiono na rysunku 3.28.



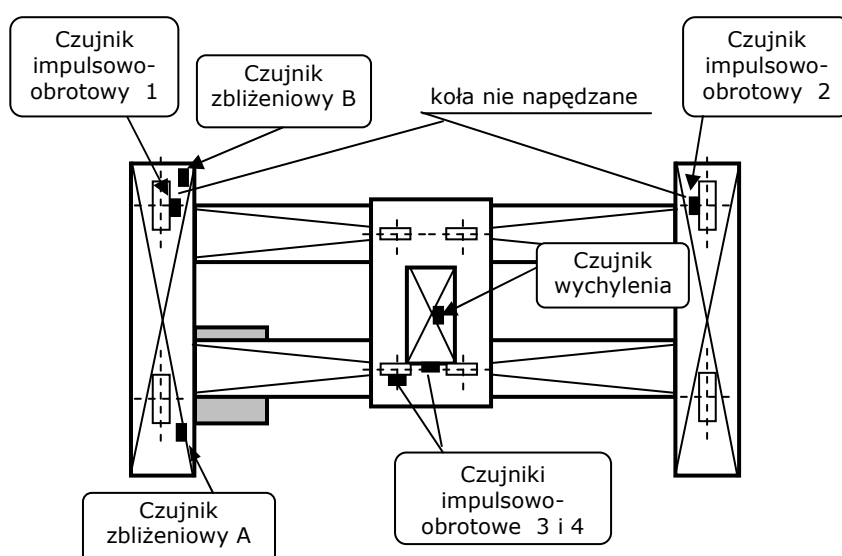
Rys. 3.28. Widok suwnicy przemysłowej usytuowanej w hali produkcyjnej. Suwnica pomostowa, której dane techniczne zestawiono w tabeli 3.6, wyposażona była w indywidualne napędy kół jezdnych mostu, główny i pomocniczy mechanizm podnoszenia oraz mechanizm centralnego napędu jazdy wózkiem. Elektryczny układ sterowania mechanizmami wyposażono dodatkowo w przemienniki częstotliwości, które kontrolowane były przy pomocy programowalnego sterownika typu PLC (ang. *Programmable Logic Controller*), do którego sygnały sterujące od operatora przekazywane były poprzez manipulatory potencjometryczne. Powyższy projekt zrealizowano przez Zespół Transportu Technologicznego, Katedra UTiOŚ Akademii Górniczo-Hutniczej.

Tabela 3.6. Wybrane dane techniczne przemysłowej suwnicy pomostowej o udźwigu $Q=125[\text{kN}]$

Dane ogólne		
Udźwig	[kN]	125
Rozstaw osi kół w czołownicach	[m]	5
Rozstaw kół jezdnych mostu	[m]	16
Prędkość podnoszenia mechanizmu	[m/min]	8
Prędkość jazdy wciągarki	[m/min]	40
Prędkość jazdy mostu	[m/min]	80
Maksymalny nacisk na koło jezdne mostu	[kN]	145
Mechanizm jazdy wózka		
Masa całkowita wózka	[kg]	5317
Średnica nominalna kół jezdnych	[mm]	280
Moc nominalna silnika SZUDe-48a	[kW]	3
Prędkość obrotowa silnika	[obr/min]	950
Całkowite przełożenie mechanizmu	[-]	24

Mechanizm jazdy mostu		
Masa całkowita mostu	[kg]	18180
Średnica nominalna kół jezdnych	[mm]	630
Moc nominalna silników SZUDe-58	[kW]	5,5
Prędkość obrotowa silników	[obr/min]	710
Całkowite przełożenie mechanizmu	[-]	24
Bieżnia koła jezdnego	[-]	cylicyryczna
Szerokość główki szyny SD65	[mm]	65
Masa całkowita mostu	[kg]	18180
Mechanizm podnoszenia		
Średnica nominalna bębna	[mm]	450
Moc nominalna silnika SZUDe	[kW]	22
Prędkość obrotowa silnika	[obr/min]	720
Całkowite przełożenie mechanizmu	[-]	120
Dopuszczalna masa podnieszonego ładunku	[kg]	12500
Wysokość podnoszenia	[m]	10

Dla potrzeb badań na suwnicy usytuowanej w hali produkcyjnej, zaprojektowano i zaimplementowano wcześniej opracowane (rozdział 3.1, 3.2) systemy pomiarowe składające się z czujników pomiarowych. Umożliwiają one przetworzenie wybranych charakterystyk eksploatacyjnych urządzenia na sygnały elektryczne o parametrach odpowiednich do rejestracji poprzez wchodzący w skład systemu komputer PC wyposażony w specjalistyczną kartę pomiarową firmy Advantech. W pomiarach zostały wykorzystane czujniki identyczne jak dla suwnicy znajdującej się w Laboratorium Zespołu Urządzeń Transportu Technologicznego Akademii Górniczo-Hutniczej (Katedra Urządzeń Technologicznych i Ochrony Środowiska). Sposób rozmieszczenia czujników przedstawiono na rys. 3.29.



Rys. 3.29. Schemat podłączenia czujników pomiarowych na suwnicy pomostowej

Zagadnienie obserwacji wybranych parametrów eksploatacyjnych suwnic pomostowych w praktyce jest przedsięwzięciem złożonym. W rezultacie testowania określonych rozwiązań metrologicznych na wykonanym modelu urządzenia, możliwe było skrócenie czasu ich zaimplementowania na obiektach rzeczywistych wraz z stosowaniem różnych opracowanych rozwiązań (metod i technik). Przeprowadzone badania eksploatacyjne suwnic pomostowych potwierdziły nabyte podczas realizowanych badań laboratoryjnych i przemysłowych umiejętności w zakresie budowy torów pomiarowych, ich zabudowy na urządzeniach oraz prezentacji i interpretacji uzyskanych wyników dla potrzeb decyzyjnych. Wykazano ponadto praktyczną przydatność wykonanego modelu fizycznego suwnicy pomostowej do weryfikacji prototypowych rozwiązań układów pomiarowo-sterujących urządzeniem.

4. NADZOROWANIE PROCESU EKSPLOATACJI SYSTEMU ZŁOŻONEGO ZE ŚRODKÓW TRANSPORTU

4.1. Metodyka procesu

Miarą możliwości (zdolności) działania systemu złożonego z n -tej liczby środków transportu (OT) i operatorów (C) zorientowanego celowo na przedmiot działania i wyrażony celem operacyjnym jest ich łączny potencjał eksploatacyjny [13, 67]. Potencjał eksploatacyjny systemu jest właściwością (wyrażoną określonymi atrybutami, parametrami eksploatacyjnymi) charakteryzującą jego zdolność do zachowania wymaganej zdatności użytkowej (możliwości podejmowania i realizacji działań zgodnie z przeznaczeniem) i obsługowej (realizacji działań zorientowanych na podtrzymanie i przywracanie oraz doskonalenie zdatności użytkowej urządzenia) w danej chwili lub w określonym czasie.

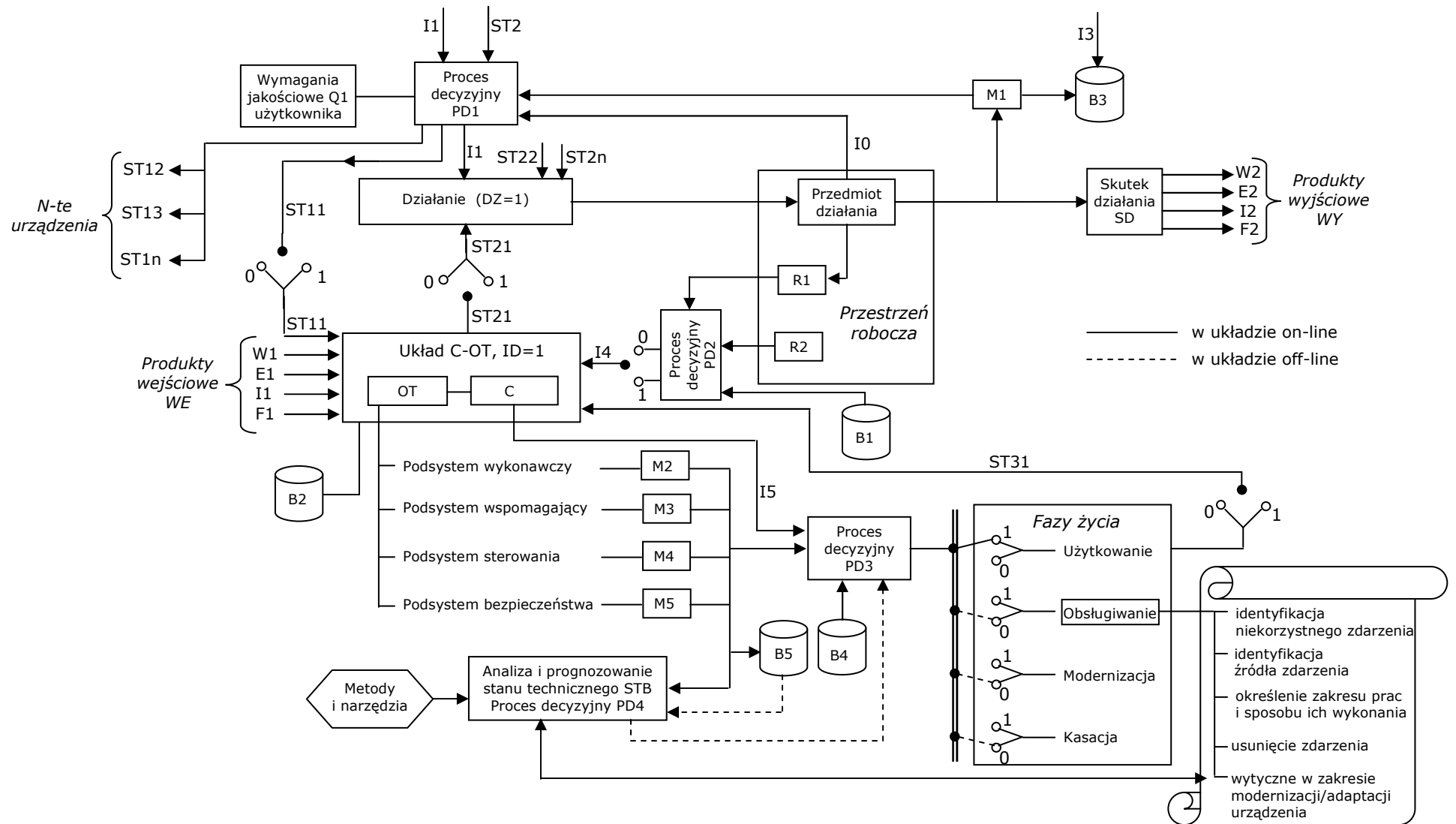
W rezultacie oceny przez użytkownika potencjału eksploatacyjnego układu C-OT i jego porównania z potencjałem wymaganym, system jest kwalifikowany do stanu zdatności lub stanu niezdatności. W przypadku stanu niezdatności systemu możliwe jest podjęcie następujących przedsięwzięć przystosowujących:

- realizowane działania do istniejących własności systemu w rezultacie zmiany sposobu, zakresu lub warunków realizacji zadania,
- właściwości systemu do realizowanego działania w rezultacie obsługi i doskonalenia.

Skuteczne przystosowanie środka transportowego do zmiennych warunków realizacji działania jest własnością nowoczesnych konstrukcji. Sposobami zwiększenia ich potencjału eksploatacyjnego są:

- rozwiązania przystosowujące system do automatyzacji procesów decyzyjno - realizacyjnych w rezultacie zastosowania układów monitorujących - diagnostycznych,
- wprowadzenie do systemu rozwiązań nadmiarowych: strukturalnych, funkcjonalnych, parametrycznych, informacyjnych, czasowych, wytrzymałości, obsługiwanie,
- układy wspomagające procesy decyzyjne w układach typu *on-line* (czasu rzeczywistego) oraz *off-line* w rezultacie budowy przyjaznych interfejsów człowiek - urządzenie.

Dla potrzeb skutecznego kształtowania procesu eksploatacji układu C-OT istotnymi są możliwości techniczne umożliwiające oceniać stan techniczny urządzenia oraz zdrowie operatora. Ponadto identyfikować można przedmiot działania oraz możliwe zagrożenia, położenie środka transportu/ manipulatora i przedmiotu działania w przestrzeni roboczej, wymagany zakres obsług urządzenia, wymagania w zakresie wiedzy i kwalifikacji operatora oraz produktów zasilających, techniczne środki zapewniające komunikację (przepływ informacji) pomiędzy operatorami i innymi współpracującymi urządzeniami. Łączenie różnych własności urządzenia i operatora realizującego wspólnie określone działanie umożliwia zwiększyć istniejący potencjał eksploatacyjny systemu. Przykład opracowanego systemu nadzorowania procesu eksploatacji środków transportu bliskiego (OT) z uwzględnieniem jakościowych wymagań użytkownika dla systemu transportowo - produkcyjnego przedstawiono na rys. 4.1. Uwagę skoncentrowano na pojedynczym wybranym układzie typu C-OT, a w szczególności na środku transportowym [72].



Rys. 4.1. Schemat blokowy systemu nadzoru procesu eksploatacji środka transportu [72]

Wykaz użytych oznaczeń (rys. 4.1):

B - baza danych:

B1 - referencyjne charakterystyki przedmiotu działania i otoczenia (przestrzeni roboczej),

B2 - produktów wejściowych procesu działania,

B3 - produktów wyjściowych procesu działania oraz zrealizowanych zadań I1,

B4 - referencyjna baza danych w zakresie właściwości układu C-OT,

B5 - właściwości OT wyrażone zmianami parametrów eksploatacyjnych w procesie użytkownika (określonym czasie) uzupełnione informacją o zrealizowanych zadaniach I1,

I - zasilanie informacyjne:

I0 - o przedmiocie działania,

I1 - zadanie sformułowane do realizacji,

I2 - o skutku podjętego działania (oraz produktach wyjściowych) z układu monitorowania M1,

I3 - zewnętrzne w zakresie przedmiotu działania od koordynatora systemu transportowo - produkcyjnego,

I4 - w zakresie wiedzy o otoczeniu i przedmiocie działania (przestrzeni roboczej),

I5 - predyspozycje psychofizyczne operatora,

M - monitoring:

M1 - skutków celowego działania układu C-OT (produkty wyjściowe),

M2, M3, M4, M5 - wyróżnionych parametrów eksploatacyjnych q podsystemów środka transportu (OT),

PD - proces decyzyjny w zakresie możliwości realizacji działania:

PD1 - na poziomie koordynatora systemu w zakresie dekompozycji zadania i oceny jakościowej realizacji zadania,

PD2 - z uwagi na właściwości przedmiotu działania i otoczenia,

PD3 - w zakresie zdadności eksploatacyjnej układu C- OT,

PD4 - w zakresie prognozowania stanu technicznego środka transportu OT,

q - parametr eksploatacyjny układu C-OT,

Q1 - referencyjne wymagania jakościowe i ilościowe użytkownika,

R - monitoring przedmiotu działania i otoczenia:

R1 - identyfikacja jakościowa i ilościowa przedmiotu działania,

R2 - identyfikacja warunków otoczenia, w których realizowane jest działanie,

ST - sterowanie:

ST1 - w postaci decyzji pochodzących od koordynatora systemu produkcyjno-transportowego układu C-OT w zakresie przedmiotu i zakresu realizacji określonego działania przez układ C-OT,

ST2 - celowe sterowania realizowane przez układ C-OT ukierunkowane na działanie DZ w celu zaspokojenia oczekiwań użytkownika/ koordynatora,

ST3 - sterowanie w zakresie kwalifikacji układu C-OT do odpowiedniej fazy życia.

Na rys. 4.1 wyróżniono następujące podsystemy:

- *bezpośredniego działania* (PS1) - realizacji zadania z użyciem układu C-OT i jego oceny z uwzględnieniem przyjętego wskaźnika oceny jakości działania wyrażającego poziom spełnienia wielokryterialnych oczekiwań użytkownika (w układzie *on/off-line*),
- *wspierający proces działania* (PS2) - wyrażony potencjałem eksploatacyjnym układu człowiek - maszyna, który jest przedmiotem degradacji w procesie użytkowania i odnawiania oraz doskonalenia w procesie obsługi, a którego analiza potencjału eksploatacyjnego pozwala ocenić celowość i / lub możliwość podjęcia i / lub realizacji działania,
- *koordynacji działania* (PS3) - którego celem jest takie skoordynowanie przedsięwzięć decyzyjnych w wyróżnionych częściowych celach realizowanych przez układ człowiek - maszyna oraz w fazach jego życia (dotyczy to również rozproszonych układów typu C-OT realizujących określone zadania), aby założone cele ukierunkowane na działanie były zapewniane.

Założono, że w systemie produkcyjnym realizowany jest zbiór działań DZ (ID = 1, 2, ... p) przez *n*-liczną grupę środków transportowych typu C-OT (ID = 1, 2, ... n). Dla procesu transportowego formułowane są referencyjne wymagania jakościowe i ilościowe Q1 użytkownika w zakresie:

- przedmiotu działania (dokładność pozycjonowania, czas realizacji przemieszczenia w przestrzeni roboczej, niekorzystne oddziaływanie na otoczenie),
- wydatku energetycznego na realizację określonych działań w przestrzeni roboczej,
- kosztów poniesionych łącznie na użytkowanie i obsługę układu C-OT w określonym czasie eksploatacji,
- wiedzy i umiejętności operatorów w zakresie użytkowania i obsługi środka transportu.

Działania DZ zorientowane na określony cel z użyciem układu C-OT są możliwe w rezultacie istnienia produktów typu: E - energetycznego, I - informacyjnego, F - finansowego, W - wiedza i umiejętności. Produkty wejściowe procesu działania są gromadzone w bazie B2. Pomiędzy produktami zasilającymi (wejściowe WE, indeks 1) oraz produktami uzyskiwanymi w rezultacie procesu działania (wyjściowe WY, indeks 2) zachodzi zależność:

$$\{E1, I1, F1, W1\} \rightarrow \{E2, I2, F2, W2\} = SD \quad (4.1)$$

Zaznaczyć należy, że układ C-OT może skutecznie podjąć działanie pod warunkiem, że każdy z wyróżnionych produktów zasilających posiada wartość nie mniejszą od nominalnej założonej na etapie projektowania układu. W przeciwnym przypadku podjęcie działania może mieć wpływ na zmianę stanu technicznego układu C-OT (jego degradację) lub/i na skutek działania.

Podjęcie działania DZ jest możliwe w rezultacie zaistnienia decyzji PD1 na poziomie koordynatora systemu w zakresie dekompozycji zadania PD11 i oceny jakościowej realizacji zadania PD12: PD1 = {PD11, PD12}. Dekompozycja zadania PD11 na *n*-tą liczbę działań realizowaną przez *n*-tą liczbę układów C-OT polega na funkcjonalnym rozdziale działania wyrażonego sterowaniem ST2 formułowanym przez koordynatora systemu transportowo-produkcyjnego i przypisanie do jego realizacji odpowiednich układów C-OT na podstawie informacji I3 w zakresie potrzeby realizacji określonego zadania oraz informacji I0 o przedmiocie działania. Jakościowa ocena realizacji zadania PD12 jest realizowana w rezultacie analizy charakterystyk produktów wyjściowych WY (jako skutku celowego działania układu

C-OT obserwowanego z użyciem monitoringu M1) i referencyjnych wymagań jakościowych i ilościowych Q1 użytkownika w zakresie przedmiotu działania, wydatku energetycznego, kosztów eksploatacji, wiedzy i umiejętności operatorów. Produkty wyjściowe procesu działania DZ są gromadzone w bazie danych B3 i są uzupełnione o informacje w zakresie zrealizowanych zadań I1.

Sterowanie typu ST1 ma postać decyzji pochodzących od koordynatora systemu produkcyjno-transportowego układu C-OT w zakresie przedmiotu i zakresu realizacji określonego działania przez układ C-OT. Dla układu C-OT o numerze identyfikacyjnym ID=1 sterowanie przyjmuje oznaczenie ST11 oraz układ ten może realizować działania DZ o określonym numerze identyfikacyjnym, przykładowo ID=1. Sterowanie typu ST1 może przyjmować wartości ze zbioru {0,1}, gdzie dla: 0 - oznacza brak decyzji, 1 - oznacza decyzję o przydzieleniu układowi C-OT określonego działania do realizacji.

Układ C-OT charakteryzuje się określonym potencjałem eksploatacyjnym PO. Sterowanie w zakresie oceny rzeczywistego potencjału eksploatacyjnego układu C-OT jest realizowane w rezultacie sterowań typu ST3. W praktyce konsekwencją oceny potencjału eksploatacyjnego układu jest jego kwalifikacja (w rzeczywistości najczęściej urządzenia) do odpowiedniej fazy życia: użytkowania, obsługi, modernizacji, kasacji. Dla ST3=1 układ C-OT jest w fazie użytkowania, dla ST3=0 układ jest w innej fazie wykluczającej z użytkowania.

Działania DZ oczekiwane przez użytkownika/ koordynatora są realizowane przez układ C-OT jako celowe sterowania ST2. Sterowanie typu ST2 może przyjmować wartości ze zbioru {0,1}, gdzie: 0 - oznacza że potencjał eksploatacyjny układu C-OT nie jest wystarczający do podjęcia działania lub/i brak jest wymaganych produktów zasilających lub/i wiedza w zakresie otoczenia i przedmiotu działania wyklucza podjęcie działania (informacja I4), 1 - oznacza decyzję o podjęciu przez układ C-OT przydzielonego działania. Dla układu C-OT o numerze identyfikacyjnym ID=1 sterowanie przyjmuje oznaczenie ST21, a układ realizuje przydzielone działanie DZ1 dla określonego własnego numeru identyfikacyjnego ID=1.

Informacja I4 w zakresie wiedzy o otoczeniu i przedmiocie działania (przestrzeni roboczej) jest skutkiem procesu decyzyjnego PD2 (z uwzględnieniem właściwości przedmiotu działania i otoczenia). Informacja I4 może przyjmować wartości ze zbioru {0,1}, gdzie: 0 - oznacza informację o niepowodzeniu identyfikacji otoczenia i przedmiotu działania, 1 - oznacza określoną informację użyteczną dla potrzeb układu C-OT.

Uzyskane z procesu monitorowania R charakterystyki przedmiotu działania i otoczenia są porównywane w procesie decyzyjnym PD2 z charakterystykami referencyjnymi zgromadzonymi w bazie danych B1, z uwzględnieniem sformułowanego do realizacji zadania I1. W rezultacie przedmiotowej analizy charakterystyk otoczenia i przedmiotu działania możliwe są decyzje ze zbioru {0,1}, symbol 0 wyklucza podjęcie działania z uwagi na brak identyfikacji ładunku i/lub właściwości wykluczające działanie z użyciem układu C-OT i/lub przestrzeń robocza nie jest identyfikowalna i/lub właściwości otoczenia wykluczają bezpieczną realizację działania z użyciem układu C-OT i/lub zadanie do realizacji nie jest sformułowane w sposób wystarczający lub jest jego brak. Monitoring R przedmiotu działania i otoczenia obejmuje: identyfikację jakościową i ilościową przedmiotu działania R1 oraz identyfikację warunków otoczenia R2, w których realizowane jest działanie.

Wyróżnione elementy struktury wchodzi w skład podsystemu bezpośredniego (PS1) działania układów typu środek transportowy - operator. Istotnymi elementami podsystemu są moduły decyzyjne PD1 i PD2 umożliwiające dokonanie przez użytkownika jakościowej i ilościowej kwalifikacji sformułowanego i wykonanego

zadania. Ocenę kwalifikacji wykonanego zadania Q_1 w określonym czasie t , wyrażająca poziom zadowolenia i spełnienia oczekiwań użytkownika, można sformułować w postaci:

$$Q_1 = f(B_1, A_1, C_1, t) \quad (4.2)$$

gdzie:

B_1 - bezpieczeństwo układu C-OT oraz otoczenia (przestrzeni roboczej),

A_1 - gotowość układu C-OT,

C_1 - koszt eksploatacji obejmujący proces użytkowania i obsługiwanie oraz dostosowania układu do nowych wymagań użytkownika w rezultacie modernizacji układu,

Przedmiotowa ocena jest możliwa w rezultacie pozyskiwania istotnych dla procesu decyzyjnego informacji (wymagana są metodyka kwalifikacji istotnych informacji oraz techniczne środki ich pozyskiwania z różnych dostępnych źródeł), a następnie ukierunkowanej analizy pozyskanej informacji zarówno w czasie rzeczywistym oraz z udziałem danych typu historycznego zgromadzonych wcześniej w bazach informacji (z wykorzystaniem odpowiednich metod i narzędzi).

W praktyce decyzja pochodząca od koordynatora systemu produkcyjno-transportowego w postaci sterowania typu ST1 przydzielająca zadanie, może dotyczyć pojedynczego urządzenia ($n=1$) lub n -licznej grupy urządzeń OT dla zdekomponowanych zadań:

$$ST_1 = \{ST_{11}, ST_{12} \dots ST_{1n}\} \quad (4.3)$$

które są następnie przedmiotem projektowania sterowań typu ST2 realizowanych przez układ C-OT (w literaturze przedmiotu występuje również określenie mody transportowe) i ukierunkowanych na skuteczną realizację działania DZ:

$$ST_2 = \{ST_{21}, ST_{22} \dots ST_{2n}\} \quad (4.4)$$

Z uwagi na złożoność systemu i możliwe odległości pomiędzy modami realizującymi określone działania, pozyskiwane i będące przedmiotem procesów decyzyjnych informacje oraz sterowania mogą być przekazywane do właściwych elementów struktury przewodowo lub bezprzewodowo (zdalnie). W złożonych systemach produkcyjno-transportowych istnieje dodatkowo potrzeba racjonalnego skoordynowania przedsięwzięć decyzyjnych w wyróżnionych częściowych celach realizowanych przez poszczególne układy człowiek - maszyna, aby założone cele ukierunkowane na działanie były zapewniane. Powyższe działania są realizowane w podsystemie koordynacji działania (PS3). Przydatną techniką jest telematyka.

Działania DZ realizowane przez i -ty układ C-OT (mod transportowy) można przedstawić zależnością [67]:

$$DZ(i) = f [DZ(i, k, j), T, U] \quad \text{dla } i = 1 \dots n, k = 1 \dots p, j = 1 \dots r \quad (4.5)$$

gdzie:

$DZ(i)$ - działanie DZ realizowane przez i -ty układ C-OT,

$DZ(i, k, j)$ - j -ta kategoria informacji towarzysząca k -tej kategorii działania DZ realizowanego przez i -ty układ C-OT,

T - czas realizacji działania przez układ C-OT,

$U = f(x, y, z, p)$ - przestrzeń robocza działania układu C-OT wyrażona parametrami (x, y, z) i właściwościami p przedmiotu działania,

i -ty mod realizujący określone działania,

k -ta kategoria zdekomponowanego przez koordynatora zadania działania realizowana przez układ C-OT,

j -ta kategoria informacji jako skutek działania (produkty wyjściowe),

Zapis DZ(i) oznacza, że *i*-ty układ C-OT dysponujący produktami wejściowymi WE może realizować *k*-tej kategorii działania DZ zorientowane na przedmiot działania ze skutkiem wyrażonym *j*-tymi produktami wyjściowymi WY. Działanie systemu jest rozpoczynane i kończone przez układ C-OT (w tym nadzorowanie przez koordynatora) na podstawie produktów WE i właściwych sterowań. Informacje generowane jako skutek działania określonego układu C-OT mogą być dostarczane do danego moda transportowego oraz innych modów z opóźnieniem czasowym ΔT lub jest ich brak. Brak informacji, lub jej uzyskanie z nieakceptowanym uchybem/opóźnieniem ΔT , może skutkować nietrafnością podjętego (lub braku) działania przez określone układy C-OT lub oceny przez koordynatora systemu.

Istotnym dla każdego działania jest podsystem wspierający proces działania (PS2). Dla potrzeb działania DZ istotny jest określony potencjał eksploatacyjny PO układu C-OT wymagany dla sformułowanego do realizacji zadanie I1. Potencjał eksploatacyjny układu jest sumą potencjału środka transportowego PO1 oraz operatora PO2: $PO = PO1 \cup PO2$. W praktyce potencjał eksploatacyjny środka transportowego jest funkcją składowych potencjałów eksploatacyjnych jego wyróżnionych podsystemów (wykonawczego PO11, wspomagającego PO12, sterowania PO13, bezpieczeństwa PO14): $PO1 = PO11 \cup PO12 \cup PO13 \cup PO14$. Kwalifikacja przedmiotowa operatora i podsystemów (ocena stanu technicznego) jest realizowana w module decyzyjnym PD3 z wykorzystaniem informacji o predyspozycji psychofizycznych operatora I5 oraz o wyróżnionych parametrach eksploatacyjnych środka transportu pochodzących z monitoringu {M2, M3, M4, M5} oraz referencyjnej bazy danych B4 w zakresie właściwości układu C-OT.

W rezultacie analizy stopnia degradacji wyróżnionych obserwowanych parametrów eksploatacyjnych q układu:

$$q = \{q_1, q_2, \dots, q_i, \Delta q_1, \Delta q_2, \dots, \Delta q_i\} \quad (4.6)$$

gdzie:

q_i - *i*-ty parametr eksploatacyjny układu złożonego ze środka transportowego o określonej strukturze oraz operatora,

Δq_i - degradacja *i*-tego parametru eksploatacyjnego,

realizowana jest w module decyzyjnym PD3 jednoznaczna kwalifikacja środka transportu do jednej z wyróżnionych faz życia (symbol 1 oznacza przypisanie środka transportu do określonej fazy życia): użytkowania FU, obsługi FO, modernizacji FM, kasacji FK. Skutkiem procesu decyzyjnego PD3 jest sterowanie ST3 w zakresie kwalifikacji układu C-OT (w rzeczywistości najczęściej OT) do odpowiedniej fazy życia. Dopuszczenie układu C-OT do procesu użytkowania jest możliwe dla $ST3=1$ (faza użytkowania dla {FU = 1, FO = 0, FM = 0, FK = 0}), dla $ST3=0$ - zachodzi inna faza życia wykluczająca układ z użytkowania. Sterowanie $ST3=1$ uwzględnia stan częściowej zdadności układu z dodatkowymi ograniczeniami i wymaganiami warunkującymi dopuszczeniem do fazy użytkowania.

Proces decyzyjny PD3 w zakresie kwalifikacji układu do określonej fazy życia jest realizowany w czasie rzeczywistym (dla zautomatyzowanych środków transportowych w postaci generowanych alarmów lub w przypadku zaistnienia zdarzenia kwalifikującego układ do stanu niezdatności), lub w określonych chwilach czasowych z wykorzystaniem informacji typu historycznego gromadzonych w bazie B5 oraz narzędzi typu statystycznego SPC (ang. *Statistical Process Control*). W bazie B5 gromadzone są informacje o właściwościach OT wyrażone zmianami jego parametrów eksploatacyjnych w procesie użytkowania (określonym czasie) uzupełnione informacją o zrealizowanych zadaniach I1.

W module PD4 formułowane są decyzje w zakresie prognozowania stanu technicznego środka transportu OT na podstawie informacji uzyskanych

z monitoringu {M2, M3, M4, M5} oraz bazy danych B5 zarówno w czasie rzeczywistym *on-line* lub *off-line*. Analiza gromadzonych informacji jest możliwa z użyciem odpowiednich metod i narzędzi typu FMECA (ang. *Failure Mode, Effects and Criticality Analysis*) i HAZOP (ang. *HAZard and OPerability study*) oraz przedmiotowej wiedzy w zakresie budowy i eksploatacji środka transportu OT. Celem prowadzonych analiz są między innymi: identyfikacja niekorzystnych zdarzeń, identyfikacja źródła niekorzystnych zdarzeń, określenie zakresu prac obsługowych zorientowanych na eliminację źródła i skutku niekorzystnego zdarzenia i sposobu ich wykonania, formułowanie wytycznych w zakresie modernizacji lub adaptacji urządzenia do nowych wymagań użytkownika. Proces decyzyjny PD4 uzupełnia proces decyzyjny PD3 i umożliwia realizację w procesie eksploatacji strategii prewencyjnych obsług typu TPM (ang. *Total Preventive Maintenance*) oraz doskonalenia niezawodności środka transportu typu RCM (ang. *Reliability Centered Maintenance*).

4.2. Ocena skuteczności działania systemu

Dla potrzeb jakościowej oceny procesu eksploatacji systemu sformułowano wskaźnik skuteczności działania. Analiza dostępnej literatury umożliwia stwierdzić, że Autorzy proponują różne wskaźniki [2]. Wskaźnik skuteczności działania systemu można sformułować w postaci [2,3]:

$$E_k = \frac{E_d}{LCC} \quad (4.7)$$

gdzie:

E_k - wskaźnik skuteczności działania systemu w fazach jego życia,

E_d - wskaźnik (współczynnik) skuteczności działania eksploatowanego systemu,

LCC - łączny koszt faz życia systemu (ang. *Life Cycle Costs*).

Cykl życia urządzenia określa przedział czasu od jego powstania aż do jego likwidacji. Szacowanie kosztów LCC ma na celu dostarczenie informacji (danych wejściowych) do podejmowania decyzji dotyczących projektowania, użytkowania, obsługi, modernizacji oraz kasacji urządzenia. Analiza LCC jest najefektywniejsza w fazie projektowania. Z punktu widzenia producenta czy dostawcy wiąże się to z możliwością optymalizacji projektów poprzez ocenę różnych wariantów rozwiązań i poszukiwanie kompromisów między nimi. Z punktu widzenia użytkownika, analiza LCC umożliwia ocenę kosztów związanych z rezultatami różnych koncepcji, sposobów podejść do użytkowania i obsługi urządzenia.

Na podstawie dostępnej literatury [19] jednym ze sposobów przedstawienia kosztów LCC jest zależność:

$$LCC = C_1 + C_2 + C_3 \quad (4.8)$$

gdzie :

C_1 - koszt inwestycji (obejmujący fazy: projektowania, wytwarzania, montażu i rozruchu),

C_2 - koszt eksploatacji (obejmujący koszty użytkowania C_{21} i koszty obsługi C_{22}),

$$C_2 = C_{21} + C_{22} \quad (4.9)$$

C_{21} - obejmuje koszty użytkowania: energii C_{211} , koszt operatora C_{212} ,

$$C_{21} = C_{211} + C_{212} \quad (4.10)$$

C_{22} - obejmuje koszty realizacji procesu obsługi C_{221} (części zamienne, praca operatorów) i koszty strat (powstałe w rezultacie zaistnienia nieprawidłowego stanu niezdatności systemu C_{222}),

$$C_{22} = C_{221} + C_{222} \quad (4.11)$$

C_3 - koszt demontażu i utylizacji systemu.

Przykładowe koszty związane z fazami życia suwnicy pomostowej przedstawiono w tabeli 4.1.

Tabela 4.1. Przykładowe koszty związane z fazami życia suwnicy pomostowej (według PPUH Eko-Energia)

SUWNICA POMOSTOWA	Wybrane dane techniczne: $Q=160[kN]$, $H_p = 10[m]$, $V_p = 5[m/min]$, $V_w = 30[m/min]$, $V_m = 50[m/min]$		CENA NETTO [PLN]*
Koszty inwestycyjne (C_1)	Koszt projektowania (C_{1P}) - dotyczy kosztów związanych z projektem samej suwnicy (bez podtorza i infrastruktury)		80.000,00
	Koszt wytwarzania (C_{1W}) - koszty związane z wykonawstwem mostu i wózka suwnicy, bez wyposażenia w aparaturę, silniki, reduktory, kable itp., założono rozpiętość suwnicy 22m, grupa natężenia pracy A5		1.800.000,00
	Koszt zakupu (C_{1Z}) - koszty aparatury, silników, reduktorów, kabli itp.		180.000,00
	Koszt montażu (C_{1M}) - koszty uwzględniają jedynie montaż części mechanicznych i elektrycznych		38.000,00
	Koszt uruchomienia (C_{1U}) - koszt uwzględnia przeprowadzenie prób statycznych i dynamicznych oraz opłat na rzecz UDT		12.000,00
Koszty eksploatacyjne (C_2)	Faza użytkowania (C_{21})	Koszt zużywanej energii (C_{211}) - koszty określono zakładając prace suwnicy na 1-ną zmianę tj. 8 godz., od godz. 7-15.00, przyjmując współczynnik wykorzystania czasu pracy na poziomie 0,8	99000,00 [zł/rok]
		Koszt operatora (C_{212})	30000,00 [zł/rok]
	Faza obsługiwanie (C_{22})	Koszt części zamiennych (C_{221CZ}) - określono przy założeniach jw. 1 raz w roku remont obejmujący zespoły mechaniczne i elektryczne	60.000,00 [zł/rok]
		Koszt pracy mechaników i elektryków (C_{221M}) - przyjęto, że dla tego typu suwnicy wystarczające jest raz na dwa tygodnie wykonanie przeglądu suwnicy przez mechaników i elektryków	14400,00 [zł/rok]
		Koszty strat spowodowane przez awarie (C_{222})	brak danych
Koszt demontażu (C_{3D}) - obejmuje zdjęcie suwnicy z podtorza z przeznaczeniem na złom			8.000,00
Koszt utylizacji (C_{3U}) - obejmuje pocięcie konstrukcji na tzw. złom wsadowy			66.000,00
Koszt cyklu życia: $LCC = C_1 + C_2 + C_3$			

*) 1 EUR = 4,3870 PLN - Rozporządzenie Prezesa Rady Ministrów z dnia 22 maja 2006 w sprawie średniego kursu złotego w stosunku do euro stanowiącego podstawę przeliczenia wartości zamówień publicznych

Skuteczność działania systemu określana jest w przedziale od 0 do 1. Przykładowo skuteczności działania systemu zaproponowana przez Blanchard'a [8] ma postać:

$$E_d = A \cdot D \cdot J_s \quad (4.12)$$

gdzie:

E_d - skuteczność działania eksploatowanego systemu,

A - gotowość systemu,
D - niezawodność systemu,
Js - jakość systemu.

Współczynnik skuteczności działania systemu sformułowany przez Bergera [7] przedstawia się następująco:

$$E_d = A \cdot D \cdot M \cdot Z \quad (4.13)$$

gdzie:

A - gotowość systemu do wykonywania założonych funkcji,
D - niezawodność systemu w określonym czasie,
M - obsłużywalność systemu w określonym czasie,
Z - zdolność wytwarzania systemu zgodnie z określonym standardem.

Przedstawione wskaźniki zaproponowane przez Blancharda (4.12) i Bergera (4.13) uważane są za dyskusyjne, ponieważ zawierają gotowość i niezawodność, a wiadomym jest że gotowość jest jednym ze wskaźników charakteryzujących niezawodność. Jednak żeby jakkolwiek wskaźnik został przyjęty, musi być zrozumiały i wiarygodny wśród osób, którzy go będą używać.

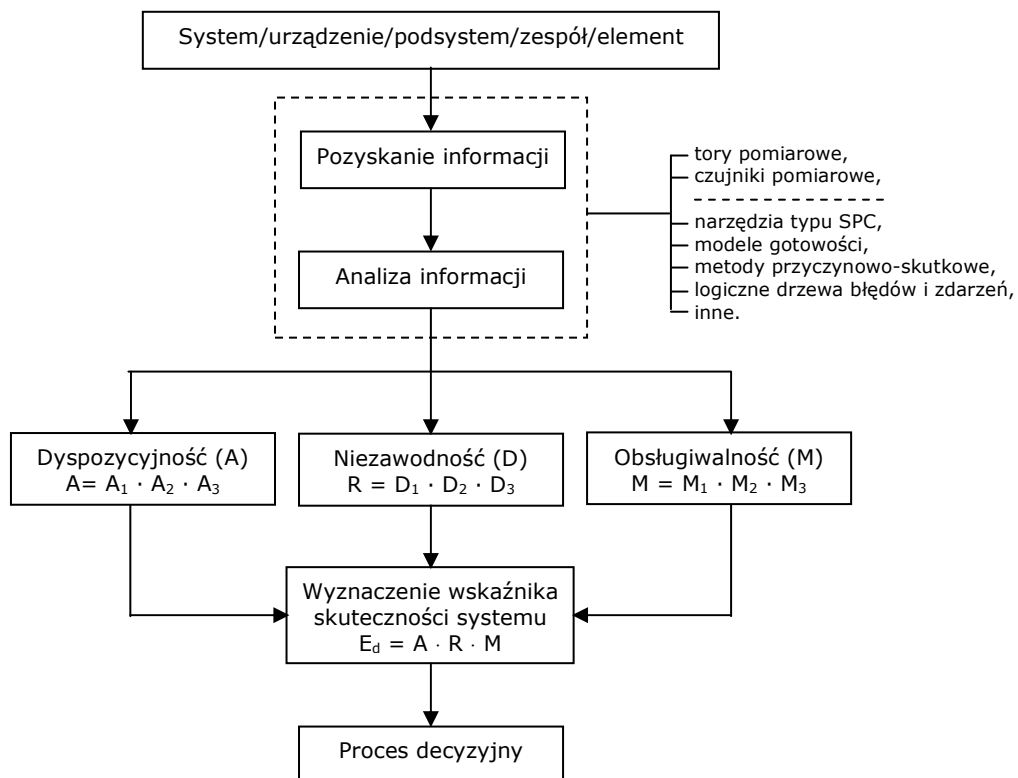
Dla potrzeb pracy przyjęto, że skuteczność całego systemu określona będzie następującą zależnością:

$$E_d = A \cdot D \cdot M \quad (4.14)$$

gdzie:

A - gotowość systemu,
D - niezawodność systemu,
M - obsłużywalność systemu.

Opracowany sposób wyznaczenia wskaźnika skuteczności dla całego systemu przedstawiono na rysunku 4.2.



Rys. 4.2. Sposób wyznaczenia wskaźnika skuteczności działania eksploatowanego systemu

W celu wyznaczenia wskaźnika skuteczności całego systemu należy znać gotowości, niezawodności oraz obsługiwalności dla wyróżnionych podsystemów (rys. 4.1). Składowe mają postać:

$$A = A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \quad (4.15)$$

gdzie:

A_1 - gotowość podsystemu bezpośredniego działania,
 A_2 - gotowość podsystemu wspierającego proces działania,
 A_3 - gotowość podsystemu koordynacji działania.

$$D = D_1 \cdot D_2 \cdot D_3 \quad (4.16)$$

gdzie:

D_1 - niezawodność podsystemu bezpośredniego działania,
 D_2 - niezawodność podsystemu wspierającego proces działania,
 D_3 - niezawodność podsystemu koordynacji działania.

$$M = M_1 \cdot M_2 \cdot M_3 \quad (4.17)$$

gdzie:

M_1 - obsługiwalność podsystemu bezpośredniego działania,
 M_2 - obsługiwalność podsystemu wspierającego proces działania,
 M_3 - obsługiwalność podsystemu koordynacji działania.

Gotowość jest powiązana z czasem trwania zdatności i jest jego miarą uzależnioną od czasu sprawności całego systemu. Często gotowość określana jest jako iloczyn wielu składników, przykładowo:

$$A = A_{\text{urządzeń}} \cdot A_{\text{oprogramowania}} \cdot A_{\text{systemu łączności C-OT}} \cdot A_{\text{interfejsu}} \quad (4.18)$$

Dyspozycyjność obejmuje przykładowo następujące parametry:

- 1) zwiększenie czasu do kolejnego możliwego uszkodzenia (stan niezdatności),
- 2) zmniejszenie czasu przestoju w rezultacie napraw lub planowych obsługa.

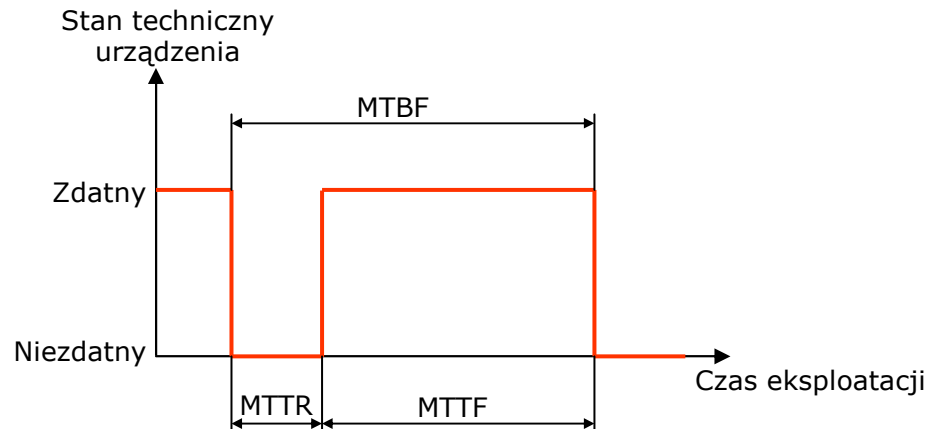
W praktyce eksploatacji systemów używane są następujące terminy gotowości: gotowość właściwa, gotowość zrealizowana oraz gotowość operacyjna.

Gotowość właściwa (A_i) z punktu widzenia pracowników obsługi, (z wyłączeniem przerw obsługi profilaktycznej, opóźnień w zaopatrzeniu i opóźnień organizacyjnych) określana jest jako (rys. 4.3):

$$A_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (4.19)$$

gdzie:

MTBF - średni czas pomiędzy kolejnymi uszkodzeniami urządzenia (ang. *Mean Time Between Failrue*),
 MTTR - średni czas naprawy (ang. *Mean Time To Repair*).



Rys. 4.3. Czasy operacyjne urządzenia [89]: MTBF - średni czas pomiędzy awariami (ang. *Mean Time Between Failrue*), MTTR - średni czas naprawy (ang. *Mean Time To Repair*), MTTF - średni czas do następnej awarii (ang. *Mean Time To Failrue*)

Gotowość zrealizowana (A_a) z punktu widzenia działu obsługi, (zawiera zarówno obsługę remontową i profilaktyczną ale pomija opóźnienia w zaopatrzeniu i opóźnienia organizacyjne) określana jest jako:

$$A_a = \frac{MTBM}{MTBM + MAMT} \quad (4.20)$$

gdzie:

MTBM - średni czas między obsługami systemu (ang. *Mean Time Between Maintenance*),

MAMT - średni czas realizacji obsług na obiekcie (ang. *Mean Active Maintenance Time*).

Gotowość operacyjna (A_o) z punktu widzenia użytkownika, określana jest jako:

$$A_o = \frac{MTBM}{MTBM + MDT} \quad (4.21)$$

gdzie:

MDT - oczekiwany czas przestoju z przyczyn wewnętrznych (ang. *Mean Down Time*).

Niezawodność D jest zespołem właściwości urządzenia (systemu), o określonym potencjale eksploatacyjnym PE, którą opisuje gotowość urządzenia A i wpływające na nią: niezuszkodzalność (ang. *reliability*), obsługiwalność (ang. *maintainability*), zapewnienie środków obsługi (ang. *maintenance support performance*) [103, 113], a ponadto zapewnienie produktów zasilających. Niezawodność eksploatacyjna urządzenia jest właściwością obiektu charakteryzującą w sposób kompleksowy jego zdolność do użytkowania i obsługi w określonych warunkach i w określonym przedziale czasu [110].

Niezawodność D jest to prawdopodobieństwo działania urządzenia (systemu) w założonym okresie czasu. Nieuszkodzalność R jest zdolnością urządzenia do wypełniania wymaganych funkcji (działań) w danych warunkach i przedziale czasu nie przerwaniem uszkodzeniem:

$$R(t) = \exp\left(\frac{-t}{MTBF}\right), \quad \lambda(t) = \frac{1}{MTBF} \quad (4.22)$$

gdzie:

λ - intensywność uszkodzenia urządzenia,
 t - założony czas obserwacji procesu eksploatacji systemu.

Nieuszkodzalność można przedstawić także jako iloczyn wyróżnionych składowych:

$$R = R_{\text{urządzeń}} \cdot R_{\text{oprogramowania}} \cdot R_{\text{systemu łączności}} \cdot R_{\text{interfejsu C-OT}} \quad (4.23)$$

Doskonalenie nieuszkodzalności systemu wiąże się najczęściej ze zwiększonymi kosztami inwestycyjnymi, ale pozwala oczekiwać lepszej dyspozycyjności, zmniejszenia czasu możliwych przestojów i mniejszych kosztów obsługi, ponieważ urządzenia stają się bezawaryjne w dłuższych okresach czasu.

Obsługiwalność M wyraża prawdopodobieństwo skutecznego prowadzenia obsługi urządzenia zgodnie z określonymi procedurami w założonym okresie czasu. Jest zdolnością urządzenia do utrzymania lub odtworzenia jego wymaganego potencjału eksploatacyjnego dla użytkownika w określony sposób oraz w określonych warunkach. Istotnym dla procesu obsługi jest zapewnienie środków obsługi (ang. *maintenance support performance*). Zapewnienie środków obsługi określa zdolność (potencjał) organizacji zajmującej się obsługą do utrzymania lub odtworzenia wymaganego potencjału eksploatacyjnego urządzenia (systemu).

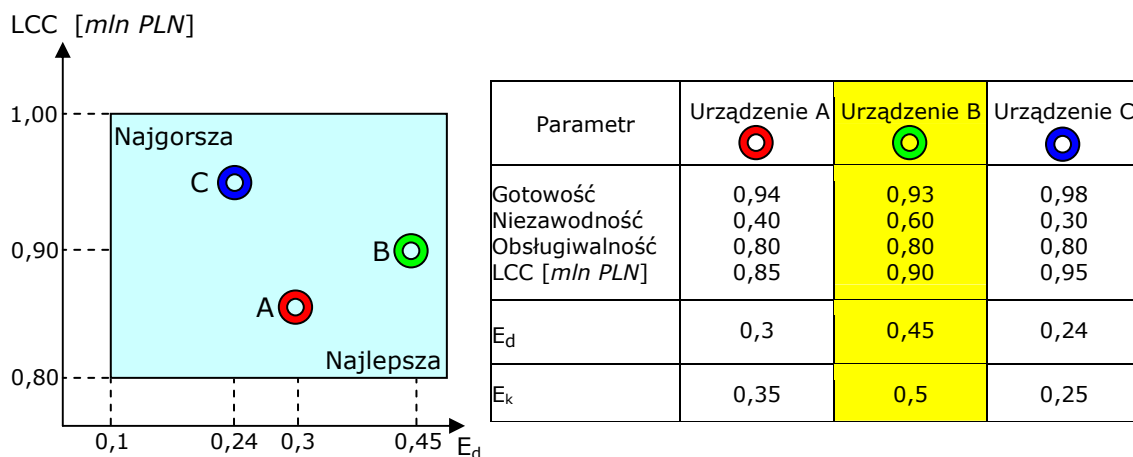
Podstawowym wskaźnikiem obsługiwalności jest najczęściej oczekiwany średni czas pomiędzy awariami (MTBF) i limit maksymalnego czasu naprawy. Jakościowo wiąże się to z łatwością jaką sprzęt i oprogramowanie są przywracane do stanu używalności. Wartościowo wyraża się poprzez prawdopodobieństwo mierzone całkowitym czasem przestoju obsługi obejmującym przykładowo: diagnozę, wykrywanie i usuwanie usterek, usunięcie/wymianę, czas aktywnej naprawy, testy kontrolne stosowne do naprawy. Obsługiwalność jest określana jako:

$$M(t) = 1 - \exp\left(\frac{-t}{MTBF}\right) \quad (4.24)$$

Analizę źródła niezadowolającego wskaźnika skuteczności działania systemu można zrealizować z użyciem opisanych metod FTA, ETA, FMECA, HAZOP oraz SPC. Różnią się one między sobą przede wszystkim sposobem postępowania podczas analizy informacji o danym urządzeniu (systemie) oraz zasobem informacji niezbędnym do przeprowadzenia przedmiotowej analizy. Różny jest ich zakres zastosowań. Zastosowanie jednej metodyki może być czasami niewystarczające, wówczas korzystne jest zastosowanie kilku metod. Wyniki analiz można przedstawić w postaci ilościowej, wyznaczając prawdopodobieństwo wystąpienia określonego, niekorzystnego następstwa zagrożenia, lub jakościowej, podając ustalony wskaźnik związany z zagrożeniem. Wybierając metodę analizy należy pamiętać, że:

- jest ona odpowiednia dla analizowanego obiektu (procesu) i że dostępne są niezbędne do przeprowadzenia analizy informacje (dane uzyskane z badań),
- można ją przeprowadzić w określonym czasie,
- dostępne są odpowiednie zasoby, niezbędne do jej przeprowadzenia.

Praktyczne wykorzystanie wyróżnionych wskaźników przedstawiono na rysunku 4.4, dla trzech przykładowych urządzeń (suwnic pomostowych): A,B,C.



Rys. 4.4. Przykład analizy kosztów LCC w funkcji współczynnika skuteczności działania wybranych systemów

Przykład przedstawiony na rysunku 4.5 pokazuje zależność LCC i skuteczności działania urządzenia. Najniższy koszt LCC nie zawsze jest jedynym wyznacznikiem sugerującym wybór najbardziej optymalnego rozwiązania. Z przedstawionych powyżej urządzeń (A,B,C) najbardziej optymalnym rozwiązaniem jest rozwiązanie dla urządzenia B, ponieważ ma najwyższy wskaźnik skuteczności działania całego systemu.

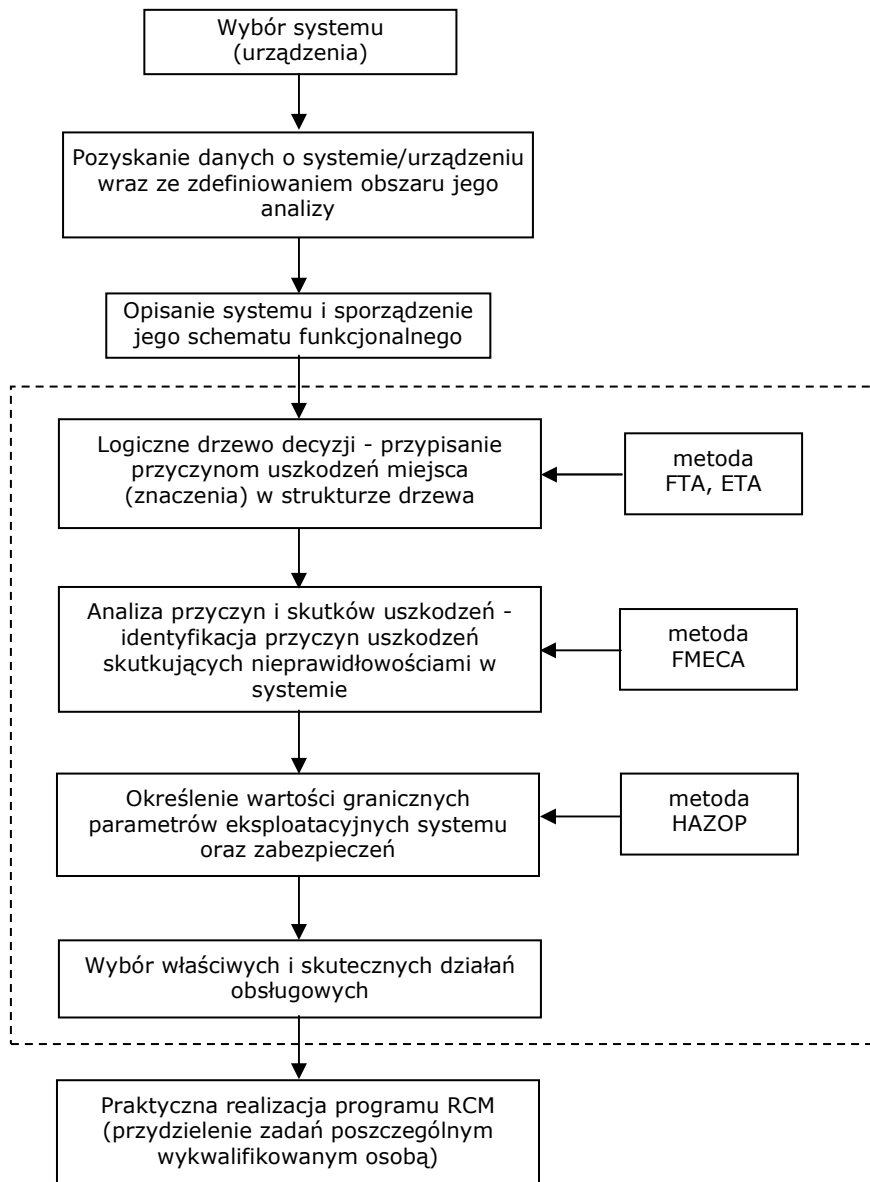
4.3. Doskonalenie nieuszkodzalności systemu

Doskonalenie nieuszkodzalności systemu technicznego jest możliwe z wykorzystaniem metody RCM. Metoda RCM (ang. *Reliability Centered Maintenance*) zorientowana jest na zwiększenie bezpieczeństwa i niezawodności systemu i pozwala na:

- identyfikację uszkodzeń funkcjonalnych, które mogą zostać wykryte przez monitoring przed ich zaistnieniem,
- identyfikację uszkodzeń wymagających natychmiastowej obsługi,
- opracowanie diagnostyki służącej wykrywaniu źródeł uszkodzeń.

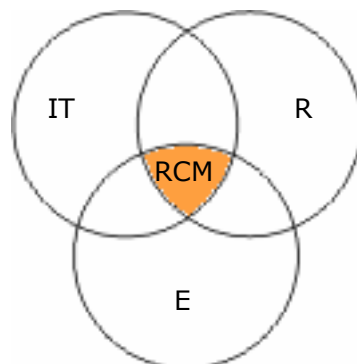
Celem RCM nie jest całkowita eliminacja wystąpienia awarii, ale zabezpieczenie systemu/urządzenia przed wystąpieniem awarii lub, jeśli to możliwe, zminimalizowanie ich, a także zmniejszenie kosztów eksploatacyjnych związanych z przypadkowymi awariami. Z doświadczeń ekspertów i pracowników obsługi wynika, że metoda RCM dostarcza ważnych informacji o krytyczności poszczególnych podsystemów oraz o najbardziej odpowiedniej metodzie ich obsługi.

Opracowany algorytm poszczególnych etapów metody RCM został przedstawiony na rysunku 4.5.



Rys. 4.5. Algorytm realizacji metody RCM

Metoda RCM określa niezbędne wymagania w zakresie zapewnienia łącznego potencjału eksploatacyjnego systemu. Graficzny sposób analizy RCM przedstawia rysunek 4.6.



Rys. 4.6. Schemat graficzny metody RCM

Metoda RCM zawiera obszary z różnych dziedzin, przykładowo:

- technologii informacji (IT):
 - narzędzia (sensory) pozyskiwania informacji,
 - narzędzia transmisji danych,
 - narzędzia gromadzenia danych,
 - metody budowy baz danych (ang. *data mining*),
 - metody zarządzania wiedzą (ang. *knowledge management*),
 - metody prezentacji danych.

- niezawodności eksploatacyjnej (R):
 - modele niezawodnościowe systemu,
 - modele obsługiwalności systemu,
 - korekcyjne CM (ang. *Corrective Maintenance*),
 - profilaktyczne PM (ang. *Preventive Maintenance*),
 - według bieżącego stanu technicznego CBM (ang. *Condition Based Maintenance*),
 - inspekcje i kontrole (ang. *inspections and controls*),
 - modele gotowości systemu,
 - narzędzia typu FTA, HAZOP, FMECA,
 - statystyczne narzędzia prezentacji zdarzeń typu SPC: schematy blokowe, diagramy Ishikawy, diagramy Pareto, karty kontrolne, histogramy, itp.

- ekonomii eksploatacji (E):
 - analiza ryzyka eksploatacji systemu,
 - wskaźniki oceny skuteczności działania eksploatowanego systemu (E_d),
 - metody optymalizacji systemu z uwzględnieniem kosztów jego faz życia (LCC).

Przedstawiona metodyka nadzorowania procesu eksploatacji środków transportu z wykorzystaniem sformułowanych narzędzi, metod oraz wskaźników, może być stosowana dla dowolnego procesu transportowo-produkcyjnego z użyciem n -tej liczby środków transportu rozproszonych w przestrzeni roboczej.

5. PODSYSTEM BEZPOŚREDNIEGO DZIAŁANIA

W ostatnich latach obserwuje się znaczącą ewolucję w rozwoju systemów transportowo-produkcyjnych w kierunku ich automatyzacji, wykorzystania technik informacyjnych typu IT (ang. *Information Technology*) oraz sztucznej inteligencji. Celem tych procesów jest minimalizowanie roli człowieka, jako słabego ogniwa w systemie operator-maszyna-otoczenie (C-OT-O). Postrzeganie człowieka jest zwrócone na następujące obszary tematyczne: sterowanie urządzeniem z użyciem operatora i jego odpowiedzialność, upowszechnienie umiejętności i doświadczeń oraz formułowanie zadań do realizacji. Dąży się do zapewnienia oczekiwanego poziomu bezpieczeństwa i niezawodności eksploatacyjnej urządzenia oraz akceptowalnego kosztu eksploatacji.

5.1. Charakterystyka systemu

W podsystemie bezpośredniego działania (rys. 5.1) uwaga jest skoncentrowana na działaniu, które realizowane jest przez środek transportowy we współpracy z operatorem. Celem tego procesu jest określenie działania zorientowanego na przedmiot (ładunek). Aby proces mógł zachodzić muszą być określone produkty wejściowe, typu:

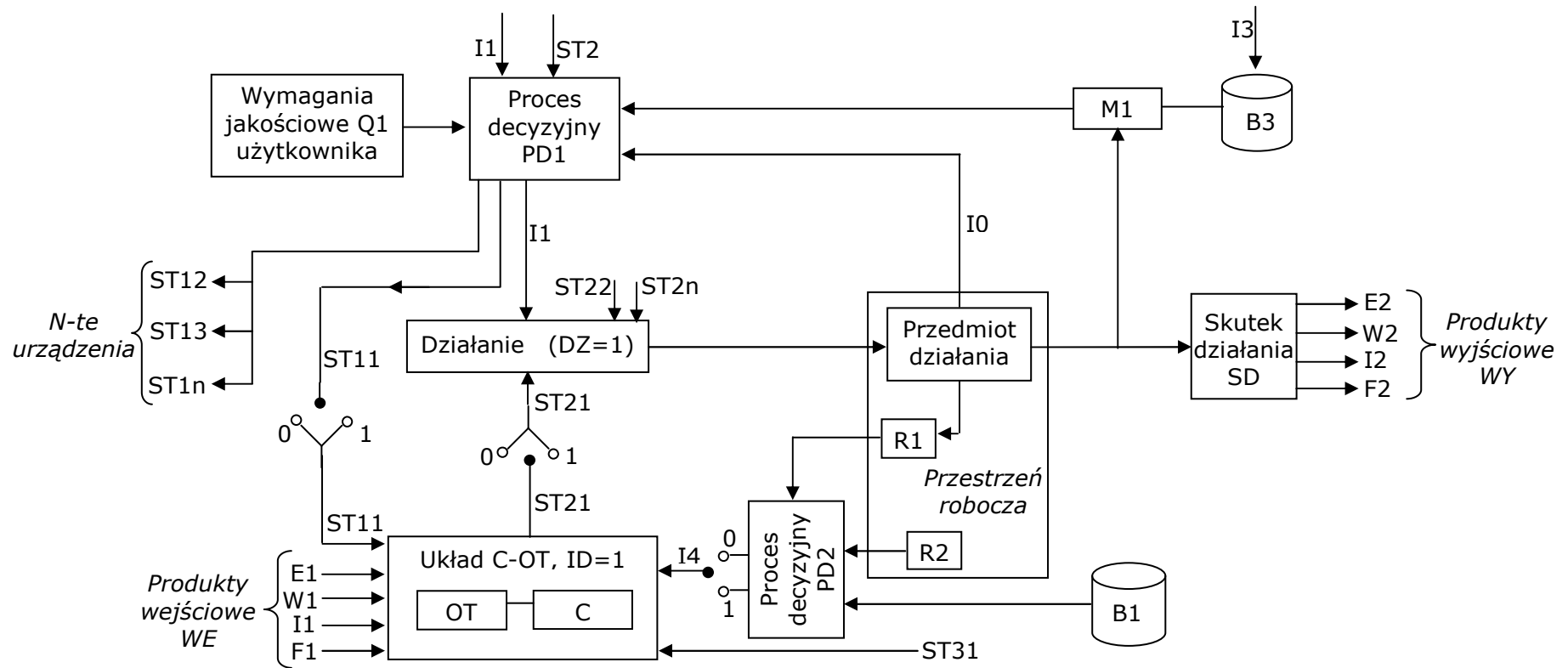
- energetycznego (E), które są niezbędne do realizacji działania człowieka (przykładowo: sen, wypoczynek, posiłek) a także urządzenia (energia elektryczna i hydrauliczna, inna),
- informacyjnego (I), obejmującego informacje pozyskane przez operatora z wykorzystaniem jego organów lub z użyciem sensorów dla potrzeb operatora lub układów automatyki,
- finansowego (F) - obejmującego koszty realizacji zadania,
- nabyta wiedza i umiejętności (W) operatora lub zgromadzona w formie elektronicznej dla potrzeb automatyki.

W realizacji przedmiotowego działania z użyciem urządzenia produkty wejściowe (W1, I1, E1, F1) są przedmiotem transformacji na produkty wyjściowe (W2, I2, E2, F2), które wyrażają poziom spełnienia oczekiwań użytkownika. Może być wyrażony poprzez wskaźnik jakościowej oceny zrealizowanych działań (przykładowo: czas i koszt realizacji zadania, dokładność pozycjonowania).

Istotną rolę w systemach produkcyjnych pełnią urządzenia transportowe zorientowane na przedmiot działania, produkt oczekiwany przez człowieka. Działanie jest celowym, świadomym i ukierunkowanym zachowaniem człowieka lub zespołu ludzi realizowanym z pomocą określonych urządzeń lub narzędzi odpowiednio sterowanych.

Skutek procesu działania układu C-OT poddany jest monitoringowi (M1) i porównywany zgodnie z oczekiwaniami użytkownika, to znaczy czy zadanie jest zakwalifikowane jako zrealizowane bądź też nie. Przedmiotem monitoringu w tym podsystemie jest:

- ładunek charakteryzujący się:
 - określonymi właściwościami,
 - masą Q,
 - położeniem w przestrzeni roboczej,
 - celowym działaniem (oczekiwania w zakresie położenia ładunku w przestrzeni roboczej),

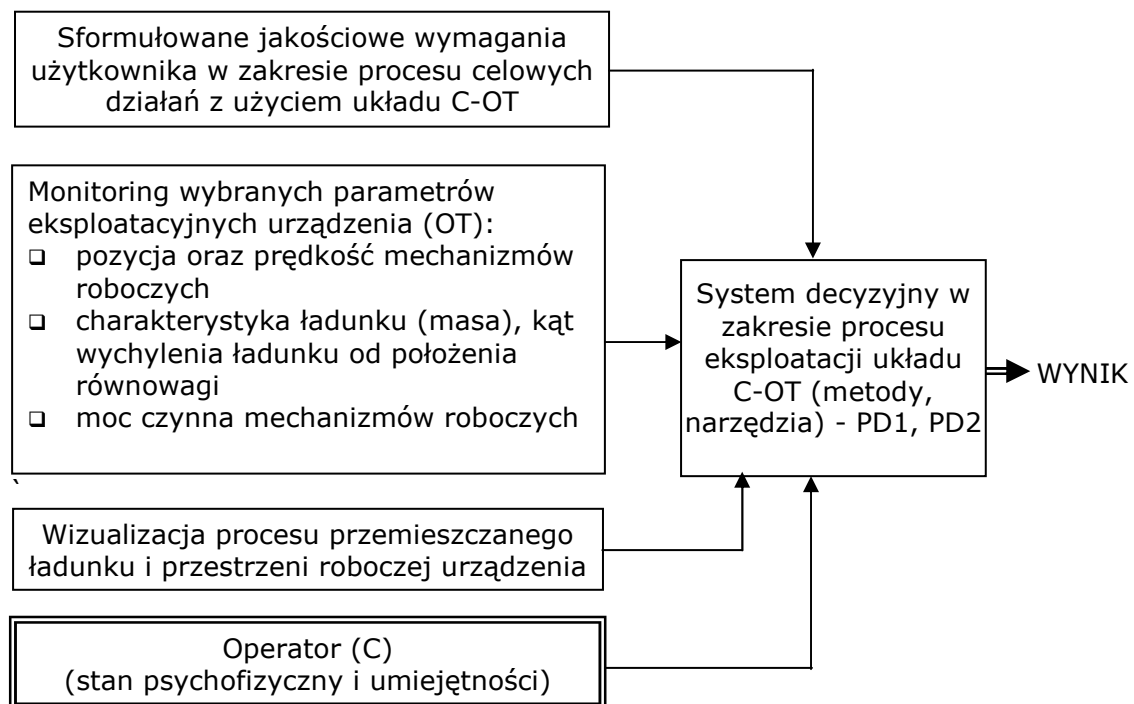


Rys. 5.1. Schemat blokowy podsystemu bezpośredniego działania

- ❑ czas realizacji zadania przez urządzenie,
- ❑ zużyta energia na realizację zadania,
- ❑ zmiana potencjału eksploatacyjnego urządzenia i operatora (czy zadanie może być wykonane), a w szczególności: skutek zdarzenia, przyczyna zdarzenia, przedmiot zdarzenia, czas obsługi i jej zakres, koszt obsługi oraz inne koszty umożliwiające wykonanie zadania,
- ❑ trajektoria ruchu urządzenia.

Współczesne systemy sterowania i monitorowania procesów eksploatacji środków transportu coraz częściej realizują zaawansowane funkcje, związane z realizacją algorytmów sterowania, zbierania, archiwizowania i wizualizacji zmiennych procesowych, zarządzania alarmami lub generowania podstawowych raportów dotyczących poziomu i jakości realizacji działania. Jednocześnie można zaobserwować znaczny wzrost złożoności systemów, szczególnie w warstwie przetwarzania informacji. Dla osób nadzorujących proces transportowy dostępnych jest coraz więcej źródeł przedmiotowych informacji różniących się stopniem szczegółowości i poziomem rozproszenia.

Opracowany proces pozyskiwania informacji dla suwnicy pomostowej przedstawiono na rysunku 5.2.



Rys. 5.2. Proces budowy systemu decyzyjnego w zakresie eksploatacji urządzenia

Sposób wykorzystywania pozyskanych danych obejmuje:

- ❑ zadanie realizowane przez urządzenie sterowane z wykorzystaniem odpowiedniej techniki (proces użytkownika),
- ❑ zmianę warunków otoczenia w procesie eksploatacji urządzenia,
- ❑ historię występowania określonych uszkodzeń (stanów niezdatności) urządzenia i jego podsystemów, przyczyny ich powstawania,
- ❑ zakres prac zorientowanych na przywrócenie urządzenia do wymaganego stanu technicznego (proces obsługi, historia obsługi),
- ❑ czasy wykonywania obsługi urządzenia,

- ❑ wartości graniczne parametrów eksploatacyjnych suwnic dla potrzeb kwalifikacji urządzenia/zespołu do określonego stanu zdatności lub niezdatności eksploatacyjnej.

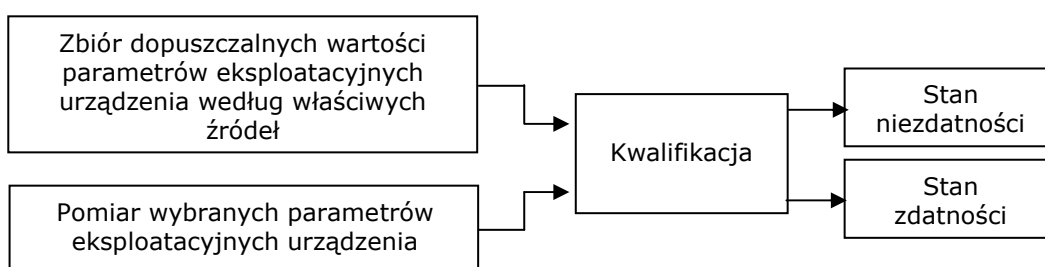
Sposób pozyskiwania danych:

- ❑ dokumentacja pisemna, uzupełniona przez obsługę urządzenia zgodnie z obowiązującymi przepisami (przykładowo: ukierunkowane na pozyskiwanie od operatorów określonych informacji i wiedzy o procesie eksploatacji urządzenia),
- ❑ ankiety przedmiotowe,
- ❑ w układzie *on-line* z punktów pomiarowych eksploatowanego urządzenia.

W wyróżnionym podsystemie zachodzą procesy decyzyjne zorientowane na przedmiot działania PD2 oraz na jego realizację PD1. Proces decyzyjny PD1 obejmuje wymagania jakościowe Q1 użytkownika, które to wyrażane są funkcją bezpieczeństwa całego układu (B1), gotowością całego układu (A1) oraz kosztami eksploatacji (C1).

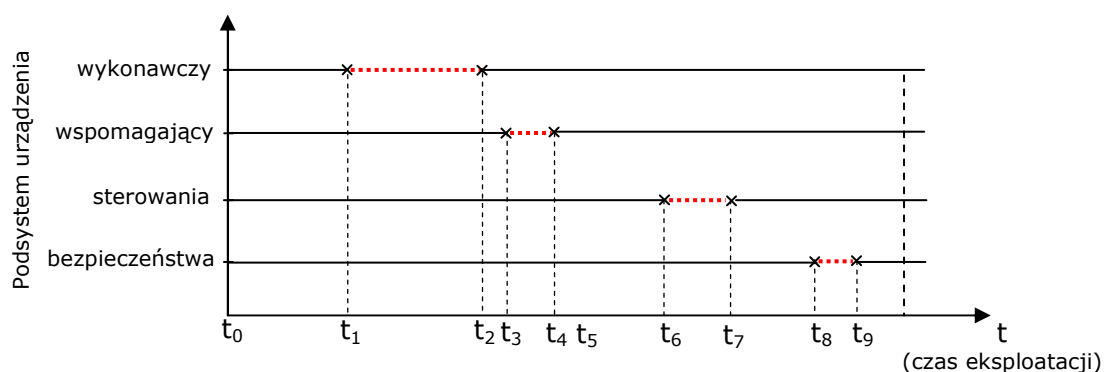
5.2. Proces decyzyjny PD1 w zakresie realizacji działania

Każde urządzenie podlega klasyfikacji do stanu zdatności lub niezdatności w rezultacie którego wymagany jest proces obsługiwanego (rys. 5.3).



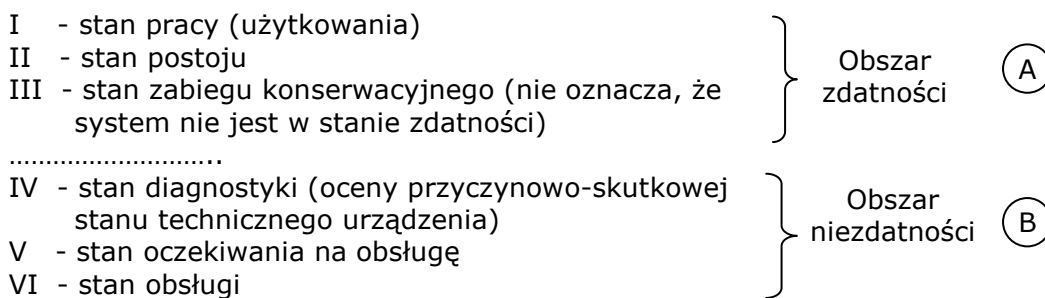
Rys. 5.3. Klasyfikacja stanu urządzenia

Na rysunku 5.4 przedstawiono przykładowe czasy eksploatacji wybranych podsystemów suwnicy pomostowej. Urządzenie może znajdować się w dwóch stanach: w stanie pracy i w stanie naprawy. W stanie pracy obiekt realizuje swoje funkcje (linia czarna, ciągła), a w stanie naprawy następuje odtworzenie stanu zdatności obiektu po jego uszkodzeniu (linia czerwona, przerywana).

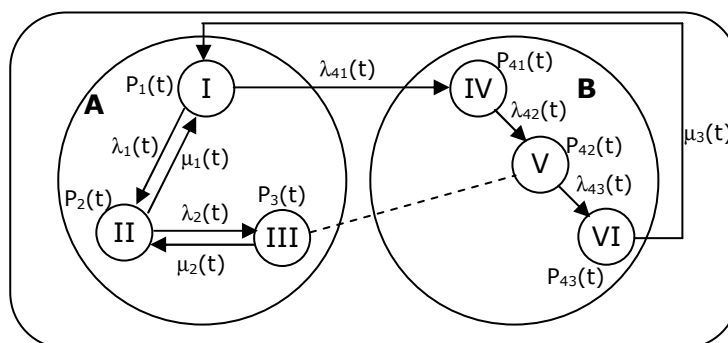


Rys. 5.4. Przykładowe przedziały zdatności i niezdatności eksploatacji dla wybranych podsystemów suwnicy pomostowej

Proces eksploatacji suwnicy pomostowej można przedstawić również następująco :



Przejście suwnicy pomostowej ze stanu A do stanu B, może pociągać za sobą przejście z obszaru zdatności do obszaru niezdatności, co następuje w wyniku uszkodzenia suwnicy, końca dnia pracy, zabiegu konserwacyjnego, itp. Prawidłowe również jest przyjęcie stanów suwnicy w kolejności przedstawionej na rysunku 5.5.



Rys. 5.5. Schemat zmiany stanów suwnicy pomostowej

gdzie:

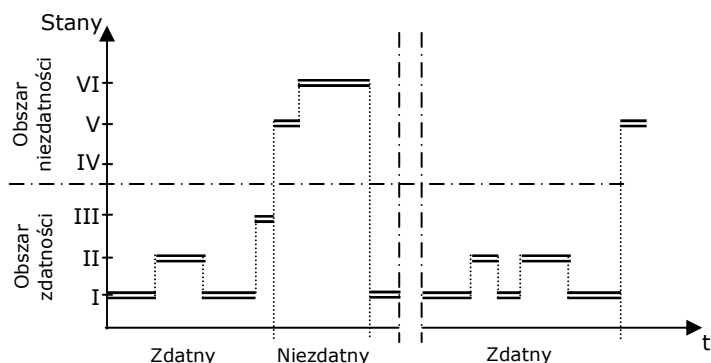
- $P_1(t)$ - prawdopodobieństwo przebywania urządzenia w stanie zdatności, to jest użytkowania (pracy) w chwili t ,
- $P_2(t)$ - prawdopodobieństwo przebywania urządzenia w chwili t w stanie zdatności, to jest oczekiwania na realizację działania (postój),
- $P_3(t)$ - prawdopodobieństwo przebywania urządzenia w chwili t w stanie zdatności to jest konserwacji urządzenia,
- $P_4(t)$ - prawdopodobieństwo przebywania urządzenia w stanie niezdatności technicznej (niegotowości) w chwili t i oczekiwania na obsługę P_{41} , obsługę P_{42} , obsługę P_{43} .

- $\lambda_1(t)$ - intensywność przejścia od stanu pracy do stanu postoju,
- $\lambda_2(t)$ - intensywność przejścia od stanu postoju do stanu konserwacji,
- $\lambda_3(t)$ - intensywność przejścia od stanu pracy do stanu obsługiwanego,

- $\mu_1(t)$ - intensywność przejścia ze stanu postoju do stanu użytkowania (pracy),
- $\mu_2(t)$ - intensywność przejść ze stanu konserwacji do stanu użytkowania (postój),
- $\mu_3(t)$ - intensywność przejść ze stanu obsługiwanego do stanu użytkowania (pracy),

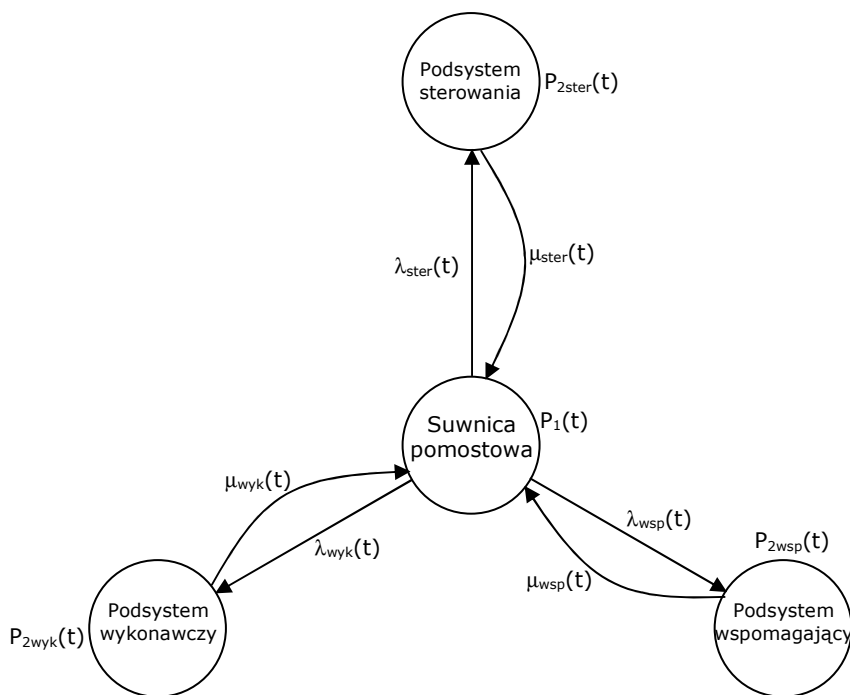
W przypadku wystąpienia uszkodzenia, urządzenie przejdzie kolejno przez stan IV (diagnostyka), stan V (oczekiwanie na naprawę), stan VI (naprawa) i powróci do stanu I (praca). Jeżeli suwnica ze stanu VI ma przejść do stanu II (np. koniec dnia

pracy), to przejście takie również odbywa się przez stan I, wtedy czas przebywania w stanie I może być bardzo krótki, może niejako odpowiadać faktowi, że suwnica jest w stanie pracy i może przejść natychmiast do stanu II (postój) - rysunek 5.6.



Rys. 5.6. Graficzny sposób przedstawienia procesu eksploatacji suwnicy pomostowej

Systemy typu C-OT charakteryzują się odwracalnością stanów zawodności w rezultacie zastosowania obsługi (odnów). Przykładowy model suwnicy pomostowej z wyróżnionymi podsystemami o dwóch stanach gotowości (zdatny, niezdatny) przedstawiono na rysunku 5.7.



Rys. 5.7. Model niezawodnościowy suwnicy pomostowej złożony z podsystemów o dwóch stanach gotowości

Przyjęto, że suwnica pomostowa składa się z niezależnych od siebie podsystemów (wykonawczego, wspomagającego, sterowania) posiadających strukturę szeregową. W chwili uszkodzenia jakiegokolwiek elementu (wyróżnionych podsystemów) następuje utrata gotowości urządzenia. Następnie uszkodzony element zostaje poddany obsłudze podczas, której przywracana jest gotowość systemu.

Struktura przedstawionego modelu obejmuje:

$P_1(t)$ - prawdopodobieństwo przebywania urządzenia w stanie gotowości w chwili t ,

$P_{2wyk}(t)$, $P_{2wsp}(t)$, $P_{2ste}(t)$ - prawdopodobieństwo przebywania wyróżnionych podsystemów urządzenia w stanie niegotowości w chwili t ,

$\lambda_{wyk}(t)$, $\lambda_{wsp}(t)$, $\lambda_{ste}(t)$ - intensywność przejścia od stanu oczekiwania (realizacji działania) do stanu obsługiwanego (intensywność uszkodzenia),

$\mu_{wyk}(t)$, $\mu_{wsp}(t)$, $\mu_{ste}(t)$ - intensywność przejścia ze stanu obsługiwanego do stanu użytkowania (gotowości).

Układ równań w tym przypadku ma postać:

$$P'_1(t) = \{-P_1(t) \cdot [\lambda_{wyk}(t) + \lambda_{wsp}(t) + \lambda_{ste}(t)] + [P_{2wyk}(t) \cdot \mu_{wyk}(t) + P_{2wsp}(t) \cdot \mu_{wsp}(t) + P_{2ste}(t) \cdot \mu_{ste}(t)]\} \quad (5.1)$$

$$P'_{2wyk}(t) = P_1(t) \cdot \lambda_{wyk}(t) - P_{2wyk}(t) \cdot \mu_{wyk}(t) \quad (5.2)$$

$$P'_{2wsp}(t) = P_1(t) \cdot \lambda_{wsp}(t) - P_{2wsp}(t) \cdot \mu_{wsp}(t) \quad (5.3)$$

$$P'_{2str}(t) = P_1(t) \cdot \lambda_{str}(t) - P_{2str}(t) \cdot \mu_{str}(t) \quad (5.4)$$

$$P_1(t) + P_{2wyk}(t) + P_{2wsp}(t) + P_{2ste}(t) = 1 \quad (5.5)$$

Zakładając, że $\lambda_{wyk}(t) = \lambda_{wyk}$, $\lambda_{wsp}(t) = \lambda_{wsp}$, $\lambda_{ste}(t) = \lambda_{ste}$ oraz $\mu_{wyk}(t) = \mu_{wyk}$, $\mu_{wsp}(t) = \mu_{wsp}$, $\mu_{ste}(t) = \mu_{ste}$ otrzymano następujące równania:

$$P_1 = \frac{1}{1 + \frac{\lambda_{wyk} + \lambda_{wsp} + \lambda_{ste}}{\mu_{wyk} + \mu_{wsp} + \mu_{ste}}} \quad (5.6)$$

$$P_{2wyk} = \frac{\lambda_{wyk}}{\mu_{wyk} \left(1 + \frac{\lambda_{wyk} + \lambda_{wsp} + \lambda_{ste}}{\mu_{wyk} + \mu_{wsp} + \mu_{ste}} \right)} \quad (5.7)$$

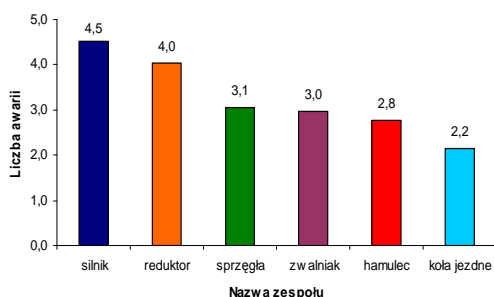
$$P_{2wsp} = \frac{\lambda_{wsp}}{\mu_{wsp} \left(1 + \frac{\lambda_{wyk} + \lambda_{wsp} + \lambda_{ste}}{\mu_{wyk} + \mu_{wsp} + \mu_{ste}} \right)} \quad (5.8)$$

$$P_{2ste} = \frac{\lambda_{ste}}{\mu_{ste} \left(1 + \frac{\lambda_{wyk} + \lambda_{wsp} + \lambda_{ste}}{\mu_{wyk} + \mu_{wsp} + \mu_{ste}} \right)} \quad (5.9)$$

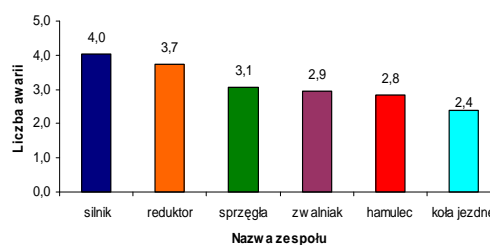
Wyznaczone prawdopodobieństwo przebywania systemu/urządzenia w określonych stanach technicznych jest konsekwencją właściwości urządzenia, produktów wejściowych oraz skutecznością procesów sterowania jego ruchami roboczymi a także procesów obsługiwanian.

Na podstawie zarejestrowanych zdarzeń możliwa jest ilościowa i jakościowa ocena uszkodzeń zespołów urządzenia i analiza przyczynowo-skutkowa obserwowanych zdarzeń.

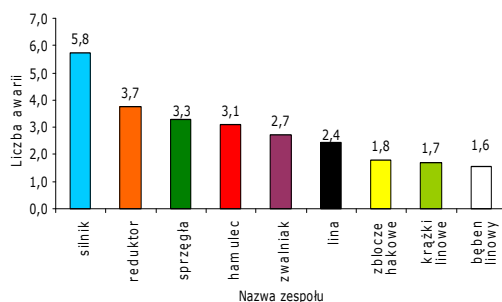
Na rysunkach 5.8÷5.10 przedstawiono przykładowe wyniki badań awarii dla mechanizmów ruchu suwnicy pomostowej. Dane otrzymano z badań ankietowych przeprowadzonych przez Autora rozprawy na użytkownikach suwnic. Badaniu zostały poddane 33 suwnice pomostowe (tabela 7.1). Horyzont czasowy badań obejmował okres 41 miesięcy.



Rys. 5.8. Charakterystyka uszkodzeń zespołów suwnicy pomostowej dla mechanizmu jazdy mostem

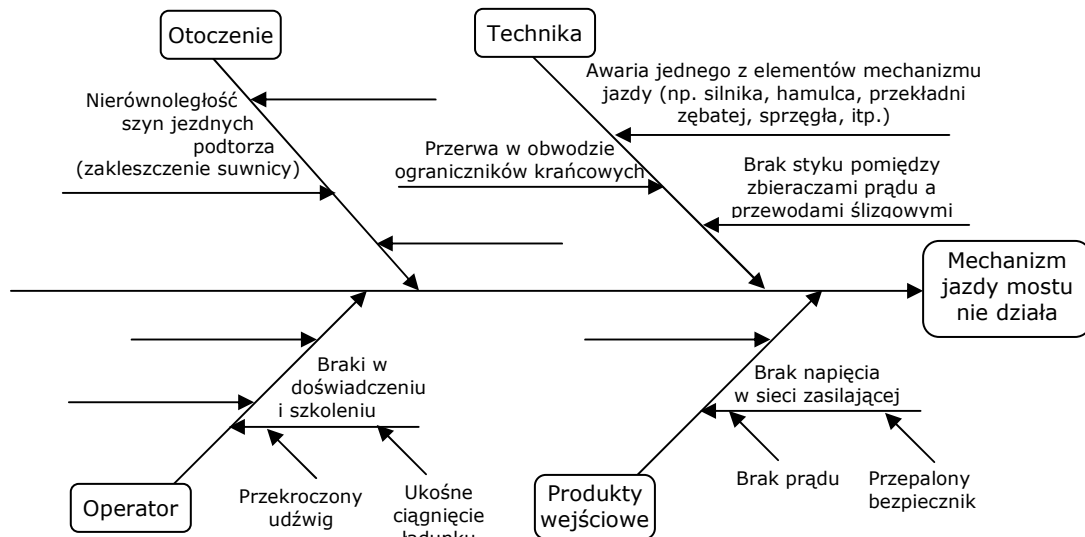


Rys. 5.9. Charakterystyka uszkodzeń zespołów suwnicy pomostowej dla mechanizmu jazdy wózkiem



Rys. 5.10. Charakterystyka uszkodzeń zespołów suwnicy pomostowej dla mechanizmu podnoszenia

Innym sposobem identyfikacji przyczyn zaistniałego zdarzenia jest analiza z wykorzystaniem diagramu przyczynowo-skutkowego Ishikawy. Przykładową analizę przedstawiono na przykładzie awarii mechanizmu jazdy mostu suwnicy pomostowej (rys. 5.11).



Rys. 5.11. Przykład zastosowania diagramu Ishikawy dla mechanizmu jazdy suwnicy pomostowej

Przedstawione zestawienie zdarzeń zachodzących w procesie realizacji określonych działań z użyciem układu C-OT mogą być przedmiotem wizualnych prezentacji z wykorzystaniem narzędzi typu: schematy blokowe, diagramy Pareto, histogramy, arkusze kontrolne, wykresy korelacji, karty kontrolne i inne, na podstawie których możliwe jest podejmowanie właściwych decyzji.

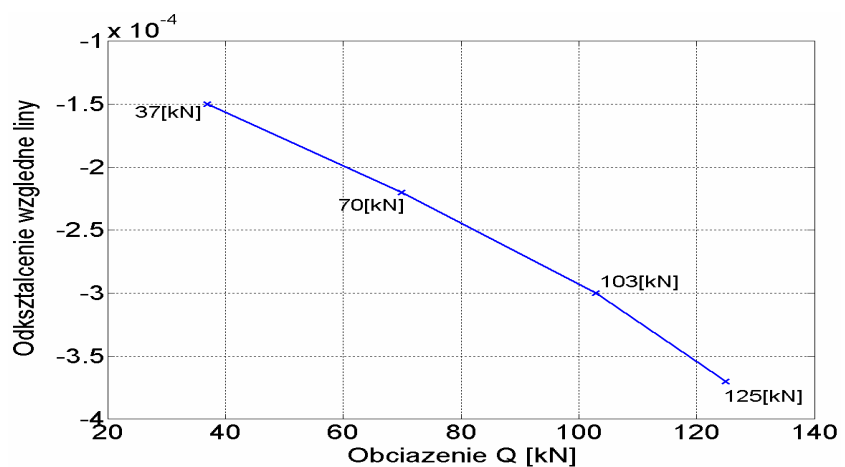
Dla potrzeb decyzyjnych istotnym jest znajomość historii realizowanych celowych działań, a w szczególności masa przemieszczanego ładunku oraz położenia wyróżnionych mechanizmów ruchu (wyrażanych trajektorią ruchu organu wykonawczego urządzenia), a ponadto kosztów realizowanego procesu.

Pomiar mas przemieszczanego ładunku można realizować przy pomocy tradycyjnej wagi hakowej (rys. 5.12) lub z użyciem specjalnie opracowanego przyrządu pomiarowego (rys. 5.14) wykorzystującego pośredni pomiar wydłużenia odkształcanej liny na badanej bazowej jej długości.

Przykładową charakterystykę zmiany odkształcenia liny w funkcji przemieszczanego ładunku dla badanej suwnicy pomostowej o udźwigu $Q=125[\text{kN}]$ przedstawiono na rysunku 5.13.

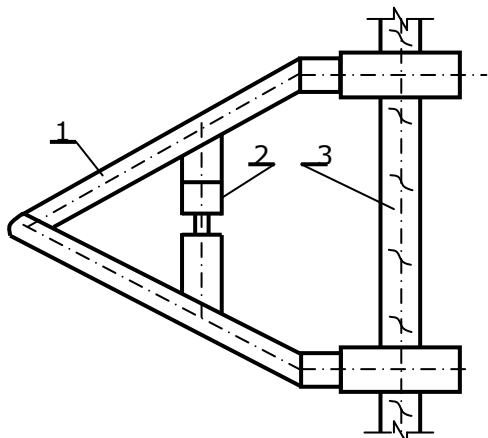


Rys. 5.12. Waga hakowa

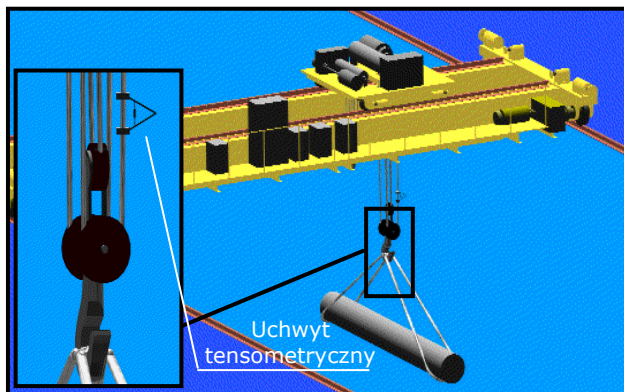


Rys. 5.13. Przykładowa charakterystyka zmiany odkształcenia w liny w funkcji zmiany masy przemieszczanego ładunku dla suwnicy o udźwigu $Q=125[\text{kN}]$

Dla potrzeb wyznaczenia charakterystyki (rys. 5.13) na suwnicy pomostowej przemysłowej ($Q=125\text{kN}$, $L=16\text{m}$) przeprowadzono eksperymenty obciążenia wózka umieszczonego na środku rozpiętości mostu suwnicy dla różnych przemieszczanych ładunków (rys. 5.15). Układ pomiarowy składał się z przyrządu pomiarowego, tensometru indukcyjnego, mostka pomiarowego oraz komputera PC.

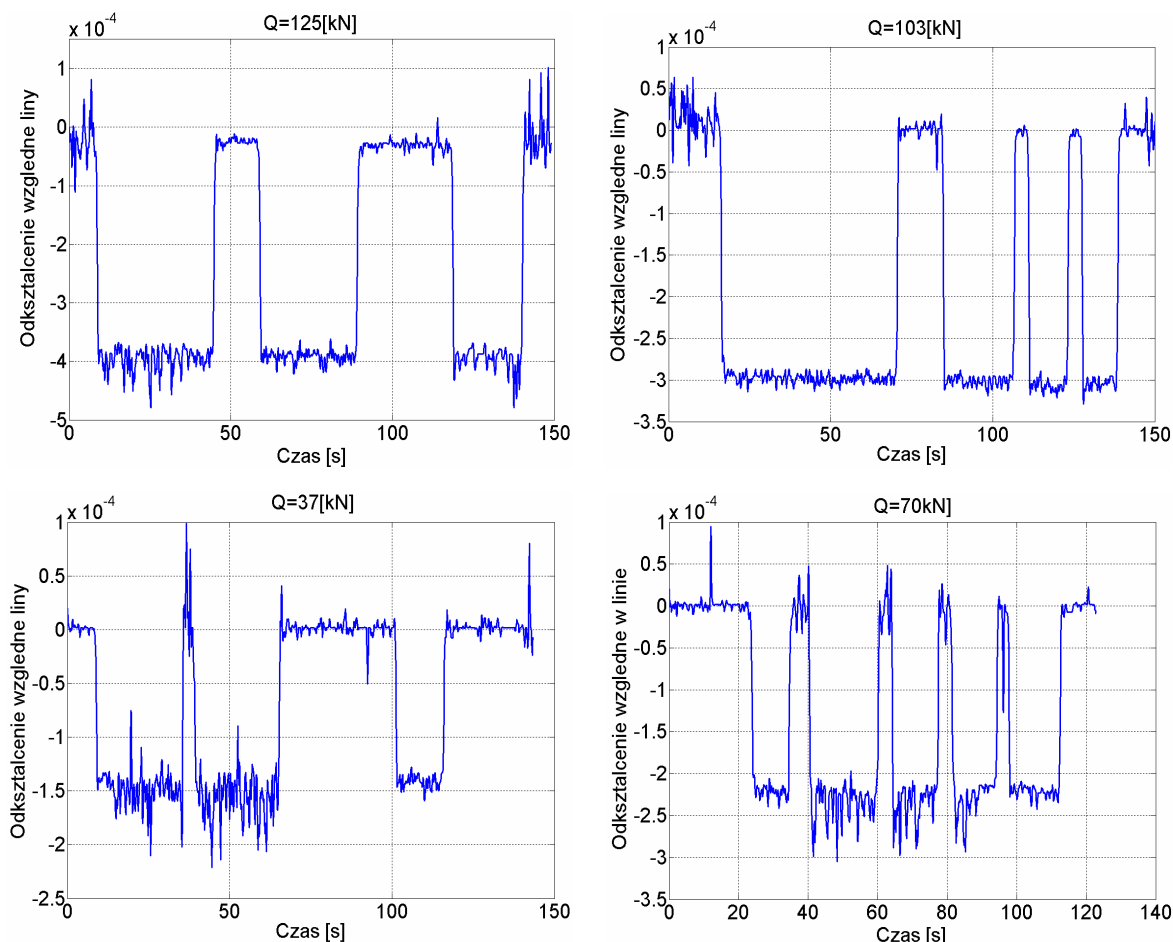


Rys. 5.14. Przyrząd pomiarowy:
1 - ramiona przyrządu,
2 - czujnik indukcyjny, 3 - linia



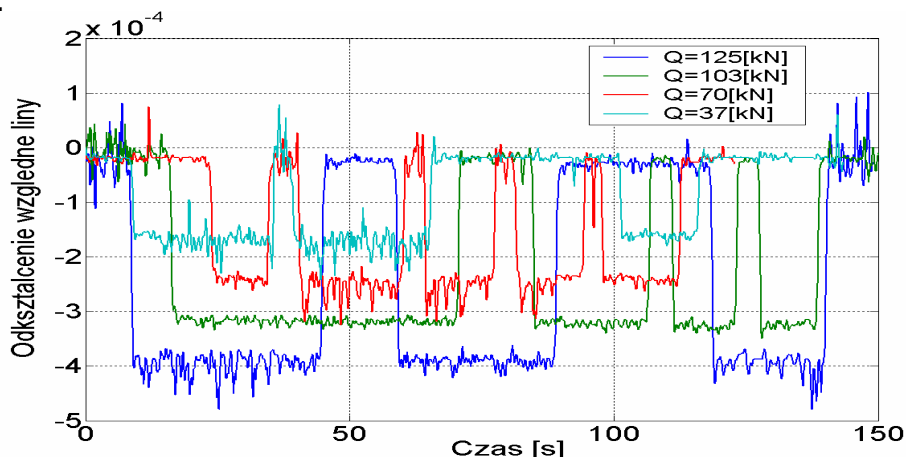
Rys. 5.15. Szkic sytuacyjny pomiaru odkształcenia linii na przemysłowej suwnicy pomostowej

Charakterystyki zmiany odkształcenia badanej linii w czasie podnoszenia i opuszczania przy nieruchomym wózku i moście dla różnych obciążeń przedstawiono na rysunku 5.16 i zestawiono w tabeli 5.1.



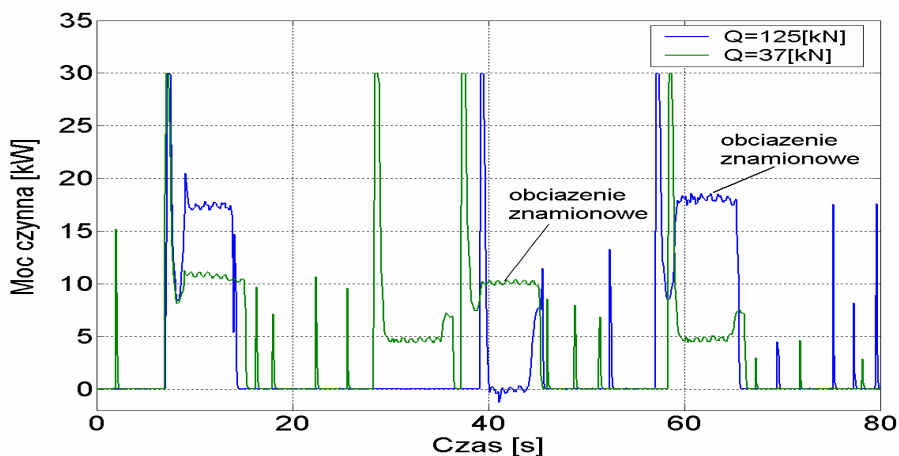
Rys. 5.16. Przykładowe wykresy charakterystyk czasowych odkształceń w linii

Porównanie otrzymanych charakterystyk przedstawiono na wspólnym wykresie – rys. 5.17.



Rys. 5.17. Charakterystyka zmian sygnału odkształcenia względnej liny mechanizmu podnoszenia dla różnych obciążeń

Rejestracja masy przemieszczanego przez suwnicę ładunku można połączyć z rejestracją mocy pobieranej przez mechanizmy ruchu urządzenia w celu określenia kosztów realizowanego procesu. Na rysunku 5.18 przedstawiono zestawienie wyników pomiarów mocy czynnej dla przykładowych dwóch obciążeń mechanizmu podnoszenia przy różnych przemieszczanych ładunkach $Q_1 = 125[\text{kN}]$ oraz $Q_2 = 37[\text{kN}]$, które zestawiono ponadto w tabeli 5.1

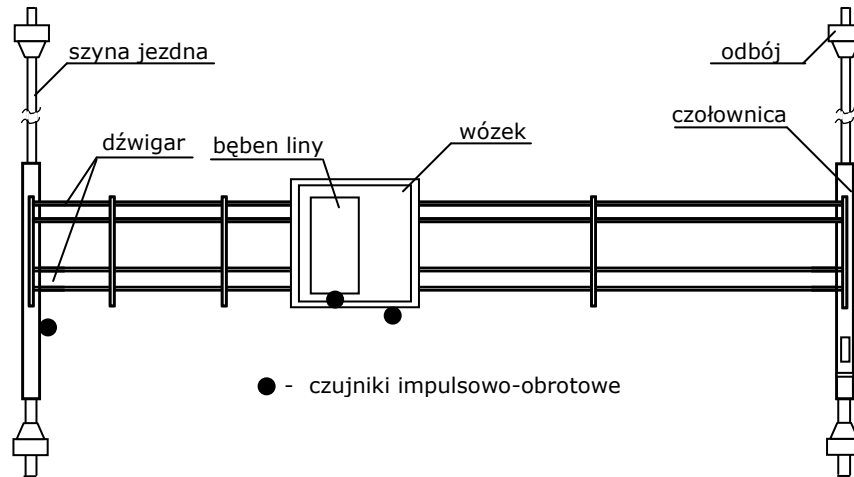


Rys. 5.18. Charakterystyka czasowa zmiany mocy czynnej przy podnoszeniu i opuszczaniu ładunku dla obciążeń $Q_1 = 125[\text{kN}]$ i $Q_2 = 37[\text{kN}]$

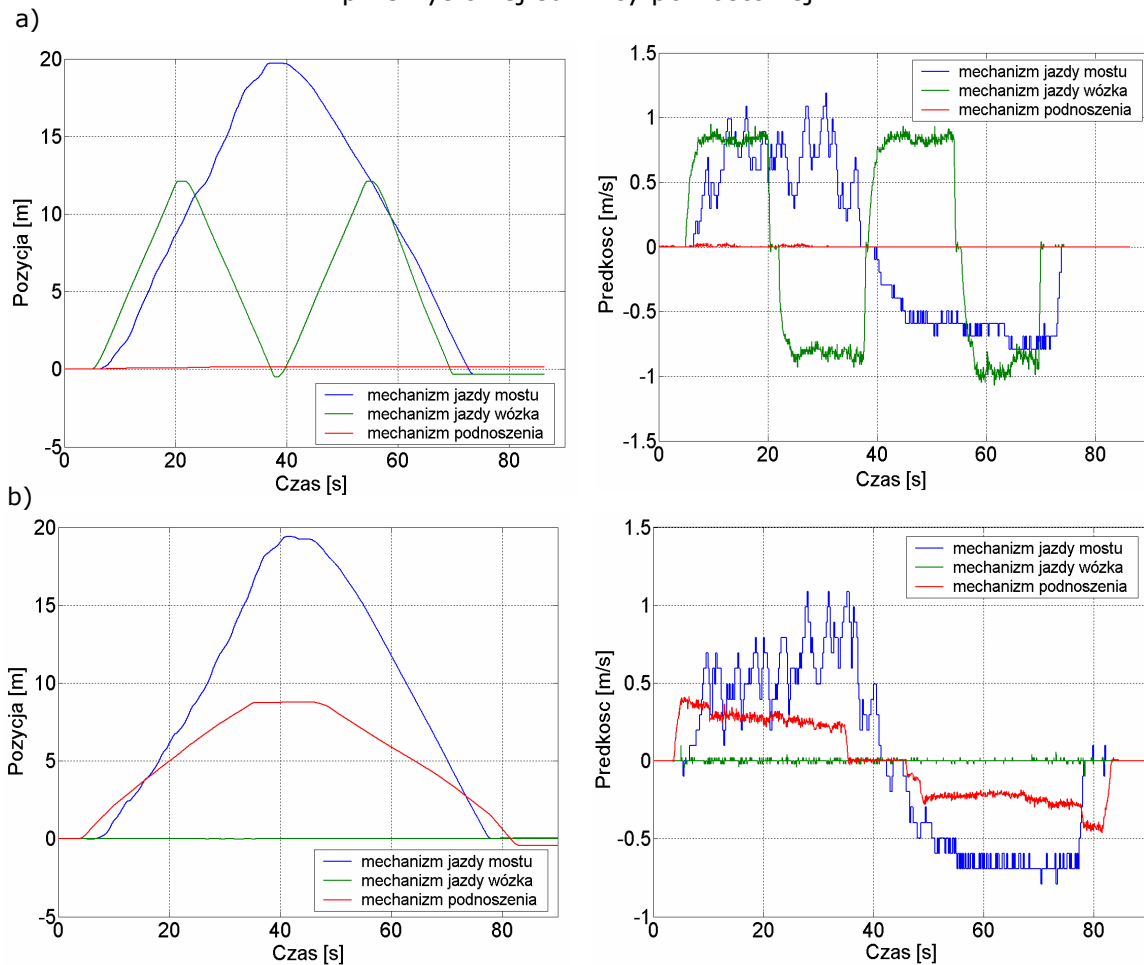
Tabela 5.1. Wartości mocy czynnej pobieranej przez mechanizm podnoszenia w stanie ustalonym oraz odkształcenia w lince przy różnych masach podnoszonego ładunku

Masa podnoszonego ładunku [kN]	Moc czynna pobierana przez mechanizm podnoszenia w stanie ustalonym [kW]	Wartość odkształcenia względnej liny
125	17,4 ÷ 18,2	$(-3,6 \div - 3,8) \cdot 10^{-4}$
103	16 ÷ 16,5	$(-2,9 \div - 3,1) \cdot 10^{-4}$
70	12,4 ÷ 12,5	$(-2,2 \div -2,4) \cdot 10^{-4}$
37	10 ÷ 11	$(-1,4 \div - 1,6) \cdot 10^{-4}$

Istotną informacją w procesie transportu ładunku (identyfikacji przedmiotu działania w przestrzeni roboczej) przez suwnice pomostowe, jest jego pozycjonowanie wraz z prędkościami ruchów roboczych mechanizmów urządzenia. Przykładowe wyniki badań przeprowadzono wykorzystując czujniki impulsowo-obrotowe zamocowane według schematu przedstawionego na rysunku 5.19. Wybrane charakterystyki czasowe pozycji oraz prędkości mechanizmów roboczych badanej suwnicy ($Q=125[kN]$, $L=16[m]$) przedstawiono na rysunku 5.20.

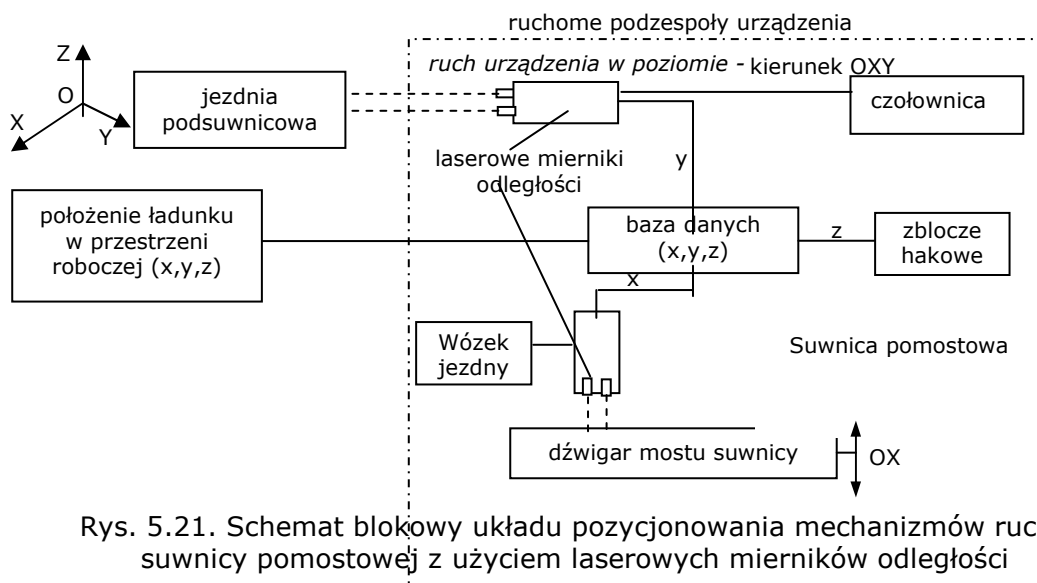


Rys. 5.19. Schemat rozmieszczenia czujników pomiarowych na przemysłowej suwnicy pomostowej

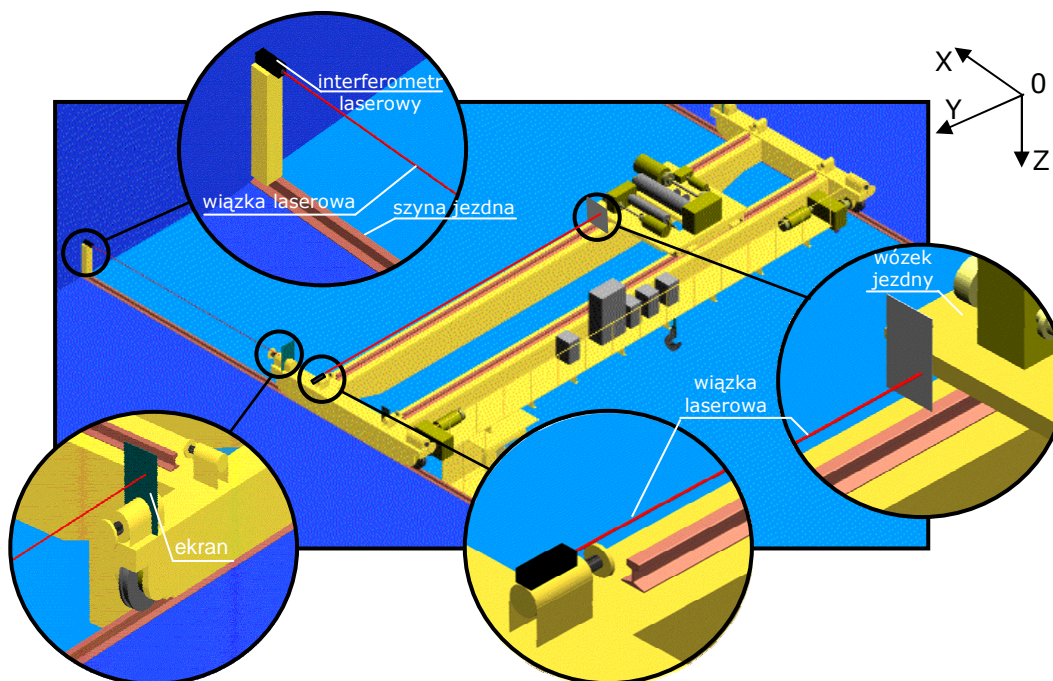


Rys. 5.20. Przykładowe charakterystyki czasowe pozycji i prędkości: a) mechanizmu jazdy mostu i wózka, b) mechanizmu jazdy mostu i podnoszenia

Innym rozwiązaniem w zakresie pozycjonowania mechanizmów ruchu suwnicy pomostowej są układy wykorzystujące interferometry laserowe. Przykład schematu blokowego identyfikacji pozycji układów wykonawczych suwnicy wykorzystujących laserowe mierniki odległości przedstawiono na rysunkach 5.21 i 5.22.



Rys. 5.21. Schemat blokowy układu pozycjonowania mechanizmów ruchu suwnicy pomostowej z użyciem laserowych mierników odległości



Rys. 5.22. Szkic rozwiązania elementów układu pozycjonowania suwnicy pomostowej w przestrzeni roboczej

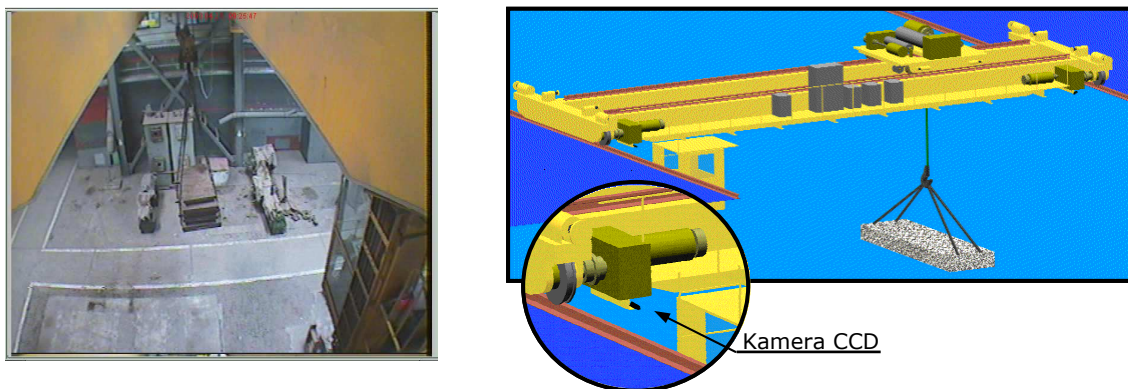
W rezultacie rejestracji w zadanym przedziale czasu historii zdarzeń towarzyszących realizacji określonych działań z użyciem układu C-OT możliwe jest sformułowanie: poziomu bezpieczeństwa całego systemu B1 (liczba zdarzeń zaliczanych jako awarie z określonymi skutkami), nieuszkodzalności systemu (liczba zdarzeń kwalifikujących

zespoły do stanu niezdatności oraz ich struktura), gotowości systemu A1 (zdolność jego przebywania w stanie zdatności eksploatacyjnej), kosztów użytkowania (w funkcji zużytej energii na realizację określonych działań i stałych kosztów zatrudnienia operatora urządzenia). Powyższe umożliwia ocenić proces decyzyjny PD1.

5.3. Proces decyzyjny PD2 w zakresie przestrzeni roboczej

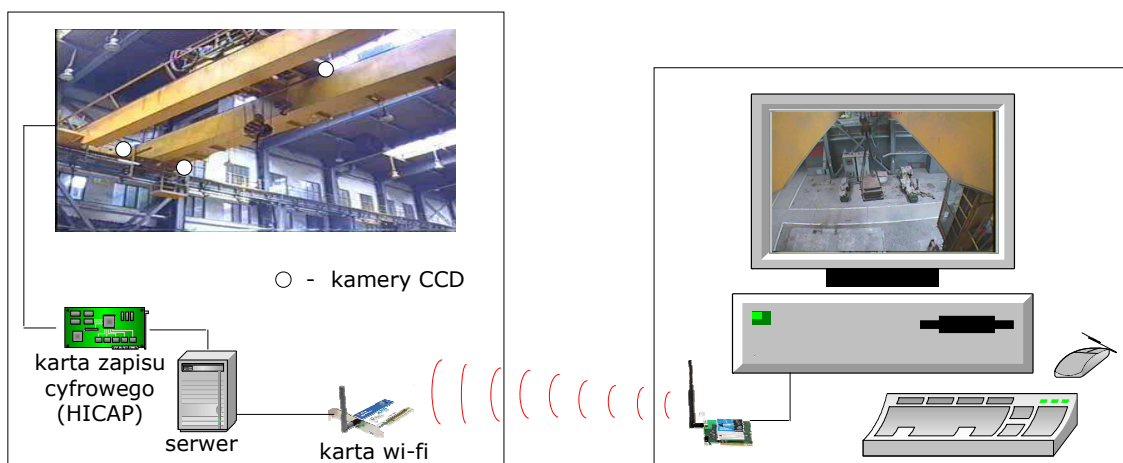
W podsystemie decyzyjnym PD2 następuje identyfikacja przedmiotu działania i otoczenia, natomiast z wykorzystaniem produktów wejściowych realizowane są sterowania ST2.

Na rysunku 5.23 przedstawiono sposób monitorowania przestrzeni roboczej suwnicy pomostowej z wykorzystaniem rozmieszczonych na urządzeniu kamer typu CCD, ze szczególnym zwróceniem uwagi na przemieszczany ładunek. Obrazy przestrzeni roboczej oraz wybranych węzłów na suwnicy, dostępne w kabinie operatora, umożliwiają skuteczne podejmowanie decyzji w zakresie realizacji procesu użytkowania systemu.



Rys. 5.23. Przykład monitoringu przestrzeni roboczej z wykorzystaniem kamer zainstalowanych na suwnicy pomostowej

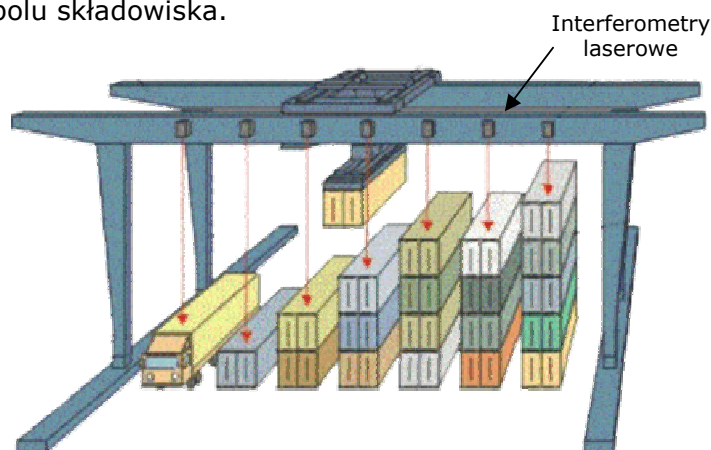
Na rysunku 5.24. przedstawiono opracowany układ zdalnego monitorowania procesu eksploatacji suwnicy pomostowej. Na suwnicy zainstalowano układy wizyjne (kamery CCD) podłączone do karty zapisu cyfrowego (HICAP), rejestrujące istotne dla procesu użytkowania informacje (przestrzeń roboczą). W układzie zastosowano połączenie sieci przewodowej z bezprzewodową.



Rys. 5.24. Schemat monitorowania przestrzeni roboczej przy pomocy układów wizyjnych [84]

Szczególnie przydatnymi własnościami układów wizyjnych jest możliwość realizacji obserwacji w czasie rzeczywistym, bezstykowo i zdalnie. W istotny sposób wpływa to na poziom automatyzacji systemów i środków transportowych oraz nadzorowania ich stanu technicznego, a ponadto umożliwia budowę zintegrowanych systemów sterowania. Mają również wpływ na zwiększenie bezpieczeństwa i niezawodności systemów i środków transportowych.

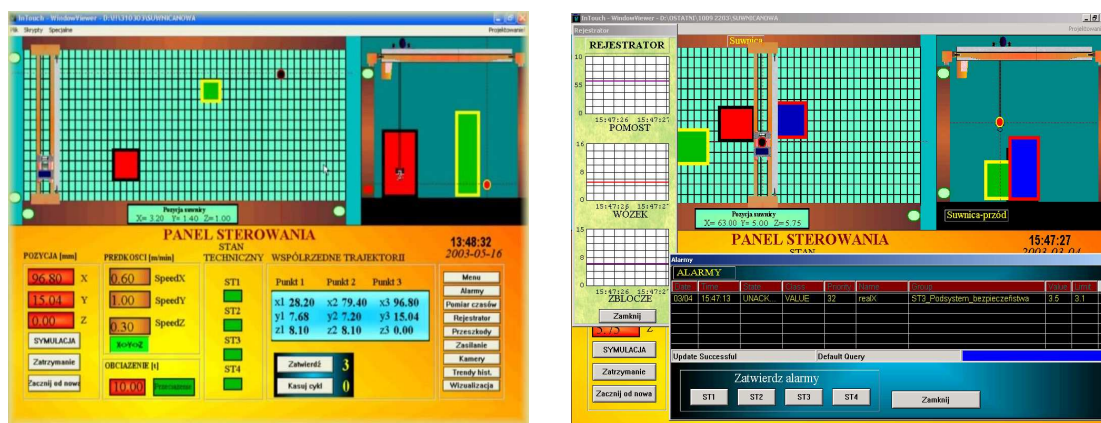
Na rysunku 5.25 przedstawiono sposób identyfikacji pozycji warstwy składowania kontenerów w przestrzeni roboczej suwnicy bramowej. Wzdłuż dźwigara rozmieszczone są w stałej odległości interferometry laserowe, umieszczone w osi składowania kontenerów. Z interferometrami połączony jest układ pozycjonowania wózka suwnicy bramowej, umożliwiając składowanie wybranego kontenera w określonym polu składowiska.



Rys. 5.25. Identyfikacja przestrzeni roboczej składowania kontenerów

Istotnym z uwagi na proces realizacji ruchów roboczych związanych z przemieszczaniem ładunkiem jest projektowanie jego trajektorii ruchu [65]. Projektowanie trajektorii przemieszczanego ładunku uwzględnia wiedzę operatora w zakresie właściwości ładunku, zadawalających jego położenia początkowych i końcowych, mapy przestrzeni roboczej, właściwości swoich i urządzenia oraz praktycznych umiejętności w realizacji sterowań użytecznych.

Dla potrzeb operatora suwnicy pomostowej opracowano w środowisku InTouch [41] panel wspomagający (rys. 5.26) proces projektowania automatycznego ruchów roboczych urządzenia realizowanego określone zadania w przestrzeni roboczej oraz realizacji zdarzeń towarzyszących procesowi użytkownika urządzenia (przykładowo: czasy pracy poszczególnych mechanizmów, masa przemieszczanego ładunku, zużyta energia, alarmy).



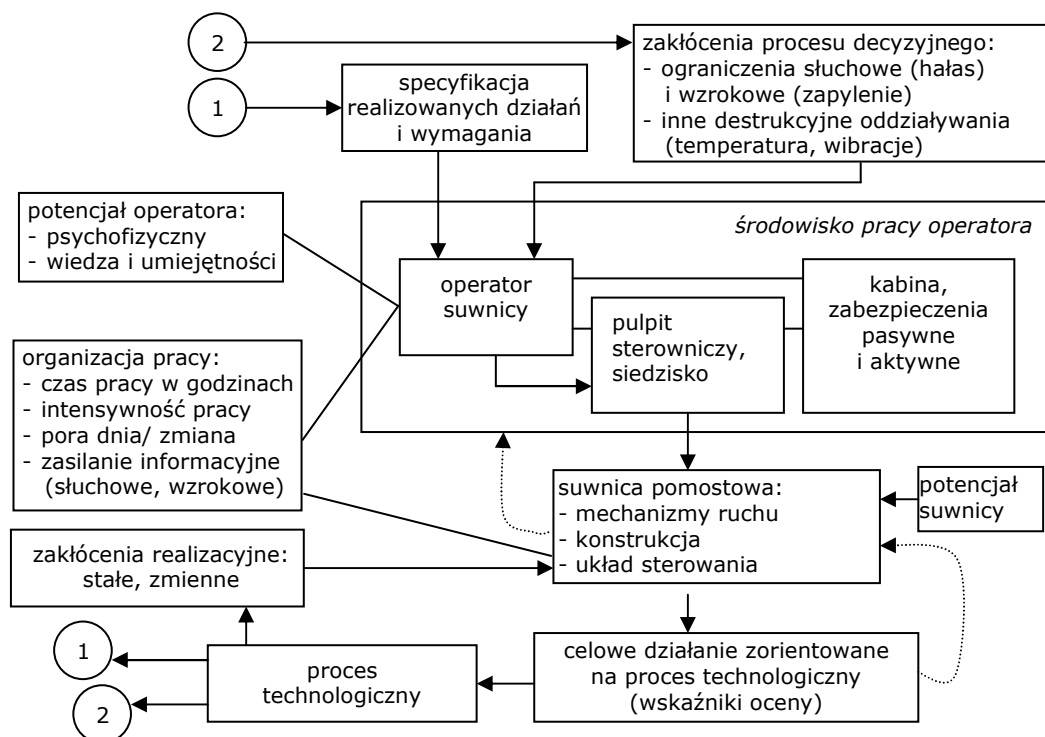
Rys. 5.26. Przykładowe okna operatora suwnicy pomostowej wykonane w programie InTouch [69]

Przedstawiony panel sterowania pozwala na dozоровanie suwnicy z kabiny lub z niezależnego pomieszczenia operatora.

Z wykorzystaniem uzyskanych z pomiarów informacji możliwa jest analiza i ocena skutków sterowań realizowanych przez operatora. W efekcie nadzorowania procesu eksploatacji urządzenia pozyskane informacje, w postaci zmian wybranych parametrów eksploatacyjnych, można poddać analizie w zakresie:

- wpływu technik sterowania na stan techniczny urządzenia: przeciążenia konstrukcji i układów napędowych,
- wpływu stanu technicznego urządzenia oraz zastosowanych technik sterowania na jakość realizowanego zadania transportowego (dokładność pozycjonowania, czas trwania cyklu roboczego, tłumienie wahań zawieszonoego na elastycznym ciężle ładunku, itp.),
- wpływu wartości rozkładu obciążeń konstrukcji mostu oraz przeciążeń w układach napędowych mechanizmów ruchu suwnicy na stan techniczny układu koło-szyna i niekorzystne zjawiska zachodzące w tym układzie (np: dodatkowe tarcie obrzeży koła jezdnoego o główkę szyny).

Dla podsystemu sterowania ST2 opracowano model układu operator - urządzenie (suwnica) przedstawiony na rys. 5.27. W modelu wyróżniono: operatora urządzenia pracującego w określonym środowisku pracy, suwnicę użytkowaną w środowisku eksploatacji urządzenia, przedmiot działania jako cząstkowe zadanie procesu technologicznego (otoczenie). Zadanie do realizacji formułowane w procesie technologicznym jest analizowane i przetwarzane przez operatora pod kątem możliwości i sposobu realizacji (proces decyzyjny), a następnie wykonywane jako sekwencja działań cząstkowych z użyciem urządzenia o odpowiedniej strukturze funkcjonalnej (proces realizacyjny). Zarówno operator i suwnica są charakteryzowane określonym potencjałem eksploatacyjnym.

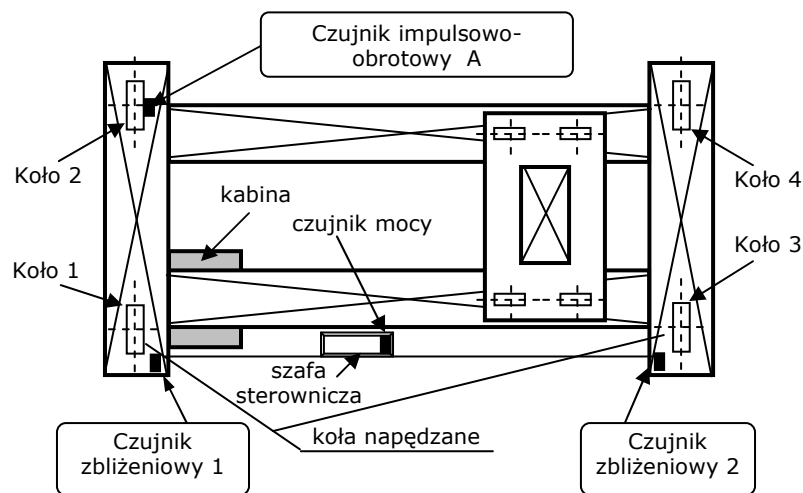


Rys. 5.27. Model układu operator-suwnica [67]

Przedmiotem badań w podsystemie sterowania były techniki sterowania mechanizmem jazdy mostu suwnic pomostowych poprzez zastosowanie w jego układzie napędowym przemienników częstotliwości i nastawników. Badania wykazały, że rodzaj nastaw w kabine oraz siedzisko (rys. 5.28) lub jego brak w połączeniu z zastosowanymi układami sterowania ma bezpośredni wpływ na jakość realizowanych przez operatora działań z użyciem suwnicy. Schemat rozmieszczenia czujników przedstawia rysunek 5.29. Badanie przeprowadzono na suwnicy pomostowej ($Q=125[\text{kN}]$, $L=16[\text{m}]$) pracującej w warunkach przemysłowych.



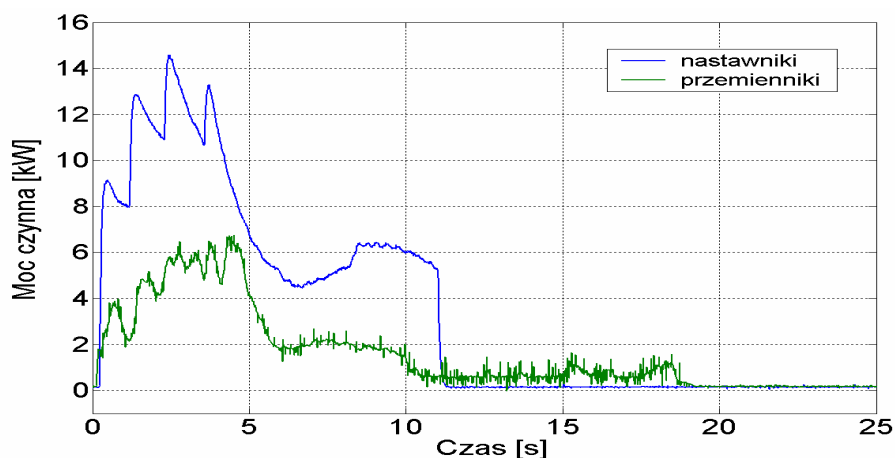
Rys. 5.28. Kabina operatora suwnicy (od prawej): sterownie nastawami rezystorów, ergonomiczne siedzisko operatora, sterowanie z użyciem joystików



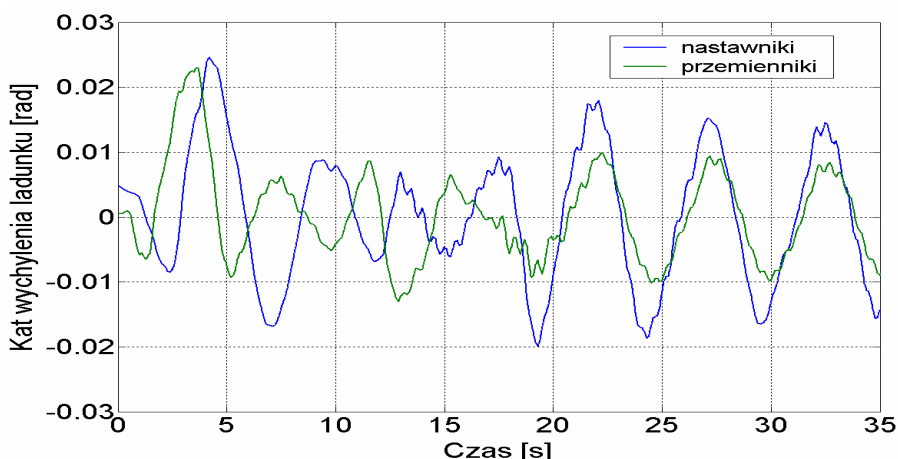
Rys. 5.29. Schemat rozmieszczenia czujników pomiarowych na suwnicy pomostowej

W celu wykazania różnic w jakości sterowania ruchem mostu suwnicy wynikającej ze zmiany w układzie napędowym sposobu sterowania silnikami asynchronicznymi z nastawników na przemienniki częstotliwości dokonano badania obu sposobów sterowania. Przeprowadzono szereg eksperymentów dla tych samych założeń początkowych (masa ładunku, zadana pozycja końcowa). W badaniach porównano charakterystyki mocy czynnej pobieranej przez układ napędowy mostu oraz wychylenia zawieszonoego ładunku od stanu równowagi. Zostały one uzyskane w rezultacie sterowania przez operatora suwnicy ruchem mostu (przeprowadzenie rozruchu oraz hamowania) z wykorzystaniem nastawników (skokowa zmiana momentu i prędkości silników) oraz przemienników częstotliwości (płynna zmiana

momentu i prędkości silników). Uzyskane wyniki dla zastosowanej techniki sterowania miały charakter powtarzalny. Przykładowe wyniki eksperymentów zostały przedstawione na rysunkach 5.30 i 5.31.



Rys. 5.30. Przykładowa charakterystyka mocy czynnej dla układów sterowania metodą tradycyjną (nastawniki) oraz z użyciem falowników



Rys. 5.31. Przykładowa charakterystyka kąta wychylenia ładunku dla układów sterowania metodą tradycyjną (nastawniki) oraz z użyciem falowników

Przeprowadzone badania na wybranej grupie operatorów suwnic pomostowych [81, 85] pozwoliły stwierdzić, że operatorzy suwnic pomostowych, zwłaszcza pracujący w ruchu ciągłym oraz przy przemieszczaniu ładunków niebezpiecznych, są narażeni na czynniki stresogenne będące jedną z poważniejszych przyczyn chorób zawodowych. Ponadto skutkiem stresu u operatorów są możliwe błędne decyzje w zakresie sterowania ruchami roboczymi suwnicy, skutkujące przeciążeniami mechanizmów i konstrukcji oraz niebezpiecznymi zdarzeniami. Dlatego też oczekiwane są przedsięwzięcia mające na celu minimalizację lub osłabienie czynników stresogennych mających bezpośredni wpływ na operatorów oraz właściwy dobór ludzki z uwzględnieniem osobniczych cech psychofizycznych.

Operator suwnicy decyduje o kształcie charakterystyk rozruchowych i hamowania poprzez odpowiedni dobór czasów przełączeń rezystancji rozruchowych w obwodzie wirnika silnika napędowego. Podczas procesu sterowania urządzeniem powinny być

uwzględniane obciążenia suwnicy pomostowej w rezultacie kojarzenia jej ruchów roboczych i poddanych oddziaływaniom otoczenia. Operator suwnicy podlega zakłóceniom wynikającym z warunków zewnętrznych oraz stresu lub/i przemęczenia. Na charakterystyki rozruchu lub/i hamowania ma zarówno wpływ jego doświadczenie, wiedza, jak i bieżąca predyspozycja psychofizyczna.

Coraz większe znaczenie ma w praktyce zagadnienie minimalizacji czasu transportu ładunku z wymaganą dokładnością jego pozycjonowania i przy kompensacji wahań przemieszczanego ładunku (zawieszonoego na cięgnach). Wymagania stawiane środkom transportu w zakresie poprawy jakości eksploatacji możliwe są do osiągnięcia w rezultacie opracowania i wdrożenia systemów sterowania opartych na sztucznej inteligencji. Zastosowanie logiki rozmytej oraz sztucznych sieci neuronowych w sterowaniu ruchem środków transportowych umożliwia budowę adaptacyjnych systemów sterowania, w których informacja o stanie procesu jest analizowana i przetwarzana na podstawie wiedzy typu heurystycznego (regulatory rozmyte), czy też wiedzy zawartej w postaci wag połączeń neuronów (sieci neuronowych).

Zastosowanie sztucznej inteligencji w środkach transportu w praktyce wymaga odchodzenia od papierowej historii eksploatacji urządzeń na rzecz budowania elektronicznych baz danych i wiedzy z użyciem technik cyfrowych. Elektroniczne bazy wiedzy EKB (ang. *Elektronic Knowledge Database*) o zdarzeniach zachodzących podczas eksploatacji urządzenia są przydatne w budowie strategii w zakresie użytkowania oraz ich obsługiwanania typu prewencyjnego, a ponadto w procesie szybkiego prototypowania eksploatowanego środka lub/i systemu transportowego. Zauważa się zmniejszenie ilości personelu zaliczanego do bezpośredniego użytkowania i obsługiwanania urządzenia na rzecz specjalistów zdalnie nadzorujących i wspomagających proces ich eksploatacji zintegrowany poprzez sieć cyfrową typu lokalnego LAN (ang. *Local Access Network*).

Stosowanie inteligentnych technik w zakresie sterowania środkami transportowymi jest ukierunkowane przede wszystkim na zmniejszenie kosztów ich eksploatacji oraz zwiększenie bezpieczeństwa i niezawodności. Realizacja sformułowanych wymagań jest możliwa między innymi w rezultacie zastosowania *inteligentnych* czujników wspomagających proces decyzyjny w zakresie użytkowania urządzenia oraz bezstykowych czujników typu *bezpieczniki* wbudowanych w podsystem sterowania i wspomagających działanie urządzenia w przestrzeni roboczej zgodnie z akceptowalnymi wskaźnikami jakości eksploatacji.

5.4. Ocena skuteczności działania systemu

Procesowi eksploatacji środków transportu towarzyszy ich ciągła ocena przez użytkownika w zakresie realizacji oczekiwań typu działaniowego (funkcje użyteczne) oraz jakościowego (wymagania zorientowane na przedmiot działania użytkownika lub otoczenie). Oczekiwania użytkownika urządzenia mają charakter ewolucyjny, a ich spełnienie jest możliwe w rezultacie określonych przedsięwzięć przede wszystkim w obszarach użytkowania i obsługiwanania, w tym zmian typu modernizacyjnego (dostosowawczego). Na skuteczność procesu decyzyjnego istotny wpływ ma baza danych w zakresie zdarzeń towarzyszących eksploatacji przedmiotowego urządzenia i innych, zaliczanych do danej klasy.

Stan techniczny urządzenia zmienia się podczas eksploatacji oraz ma bezpośredni wpływ na jego działanie i wyraża zdolność do realizacji określonych zadań o określonym poziomie jakości. Jeżeli zmiany parametrów eksploatacyjnych nie

przekraczają przyjętych tolerancji, to stan techniczny urządzenia jest zadawalający i akceptowalne są koszty eksploatacji. Jeżeli zmiany parametrów eksploatacyjnych przekraczają przyjęte tolerancje, to stan techniczny urządzenia nie jest zadawalający, jakość działania nie jest akceptowalna, koszty eksploatacji rosną, a urządzenie wymaga obsługi. Aby zapobiec takiemu zjawisku najlepiej zastosować ciągły monitoring urządzenia. Prawidłowy nadzór nie pozwala na uszkodzenie urządzenia, umożliwia rejestrację a następnie usunięcie możliwych źródeł uszkodzenia jeszcze przed ich wystąpieniem. Monitoring wymaga znalezienia charakterystycznego reprezentanta parametrów eksploatacyjnych urządzenia, obserwowanie zmian którego może być podstawą przerwania pracy i wykonania niezbędnej obsługi.

W kategoriach ekonomicznych eksploatacja maszyn i urządzeń obejmuje koszty zmienne (energia zasilająca, części zamienne i materiały eksploatacyjne, obsługiwane, nieuzasadnione postoje urządzenia) i stałe (koszt urządzenia, amortyzacja urządzenia, koszt likwidacji urządzenia, koszt użytkowania infrastruktury, koszty zarządzania). Obniżenie kosztów eksploatacji jest możliwe w rezultacie wzrostu dokładności pracy operatorów urządzenia w obszarach użytkowania i obsługiwania, poprzez zmniejszenie kosztów zarządzania, a ponadto poprzez wdrożenie nowych rozwiązań o charakterze technicznym i organizacyjnym. Istotny wpływ na zmienne koszty eksploatacji maszyn i urządzeń ma proces zmniejszania się ich potencjału eksploatacyjnego z upływem lat, pomimo wykonywania prac typu obsługowego. Przyczyną długiego czasu eksploatacji suwnic jest wysoki koszt jednostkowy urządzenia, a ponadto małe przywiązywanie przez użytkownika uwagi do kosztów eksploatacji oraz jakości wykonywanych operacji. Częstym zjawiskiem jest posiadanie nadmiaru potencjału transportowego w stosunku do istniejących wymagań produkcyjnych.

Skuteczność podsystemu bezpośredniego działania (E_{d1}) określono zależnością:

$$E_{d1} = A_1 \cdot D_1 \cdot M_1 \quad (5.10)$$

gdzie:

A_1 - gotowość systemu,

D_1 - niezawodność systemu,

M_1 - obsługiwalność systemu.

Sposób obliczania wskaźnika skuteczności oraz kosztów podsystemu bezpośredniego działania przedstawiono w rozdziale 4.2.

6. PODSYSTEM WSPIERAJĄCY PROCES DZIAŁANIA

6.1. Wstęp

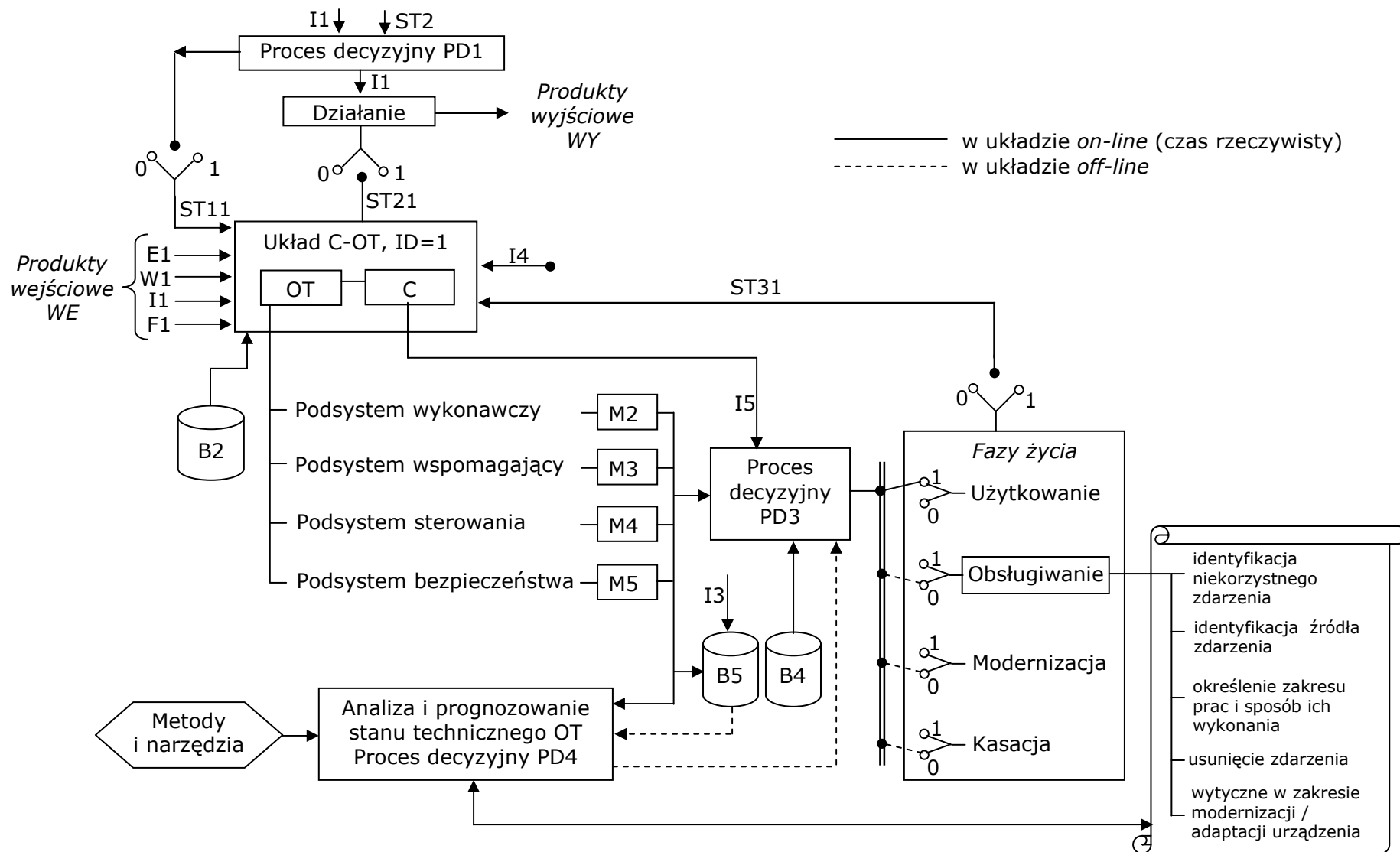
Wymagania stawiane eksploatowanym środkom transportu są ukierunkowane na zwiększenie bezpieczeństwa i niezawodności eksploatacyjnej oraz obniżenie kosztów eksploatacji, a także ewoluują w kierunku obsługiwanego typu przewencyjnego z uwzględnieniem ich stanu technicznego. Podejście takie jest transformacją od procesu obsługiwanego według resursu czasowego do jakościowego zarządzania procesem obsługiwanego systemów technicznych, ze szczególnym zwróceniem uwagi na jego skuteczność.

Przedstawiony na rys. 6.1 podsystem *wspierający proces działania* koncentruje uwagę na urządzeniu. Przedmiotem zainteresowania jest jego stan techniczny, który jest wyrażony gotowością urządzenia w stanie zdatności do podjęcia określonego działania. Urządzenie zorientowano na pozyskiwanie informacji z podsystemów (wykonawczy, wspomagający, sterowania, bezpieczeństwa), a następnie podjęcia decyzji w oparciu o pozyskane informacje w zakresie jego kwalifikacji do jednej z faz życia (proces decyzyjny PD3): użytkowania (jeżeli urządzenie jest w stanie zdatności), obsługiwanego lub modernizacji (gdy nie spełnia określonych wymagań jakościowych, nie jest zadawalający stan techniczny urządzenia) lub do kasacji. Celem tego procesu jest kształtowanie skuteczności urządzenia, wyrażonej poprzez jego gotowość, niezawodność oraz naprawialność. Aby prawidłowo kształtować proces decyzyjny w zakresie kwalifikacji urządzenia do odpowiedniej fazy życia, poprzez właściwe podejście do oceny jego stanu technicznego, należy posiadać określone informacje o zmianach istotnych parametrów eksploatacyjnych urządzenia, następujących w czasie użytkowania przy odpowiednich sterowaniach i produktach wejściowych, które służą do analizowania stanu technicznego (proces decyzyjny PD4). W oparciu o informacje pozyskiwane w czasie rzeczywistym, możliwa jest przewencyjna kwalifikacja urządzenia do stanu zdatności lub niezdatności z wykorzystaniem odpowiednich metod i narzędzi.

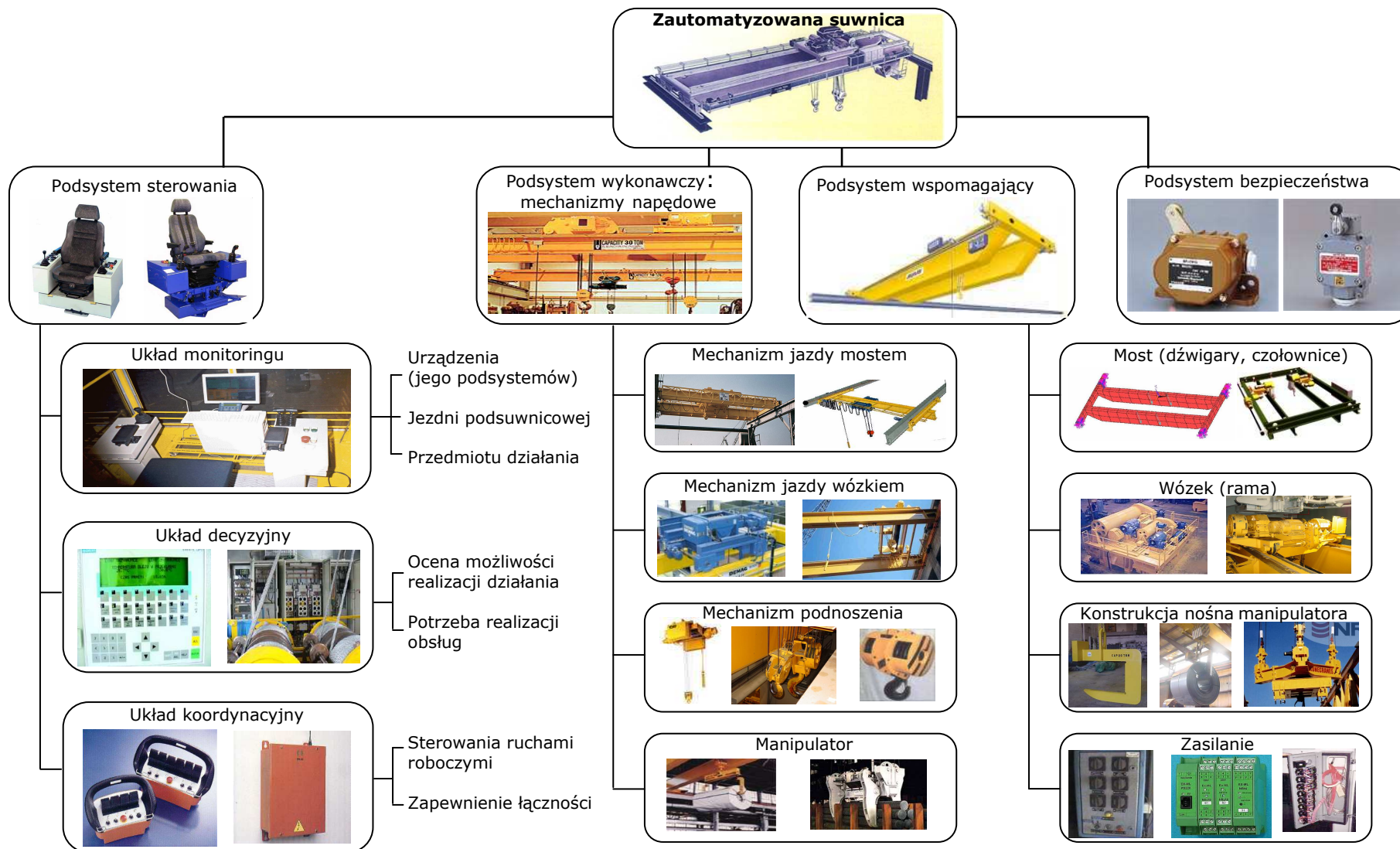
Prewencyjne podejście do procesu eksploatacji urządzeń wymaga badania przyczyn i skutków zdarzeń zachodzących podczas eksploatacji systemu oraz podejmowanie właściwych decyzji, z uwzględnieniem przyjętych strategii i warunków otoczenia. Kształtowanie niezawodności systemu człowiek-urządzenie jest złożone i wymaga łącznego uwzględnienia potencjału operatora i urządzenia oraz sterowań będących funkcją zasilań energetycznych i informacyjnych, oddziaływań otoczenia i urządzenia, a ponadto wiedzy i umiejętności operatora. Operator podejmuje decyzje w zakresie uruchamiania urządzenia lub jego unieruchomienia. Decyzja w zakresie unieruchomienia urządzenia lub jego podsystemów może być podejmowana ponadto poprzez automat w przypadku zagrożenia bezpieczeństwa.

Dla potrzeb analizy stanu technicznego suwnicy pomostowej przeprowadzono jej dekompozycję funkcjonalną, którą przedstawiono na rysunku 6.2, gdzie wyróżniono następujące podsystemy:

- wykonawczy, obejmujący mechanizmy: podnoszenia, jazdy mostem, jazdy wózkiem,
 - wspomagający, obejmujący konstrukcje mostu, wózka oraz manipulatora,
 - sterowania, obejmujący układy monitoringu, decyzji, koordynacji,
 - bezpieczeństwa,
- a ponadto zespoły i elementy.



Rys. 6.1. Schemat blokowy podsystemu wspierania procesu działania

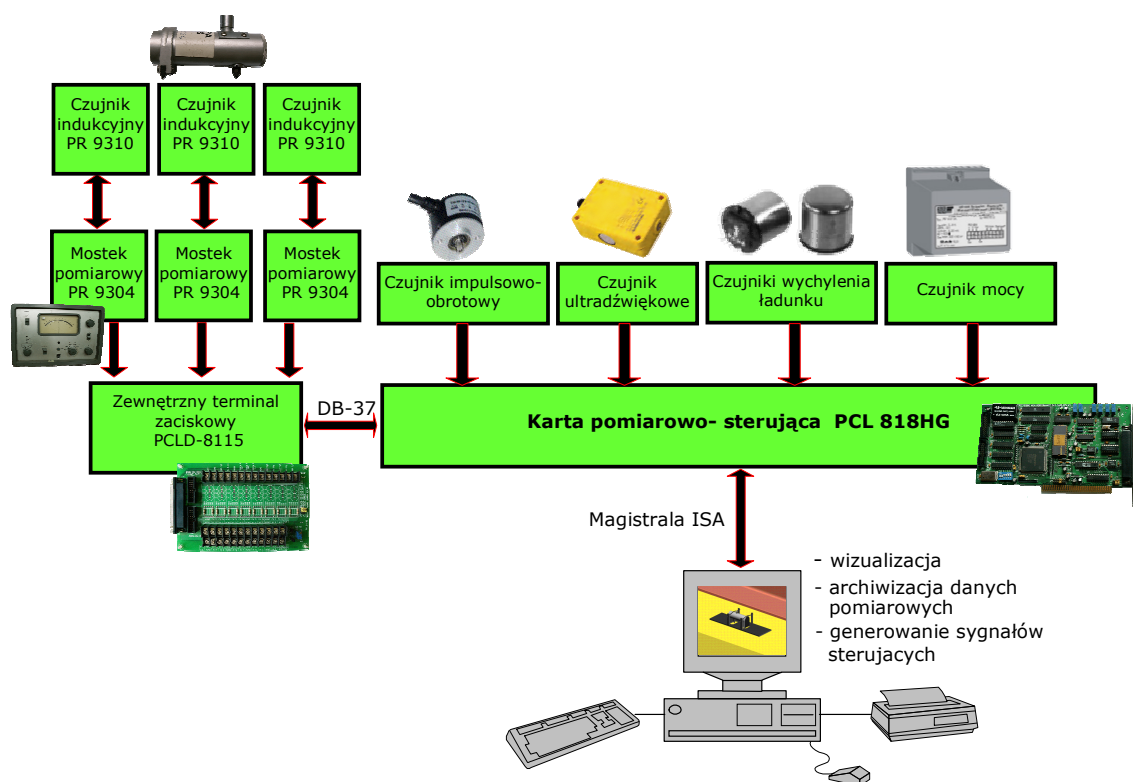


Rys. 6.2. Dekompozycja funkcjonalna suwnicy pomostowej

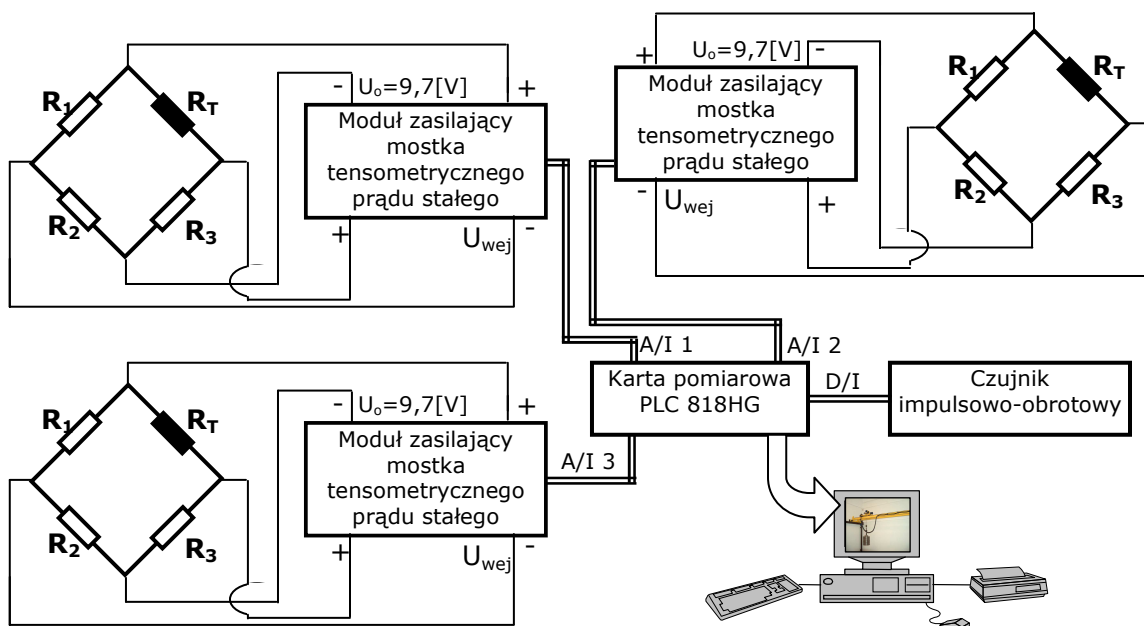
Istotna dla oceny stanu technicznego urządzenia jest informacja o zmianach jego wybranych parametrów eksploatacyjnych pozyskiwanych w procesie użytkowania z monitoringu M2, M3, M4, M5 (rys. 6.1). Dla potrzeb pozyskiwania informacji o zdarzeniach zachodzących w procesie eksploatacji suwnicy pomostowej opracowano i przetestowano w warunkach przemysłowych (rys. 3.26, rys. 3.28) układy rejestracji:

- położenia organów wykonawczych mechanizmów jazdy mostu i wózka oraz podnoszenia (rys. 6.3),
- masy przemieszczanego ładunku (rys. 5.14),
- mocy pobieranej przez źródła energetyczne (silniki) podczas realizacji ruchów roboczych przez mechanizmy ruchu (rys. 6.3),
- odkształceń dźwigarów mostu suwnicy pod wpływem przemieszczanego ładunku (rys. 6.3, 6.4),
- skoszenie mostu suwnicy względem szyn jezdnych w płaszczyźnie poziomej (rys. 6.3),
- kąta wychylenia od stanu równowagi zawieszonoego na cięgnie przemieszczanego ładunku (rys. 6.3).

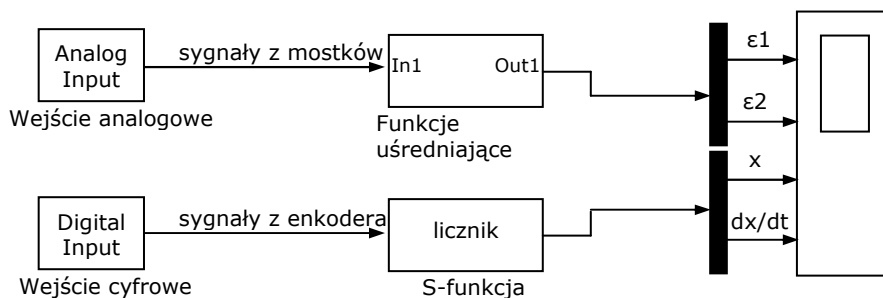
Schematy blokowe zastosowanych układów pomiarowych przedstawiono na rysunku 6.3 oraz rysunku 6.4, dla których opracowano w Matlab/Simulink środowiska (rys. 6.5, rys. 6.6) umożliwiające cyfrowy zapis, a następnie analizę uzyskanych z pomiarów zmian rejestrowanych parametrów eksploatacyjnych urządzenia.



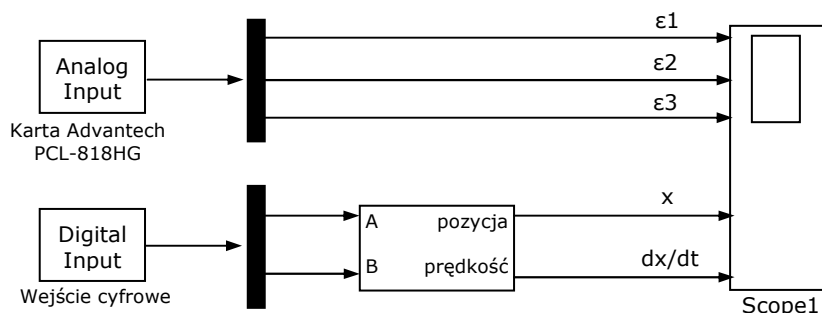
Rys. 6.3. Układ pomiarowy złożony z wybranych parametrów eksploatacyjnej suwnicy



Rys. 6.4. Pomiar naprężeń w układzie ćwierć - mostka z kompensacją temperatury



Rys. 6.5. Schemat blokowy układu pomiarowego zbudowanego w programie Simulink

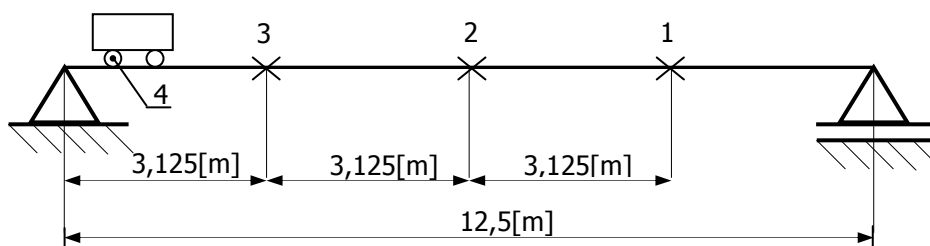


Rys. 6.6. Schemat blokowy układu pomiarowego zbudowanego w programie Simulink dla tensometrów rezystancyjnych

Dla potrzeb identyfikacji położenia wózka na moście suwnicy pomostowej opracowano i wykonano tory pomiarowe z wykorzystaniem czujnika impulsowo-obrotowego instalowanego na kole jezdnym wózka oraz z wykorzystaniem

tensometrów mocowanych na dźwigarze. W badaniach zastosowano platformę cyfrową zaprojektowaną w środowisku MATLAB [46].

Badania pomiaru odkształceń w dźwigarze mostu, przy zmiennym położeniu wózka z obciążeniem badawczym, zrealizowano z użyciem tensometrów indukcyjnych i tensometrów rezystancyjnych. W obydwu przypadkach wyniki badań pozycji wózka na moście były weryfikowane z wynikami uzyskiwanymi z czujnika impulsowo-obrotowego (enkodera) zamocowanego na kole jezdnym nie napędzanym. Sposób rozmieszczenia czujników pomiarowych stosowanych w badaniach przedstawiono na rysunku 6.7.



Rys. 6.7. Sposób rozmieszczenia czujników pomiarowych:
1,2,3 – tensometry indukcyjne, 4 – czujnik impulsowo-obrotowy

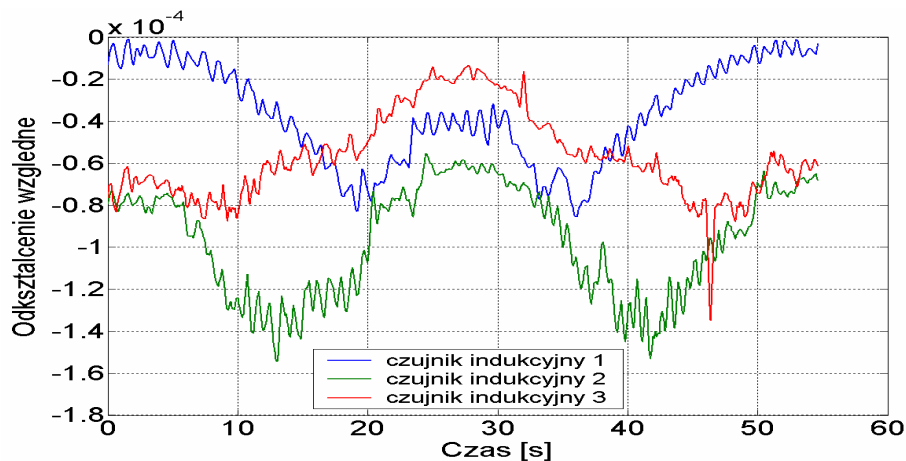
Rejestrację sygnałów pomiarowych z czujników indukcyjnych oraz czujnika impulsowo-obrotowego realizowano z użyciem komputera wyposażonego w kartę pomiarowo-sterującą PCL 818HG firmy Advantech oraz oprogramowania MATLAB/SIMULINK firmy *The MathWorks Inc* [45].

Sygnały z czujników indukcyjnych PR9310 poprzez wzmacniacze PR9304 podawane były jako sygnały napięciowe U proporcjonalne do odkształcenia dźwigara mostu do wejść analogowych zewnętrznego terminala zaciskowego, połączonego za pomocą przewodu DB-37 z kartą pomiarową PCL 818HG (rys. 6.3). Sygnał z czujnika impulsowo-obrotowego przekazywany był do wejść cyfrowych karty pomiarowej, gdzie był interpretowany jako przesunięcie oraz prędkość wózka.

Częstotliwość próbkowania wejść cyfrowych czujnika impulsowo-obrotowego (400 impulsów na obrót) została ustawiona na 1 [kHz], natomiast sygnały analogowe z czujników indukcyjnych próbkowano z częstotliwością 200 [Hz]. Rejestrowane z badań wyniki zapisywane były w postaci macierzy danych w środowisku MatLab. Sygnały napięciowe rejestrowane na karcie pomiarowej z tensometrów indukcyjnych były przeliczane na odkształcenia (z uwzględnieniem wartości sygnałów zmierzonych w czasie skalowania mostka z użyciem śruby mikrometrycznej). Przykładowe wyniki badań otrzymane za pomocą czujników indukcyjnych, przy przejeździe wózkiem wzdłuż dźwigara suwnicy z ciężarem badawczym 125[kN] przedstawiono na rysunku 6.8.

W badaniach zastosowano również układ pomiarowy złożony z tensometrów rezystancyjnych połączonych w układzie pełnego mostka, wzmacniaczy mostków prądu stałego (ADAM-3016), przetwornika obrotowo-impulsowego (enkodera) oraz komputera wyposażonego w kartę pomiarową połączoną z zewnętrznym terminalem zaciskowym PCLD-8115 (rys. 6.4).

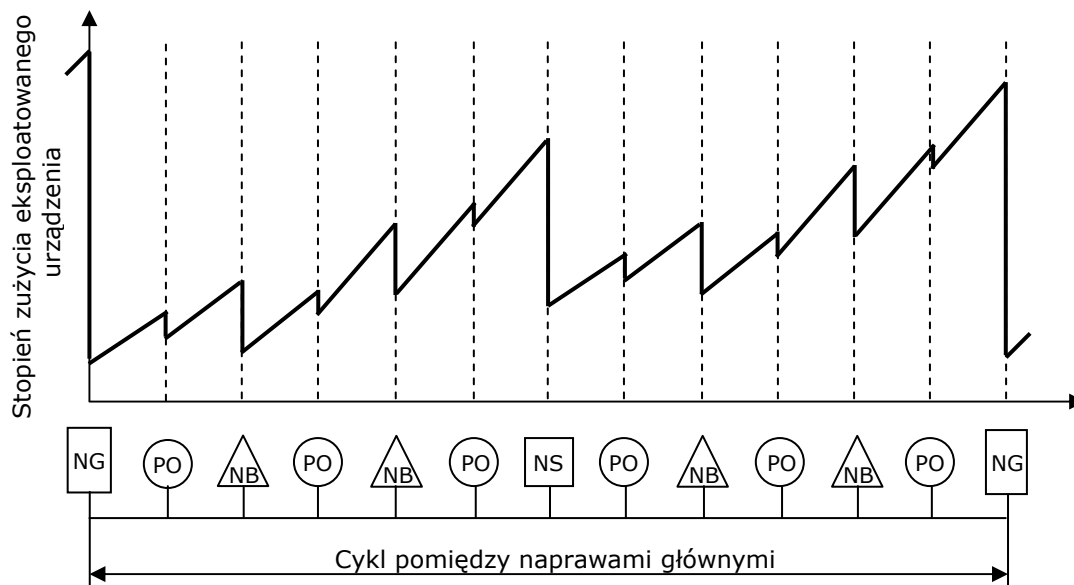
Sposób rozmieszczenia czujników pomiarowych był analogiczny do toru pomiarowego jak dla czujników indukcyjnych (rys. 6.7). Sygnały cyfrowe z tensometrów rezystancyjnych próbkowano z częstotliwością 100 [Hz]. W badaniach zastosowano również czujnik impulsowo-obrotowy.



Rys. 6.8. Przykładowe odkształcenia dźwigara suwnicy w funkcji czasu (pomiar z użyciem czujników indukcyjnych)

6.2. Proces decyzyjny PD3 w zakresie oceny stanu technicznego urządzenia

Nadal w eksploatacji suwnic pomostowych obowiązuje najczęściej tradycyjne podejście do procesu ich obsługi: w określonych przedziałach czasu realizowane są przeglądy i konserwacje oraz naprawy wyszczególnionych zespołów i elementów zgodnie z przyjętym harmonogramem (rys. 6.9).



Rys. 6.9. Struktura cyklu pomiędzy naprawami głównymi [29]:
NG - naprawa główna, PO - przegląd okresowy,
NB - naprawa bieżąca, NS - naprawa średnia

Równocześnie wszelkie nieprawidłowości zauważone w procesie użytkowania urządzenia są zgłaszane przez operatorów właściwym służbą utrzymania ruchu. Stwierdzone nieprawidłowości w urządzeniu, awarie, a ponadto podjęte obsługi są zapisywane w książkach właściwych służb (raportowa książka zmianowego utrzymania ruchu, dziennik konserwacji mechaników i elektryków, raportowa książka zmianowa elektryków, mechaników i operatorów urządzeń). Kwalifikacja podsystemu/zespołu/elementu suwnicy pomostowej do stanu niezdatności następuje w rezultacie porównania zarejestrowanego (najczęściej w rezultacie

niezależnie wykonanych badań) parametru eksploatacyjnego z wartościami granicznymi (GGK - górna granica kontrolna, DGK - dolna granica kontrolna). Przykładowe odchyłki dla wybranych parametrów eksploatacyjnych suwnic zestawiono w tabelach 6.1, 6.2, 6.3.

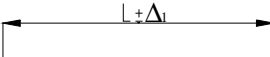
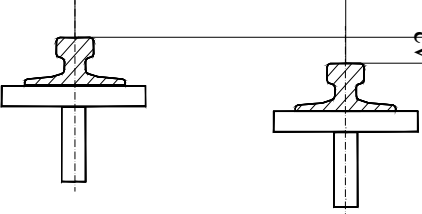
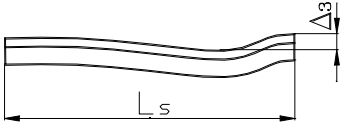
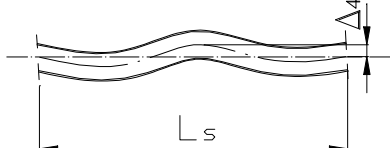
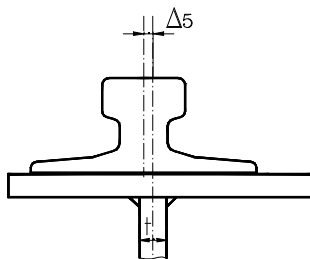
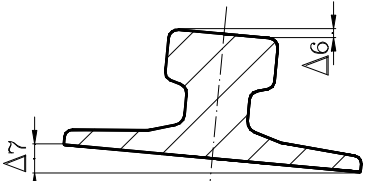
Tabela 6.1. Wymagania w zakresie ustawienia kół jezdnych suwnicy pomostowej [102]

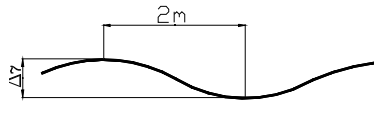
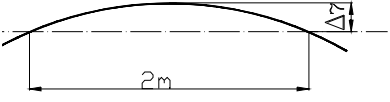

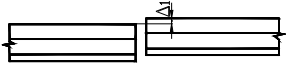
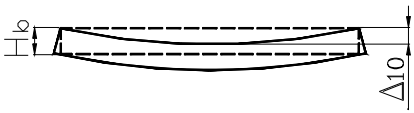
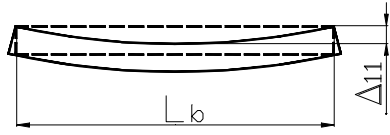
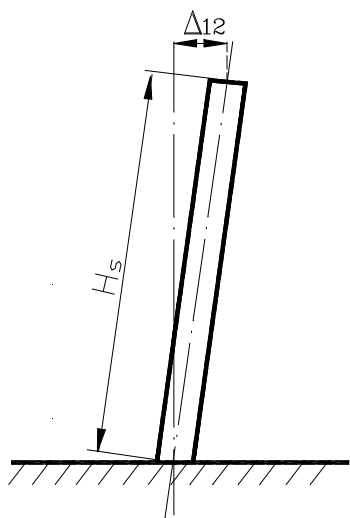
Lp.	Określenie odchyłki	Szkic	Dopuszczalna wielkość odchyłki [mm]	
1.	Rozstaw kół jezdnych w czołownicy L – rozpiętość kół jezdnych w osiach czołownic		dla $L \leq 10m$ $\Delta L = \pm [2 + 0,1 \cdot (L - 10)]$, dla $L > 10m$ $\Delta L_{max} = \pm 10$	
2.	Kąt pomiędzy osią dźwigara a osią koła jezdnego w płaszczyźnie pionowej		$0 \leq \text{tg } \alpha \leq 0,0025$	
3.	Kąt pomiędzy osią dźwigara a osią koła jezdnego w płaszczyźnie poziomej		Grupa natężenia pracy	tg β
			M1	0,0008
			M2 – M4	0,0006
			M5 – M8	0,0004
4.	Wzajemne przesunięcie osi przeciwległych kół jezdnych gdzie: L – rozpiętość kół w osiach czołownic		$\delta = 0,001 \cdot L$ $\delta \leq 15 \text{ mm}$	
5.	Wzajemne przesunięcie osi kół jezdnych znajdujących się na jednej szynie		max ± 1mm	

Tabela 6.2. Wybrane dopuszczalne wartości parametrów eksploatacyjnych dla dźwigara oraz wciągarki [111]

Lp.	Określenie odchyłki	Szkic	Dopuszczalna wielkość odchyłki [mm]
1.	Wygięcie w płaszczyźnie pionowej dźwigarów głównych o rozpiętości do 25m, mierzone przy obciążeniu dźwigarów masą własną		$0 \leq a \leq \frac{L}{750}$ $a_1 = 0,75a$ $\Delta \leq 4mm$ $a \pm \Delta \geq 0$ $a_1 \pm \Delta \geq 0$
2.	Wygięcie w płaszczyźnie pionowej dźwigarów głównych o rozpiętości powyżej 25m, mierzone przy obciążeniu dźwigarów masą własną		$0 \leq a \leq \frac{L}{750}$ $a_1 = 0,9a$ $a_1 = 0,55a$ $\Delta \leq 4mm$ $a, a_1, a_2 \pm \Delta \geq 0$
3.	Odchyłka równoległości osi dźwigarów mostu suwnicy pomostowej		$\Delta_1 \leq \frac{L}{1500}$ $\Delta_1 \leq 15mm$ <p>dla $L \leq 14m$: $\Delta_2 \leq 5mm$</p> <p>dla $14m < L \leq 29m$ $\Delta_2 \leq 6mm$</p> <p>dla $L > 29m$: $\Delta_2 \leq 8mm$</p>
4.	Odkształcenie nie obciążonej wciągarki, mierzone jako pionowa odchyłka Δ jednego koła jezdnych od płaszczyzny utworzonej przez trzy pozostałe		$\Delta \leq \frac{L_w}{1000}$

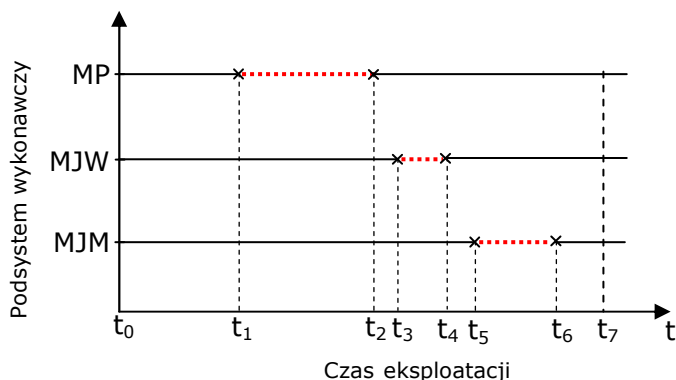
Tabela 6.3. Dopuszczalne odchyłki parametrów eksploatacyjnych nowych jezdni podsuwnicowych [102, 107, 112]

Lp.	Określenie odchyłki	Szkic	Dopuszczalna wielkość odchyłki [mm]
1.	Rozstaw szyn jezdnych gdzie: L – rozpiętość teoretyczna jezdni [m]		$L \leq 10\text{m}$ $\Delta_1 = \pm 3$ $L > 10\text{m}$ $\Delta_1 = \pm [3 + 0,25(L - 10)]$ $\Delta_1 \leq 15$
2.	Różnica poziomu szyn dla: (1) główek szyn jezdni podsuwnicowej, (2) główek szyn toru wciągarki (wózka), gdzie: a – rozstaw szyn toru wózka		(1) $\Delta_2 = \pm 10$ (2) $\Delta_2 = \pm \frac{a}{300}$
3.	Odchylenie osi szyny jezdnej od prostej w płaszczyźnie pionowej gdzie: L_s – długość szyny jezdnej [mm]		$\Delta_3 = \pm 10$
4.	Odchylenie osi szyny jezdnej od prostej w płaszczyźnie poziomej		$\Delta_4 = \pm 10$
5.	Przesunięcie osi szyny jezdnej względem osi belki podsuwnicowej, gdzie: t – szerokość wspornika		$\Delta_5 = \pm t/2$ $\Delta_5 \leq 15$
6.	Pochylenie poprzeczne szyny jezdnej		$\Delta_6 = 0,5\%$

7.	Krzywizna główki szyny jezdnej w kierunku wzdłużnym mierzona na odcinku 2 m		$\Delta_7 = \pm 2$
8.	Krzywizna osi szyny jezdnej w kierunku wzdłużnym mierzona na odcinku 2 m		$\Delta_8 = \pm 1$
9.	Wzajemne przesunięcie w styku sąsiednich szyn jezdnych a) poziome b) pionowe	a)  b) 	a) $\Delta_9 \leq 2$ b) $\Delta_{10} \leq 1$
10.	Wygięcie belki podsuwnicowej w płaszczyźnie pionowej, gdzie: H_b – wysokość belki podsuwnicowej [mm]		$\Delta_{10} = \pm \frac{H_b}{500}$
11.	Wygięcie belki podsuwnicowej w płaszczyźnie pionowej (strzałka ugięcia od ciężaru własnego), gdzie: L_b – rozpiętość belki podsuwnicowej [mm]		$\Delta_{11} = \pm \frac{L_b}{1000}$
12.	Odchylenie osi słupa od pionu: □ w konstrukcjach stalowych: (1) przy wysokości słupa do 15 m (2) przy większych wysokościach □ w konstrukcjach żelbetowych: (3) przy wysokości słupa do 10 m (4) przy większych wysokościach gdzie: H_s – wysokość słupa		(1) $\Delta_{12} = \pm 15$ (2) $\Delta_{13} = \pm \frac{H_s}{1000}$ $\Delta_{14} = \max 35$ (3) $\Delta_{15} = \pm 10$ (4) $\Delta_{16} = \pm \frac{H_s}{1000}$

Na podstawie zapisów, mających historyczny charakter zdarzeń w procesie eksploatacji suwnic, możliwa jest analiza i prezentacja dla potrzeb decyzyjnych PD3 z wykorzystaniem narzędzi typu SPC (ang. *Statistical Process Control*) (rys. 2.10).

Na rysunku 6.10 przedstawiono stany zdatności i niezdatności podsystemu wykonawczego badanej suwnicy pomostowej. Mechanizm podnoszenia był w stanie obsługiwanym w czasie od $t_1 \div t_2$, mechanizm jazdy wózka w przedziale czasu od $t_3 \div t_4$ natomiast mechanizm jazdy mostu w przedziale czasu $t_5 \div t_6$. Rozpatrywanym czasem eksploatacji urządzenia był przedział czasu od $t_0 \div t_7$.



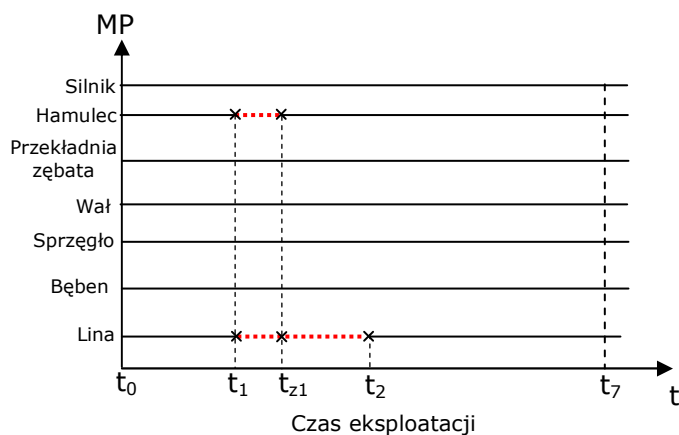
Rys. 6.10. Wybrane czasy zdatności i niezdatności dla podsystemu wykonawczego suwnicy pomostowej, MP - mechanizm podnoszenia, MJM - mechanizm jazdy mostu, MJW - mechanizm jazdy wózka

W suwnicach pomostowych struktury wyróżnionych podsystemów mają szeregowy charakter. Oznacza to, że jeżeli jeden z zespołów (przykładowo: silnik) jest w stanie niezdatności to wyróżniony podsystem (np. mechanizm jazdy mostu) zostaje zakwalifikowany do stanu niezdatności. Przyjmujemy, że urządzenie jest zdadne, jeżeli wszystkie jego podsystemy są zdadne. W eksploatacji środków transportowych przyjmuje się również, że zespoły mogą znajdować się w stanie zdadności pośredniej. W przypadku suwnicy pomostowej zdarzenie zdadności pośredniej zespołu eliminuje ją z użytkowania, natomiast w innych środkach transportowych może oznaczać kwalifikowanie do stanu zdadności.

Sposobem kwalifikowania urządzenia (podsystemu, zespołu, elementu) do stanu zdadności lub niezdatności jest to, że obserwowany parametr eksploatacyjny charakteryzujący dane urządzenie (podsystem, zespół, element) mieści się w granicach dopuszczalnych lub jest poza jego wartością dopuszczalną (tabela 6.1, 6.2, 6.3).

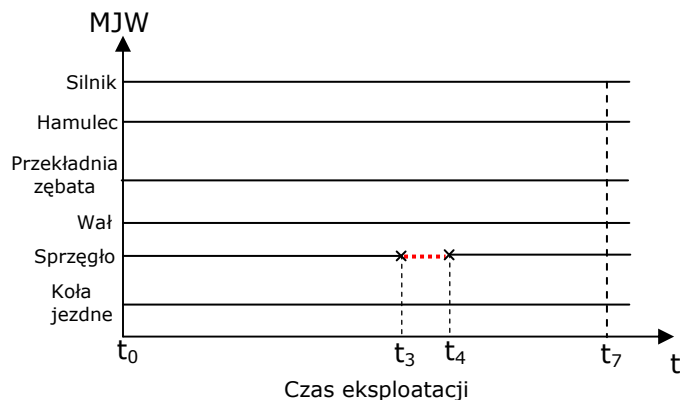
Przykładowe historie przyczyn kwalifikacji mechanizmów ruchu badanej suwnicy ($Q=150[\text{kN}]$, $L=12,5[\text{m}]$) do stanu niezdatności przedstawiono na rysunkach 6.11÷6.13.

Rysunek 6.11 przedstawia mechanizm podnoszenia, w którym nastąpiła awaria hamulca ($t_1 \div t_{z1}$) i jednocześnie ze względu na zły stan cięgna linowego, została podjęta decyzja o wymianie liny ($t_1 \div t_2$).



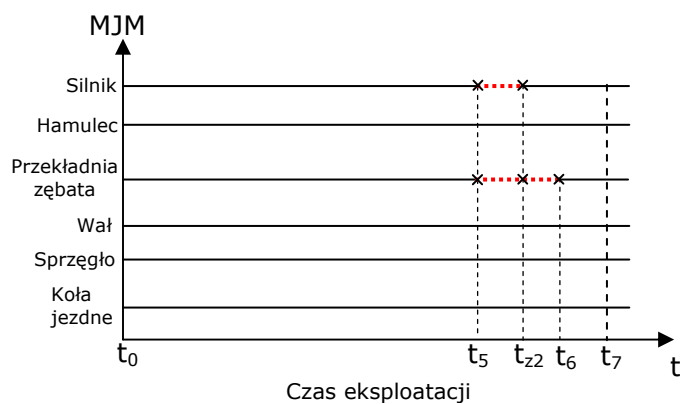
Rys. 6.11. Przykładowe czasy zdatności i niezdatności dla wybranych zespołów mechanizmu podnoszenia (MP) suwnicy pomostowej

Rysunek 6.12 przedstawia mechanizm jazdy wózka z czasem na obsługę sprzęgła ($t_3 \div t_4$).



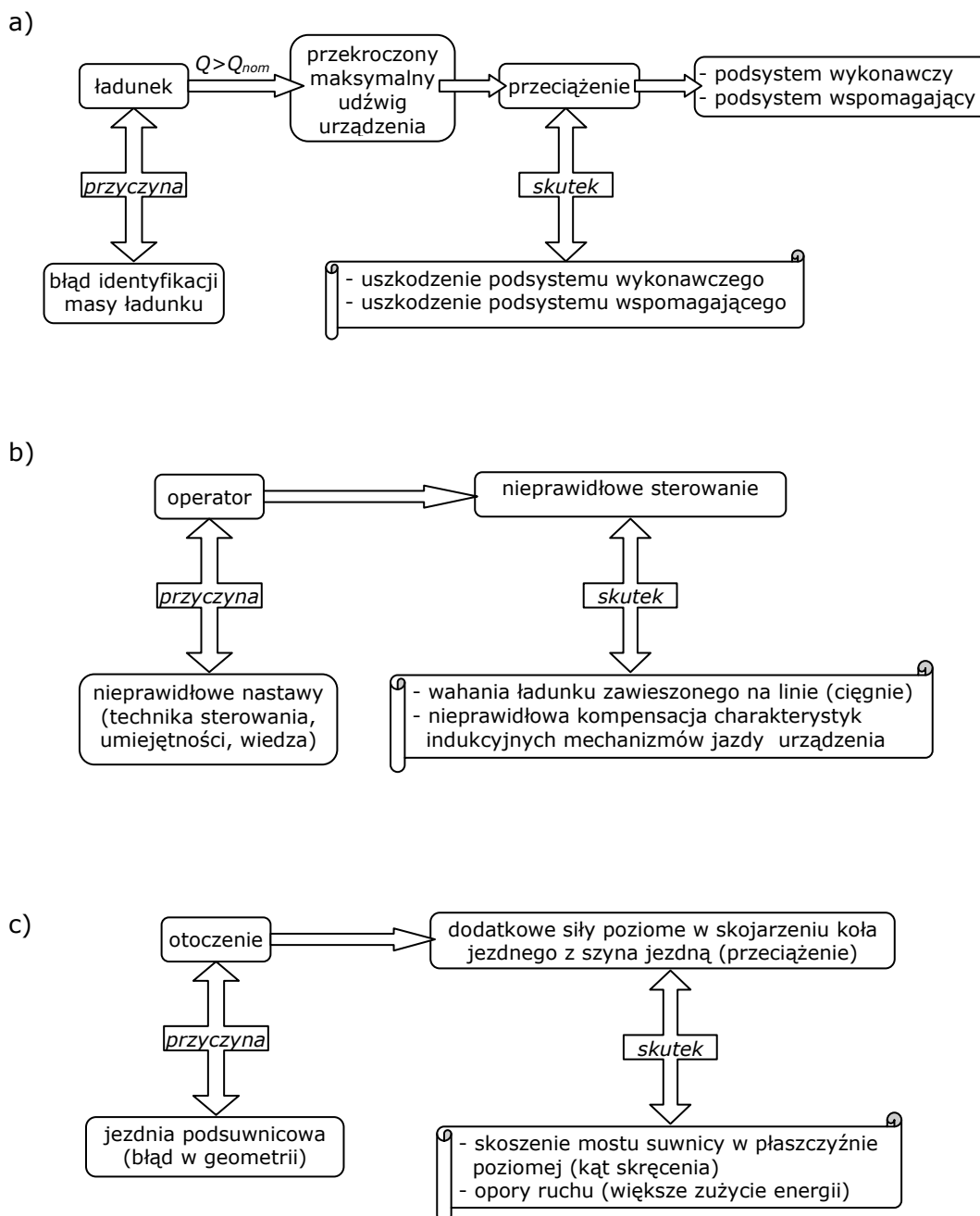
Rys. 6.12. Przykładowe czasy zdatności i niezdatności dla wybranych zespołów mechanizmu jazdy wózka (MJW) suwnicy pomostowej

Rysunek 6.13 przedstawia mechanizm jazdy mostu, w którym nastąpiła awaria silnika ($t_5 \div t_{22}$) a ponadto obsłudze musi być poddana przekładnia zębata ($t_5 \div t_6$).



Rys. 6.13. Przykładowe czasy zdatności i niezdatności dla wybranych zespołów mechanizmu jazdy mostu (MJM) suwnicy pomostowej

Innym sposobem wykrycia wyróżnionych nieprawidłowości jest analiza związków przyczynowo-skutkowych zachodzących zdarzeń podczas eksploatacji urządzenia. Przykładowe analizy przyczynowo-skutkowe zdarzeń zachodzących w suwnicy pomostowej przedstawiono na rysunku 6.14.



Rys. 6.14. Wybrane analizy przyczynowo-skutkowe: a) ładunku, b) operatora i sterowania, c) niezdatności otoczenia (jezdni podsuwnicowa)

6.3. Układ pozyskiwania informacji dla potrzeb decyzyjnych

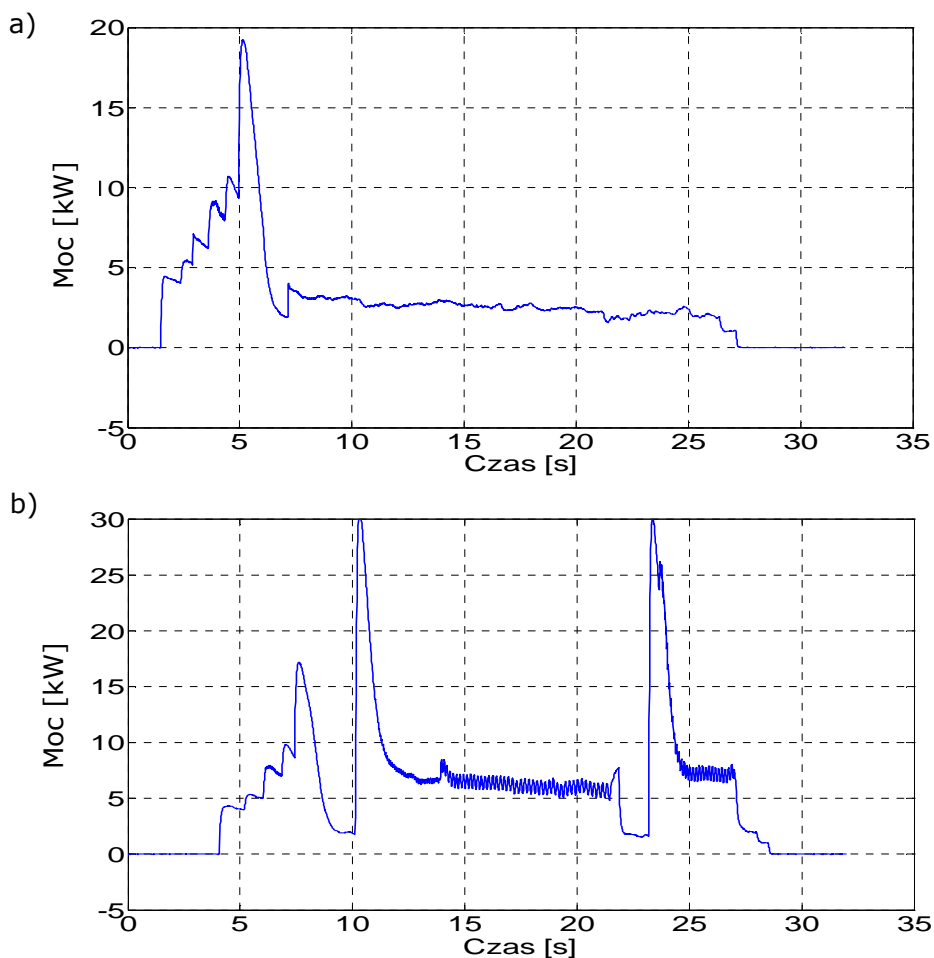
Istotnym w podsystemie wspierania procesu działania (rys. 6.1) są informacje o procesie użytkownika pozyskiwane przez sensory (monitoring). Zastosowane w suwnicach pomostowych będących przedmiotem badań układy pomiarowe (rys. 6.27) przedstawiono w rozdziale 6.1, a ponadto w rozdziałach 5.2 oraz 5.3.

Umożliwiają one pozyskiwanie informacji o zmianach wybranych parametrów eksploatacyjnych suwnic, zarówno w układach *off-line* i *on-line*. Zostały one przetestowane z wynikiem pozytywnym na suwnicach pomostowych w warunkach przemysłowych. Przyjętymi wskaźnikami oceny stanu technicznego urządzenia i poprawności realizowanych zadań transportowych były:

- przeciążenia w układach napędowych mechanizmów ruchu urządzenia (moc czynna pobierana przez układy napędowe),
- kąt ukosowania mostu suwnicy,
- odkształcenia i naprężenia konstrukcji mostu oraz lin jako funkcja obciążenia i położenia wciągarki suwnicy,
- dokładność pozycjonowania transportowanego ładunku (pozycja, prędkość, kąt wychylenia transportowanego ładunku).

Wybrane przetestowane układy pomiarowe i otrzymane z badań wyniki przedstawiono poniżej.

Pomiar przeciążenia w układach napędowych polegał na pomiarze mocy czynnej poszczególnych mechanizmów roboczych. Ze względu na możliwość ruchu maksymalnie dwoma mechanizmami na rysunku 6.15a przedstawiono pomiar mocy czynnej mechanizmu jazdy mostu i wózka, a na rysunku 6.15b jazdy mostu i mechanizmu podnoszenia. Pomiar przeprowadzono na laboratoryjnej suwnicy pomostowej (rozdział 3.2).

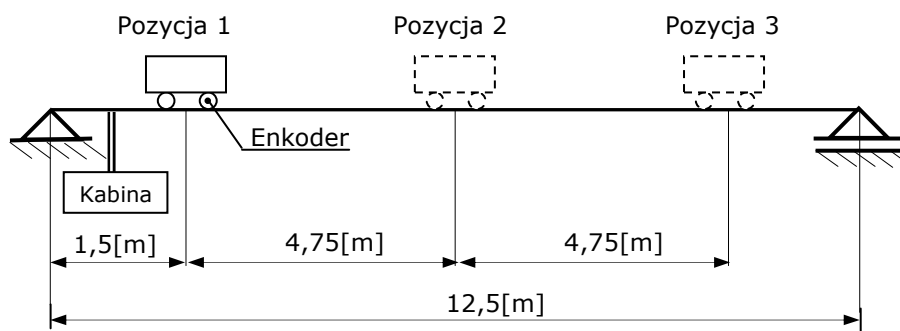


Rys. 6.15. Charakterystyki czasowe mocy: a) mechanizmu jazdy mostu i wózka, b) mechanizmu jazdy mostu i mechanizmu podnoszenia

W rezultacie przeprowadzonych badań stwierdzono, że dla jazdy mostem suwnicy, w fazie rozruchu zmierzona maksymalna moc czynna pobrana przez układ wyniosła około 17[kW], a podczas realizacji przez urządzenie pracy w fazie ustalonej - rejestrowana moc wynosiła około 2[kW] (rys. 6.15a). W trakcie pracy mechanizmu jazdy mostu dodatkowo uruchamiany był mechanizm jazdy wózkiem, w rezultacie którego następował wzrost mocy czynnej przy rozruchu do około 5[kW]. Moc rejestrowana podczas fazy ustalonej z dwoma załączonymi jednocześnie mechanizmami ruchu wynosiła ponad 2[kW].

W rezultacie analizy rysunku 6.15b można stwierdzić, że maksymalna moc czynna dla mechanizmu podnoszenia wyniosła około 30[kW]. Natomiast rejestrowana moc dla stanu ustalonego, dla mechanizmu jazdy mostu i mechanizmu podnoszenia była na poziomie około 6-7[kW].

Na suwnicy pomostowej (rys. 3.26) przeprowadzono badanie kąta ukosowania mostu urządzenia w płaszczyźnie poziomej. Pomiary przeprowadzono przy trzech różnych pozycjach wózka (rys. 6.16). Schemat rozmieszczenia czujników przedstawiono na rysunku 3.27.



Rys. 6.16. Schemat położenia wózka na moście suwnicy

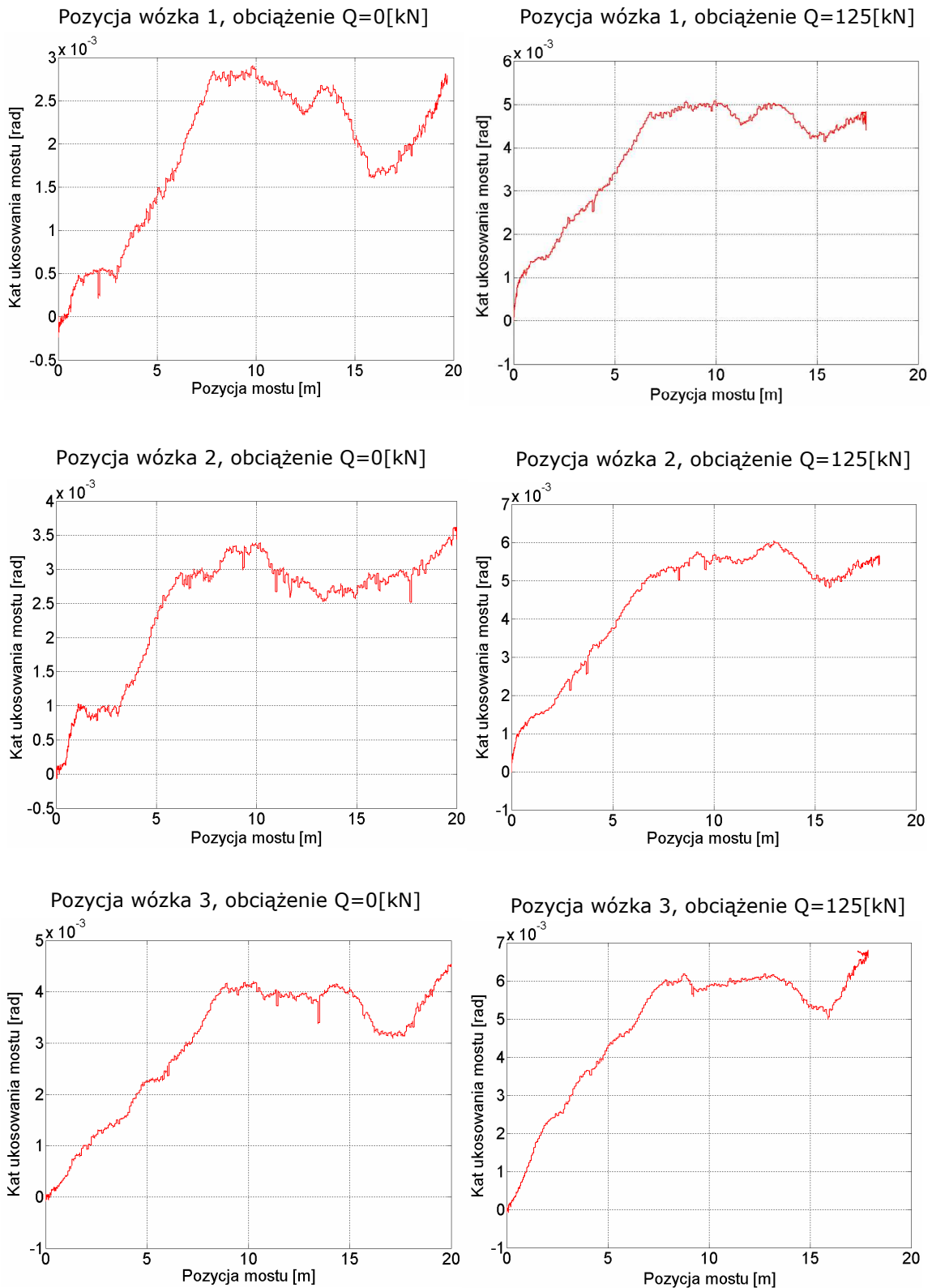
Pomiar został wykonany przy obciążeniu $Q=0$ [kN] i $Q=125$ [kN]. Przykładowe wyniki kąta ukosowania mostu przedstawiono na rysunku 6.17.

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że największy kąt ukosowania jest wówczas gdy wózek znajduje się na skraju mostu od strony trolei (pozycja 3), zarówno przy obciążeniu $Q=0$ [kN] jak i $Q=125$ [kN]. Dla obciążenia $Q=0$ [kN] maksymalny kąt ukosowania wynosi około 0,0045[rad], natomiast dla $Q=125$ [kN] - około 0,0065[rad].

Ukosowanie mostu suwnicy pomostowej ma niekorzystny wpływ na proces użytkowania. Najczęstszymi przyczynami prowadzącymi do ukosowania mostu suwnicy są [6]:

1. nierównoległości szyn jezdnych podtorza,
2. niedokładności montażowe kół jezdnych,
3. niesymetryczne obciążenia mostu,
4. nierównomierne odkształcenie końców wału napędowego mechanizmu jazdy podczas pracy nieustalonej (napęd centralny).

Skutkiem skoszenia mostu są dodatkowe opory jazdy mostu spowodowane dodatkowym tarciem obrzeży kół o główki szyn, a ponadto niekorzystne są czasy zdadności eksploatacyjnej kół jezdnych i zużycie energii w procesie użytkowania.

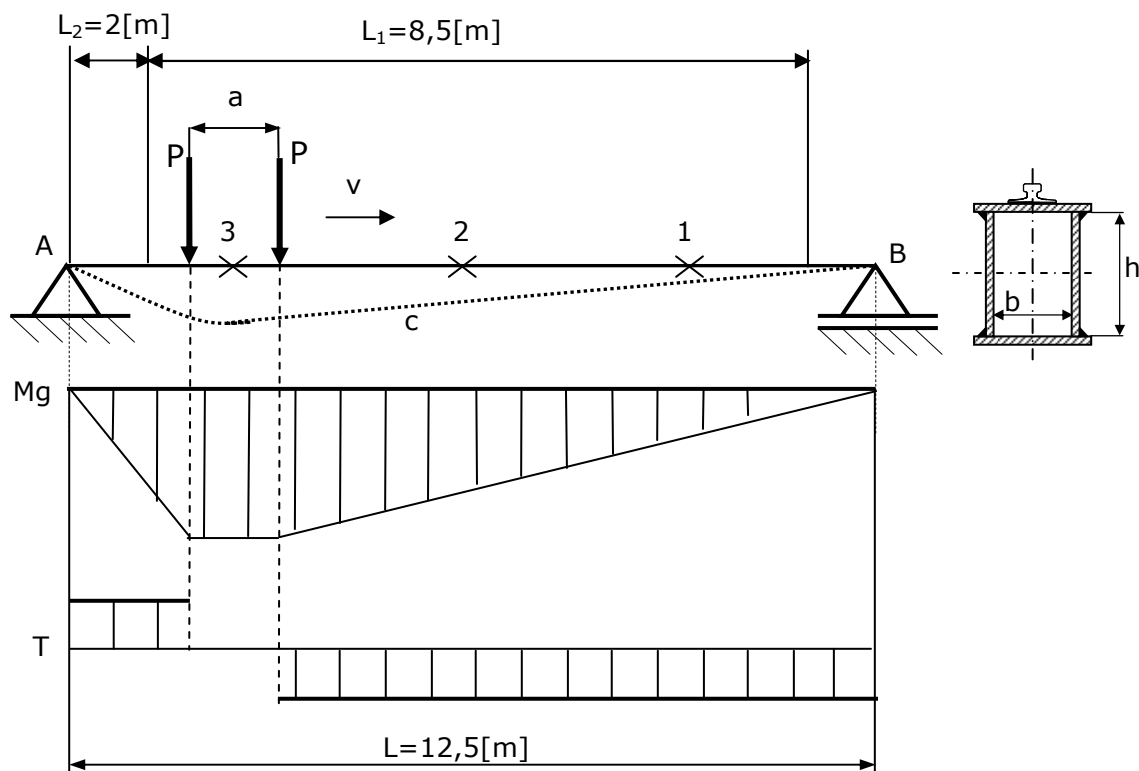


Rys. 6.17. Przykładowe wyniki kąta ukosowania mostu

Podczas pozyskiwania informacji (monitoringu) o zmianach właściwości urządzenia w procesie użytkowania istotnym zagadnieniem jest integracja pomiarów różnych parametrów eksploatacyjnych w celu uzyskania możliwie obszernej wiedzy

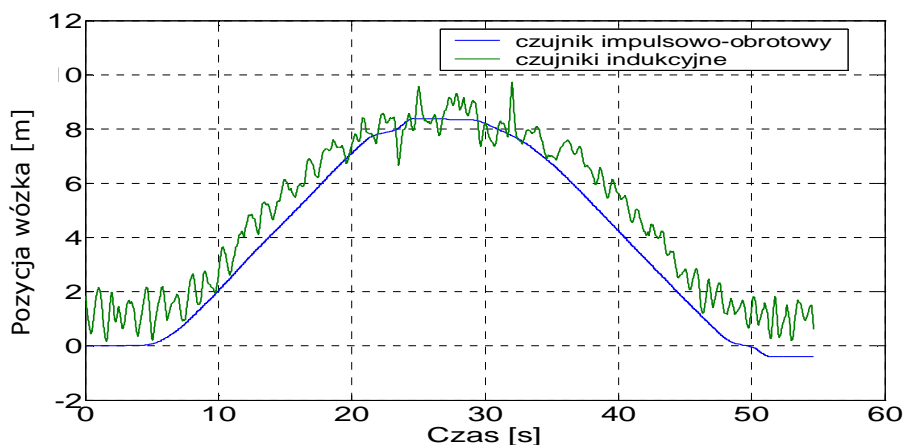
o zachodzących zdarzeniach. Przykładem jest opracowany sposób identyfikacji położenia wózka wciągarki na moście w funkcji rejestrowanych w pasie górnym dźwigara naprężeń.

Na podstawie analizy wytrzymałościowej dźwigara badanej suwnicy pomostowej (rozdział 3.2) opracowano metodykę wyznaczenia pozycji wózka na długości dźwigara mostu suwnicy pomostowej. W metodzie wykorzystano dwa tensometry (1) i (3) - rysunek 6.7. Schemat obciążenia dźwigara suwnicy pomostowej z wciągarką na moście, można przedstawić w uproszczeniu w postaci schematu - rysunek 6.18.

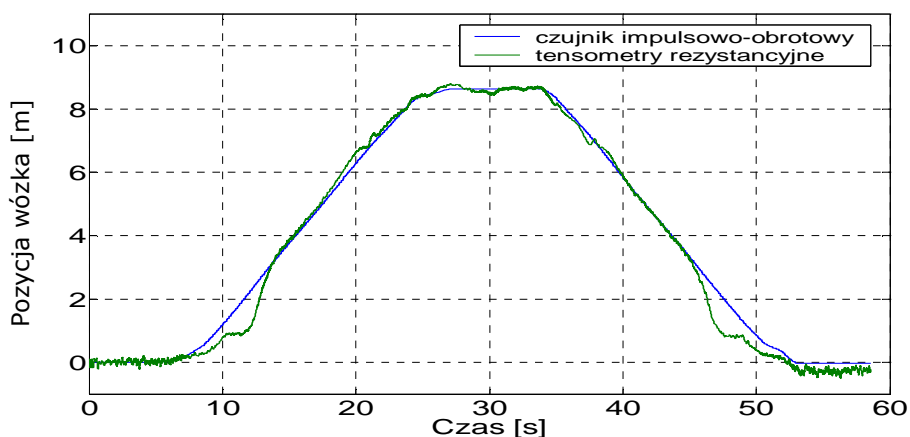


Rys. 6.18. Schemat obciążenia belki (dźwigara) dwoma siłami poprzecznymi wraz z wykresem momentu giętego i siły tnącej: a - rozstaw osi kół wciągarki [m]; b - rozstaw środników [m]; h - wysokość środników [m]; P - siła nacisku pochodząca od koła jezdnego wciągarki [kN]; v - prędkość jazdy wciągarki [m/s]; A - miejsce podparcia suwnicy od strony kabiny; B - miejsce podparcia suwnicy po przeciwnej stronie kabiny; 1, 2, 3 - czujniki tensometryczne; c - linia przedstawiająca (w powiększeniu) odkształcenie belki; Mg - wykres momentu giętego w miejscach zamontowania czujników tensometrycznych; T - wykres sił tnących; L - rozpiętość mostu suwnicy [m]; L_1 - obszar roboczy [m]; L_2 - obszar wyłączony z pomiaru [m].

Z użyciem opracowanej metodyki wyznaczono charakterystykę zmian odkształceń dźwigara pod obciążeniem w funkcji położenia wózka z ładunkiem wzdłuż mostu suwnicy pomostowej (rys. 6.8). Przykładowe wyniki badań zmian położenia wózka na długości dźwigara suwnicy pomostowej przedstawiono na rysunku 6.19 (wyznaczony za pomocą czujników indukcyjnych oraz czujnika impulsowo-obrotowego) oraz rysunku 6.20 (wyznaczony za pomocą tensometrów rezystancyjnych oraz czujnika impulsowo-obrotowego).



Rys. 6.19. Wykres zmian położenia wózka wzdłuż dźwigara (wyznaczony za pomocą czujników indukcyjnych oraz czujnika impulsowo-obrotowego)

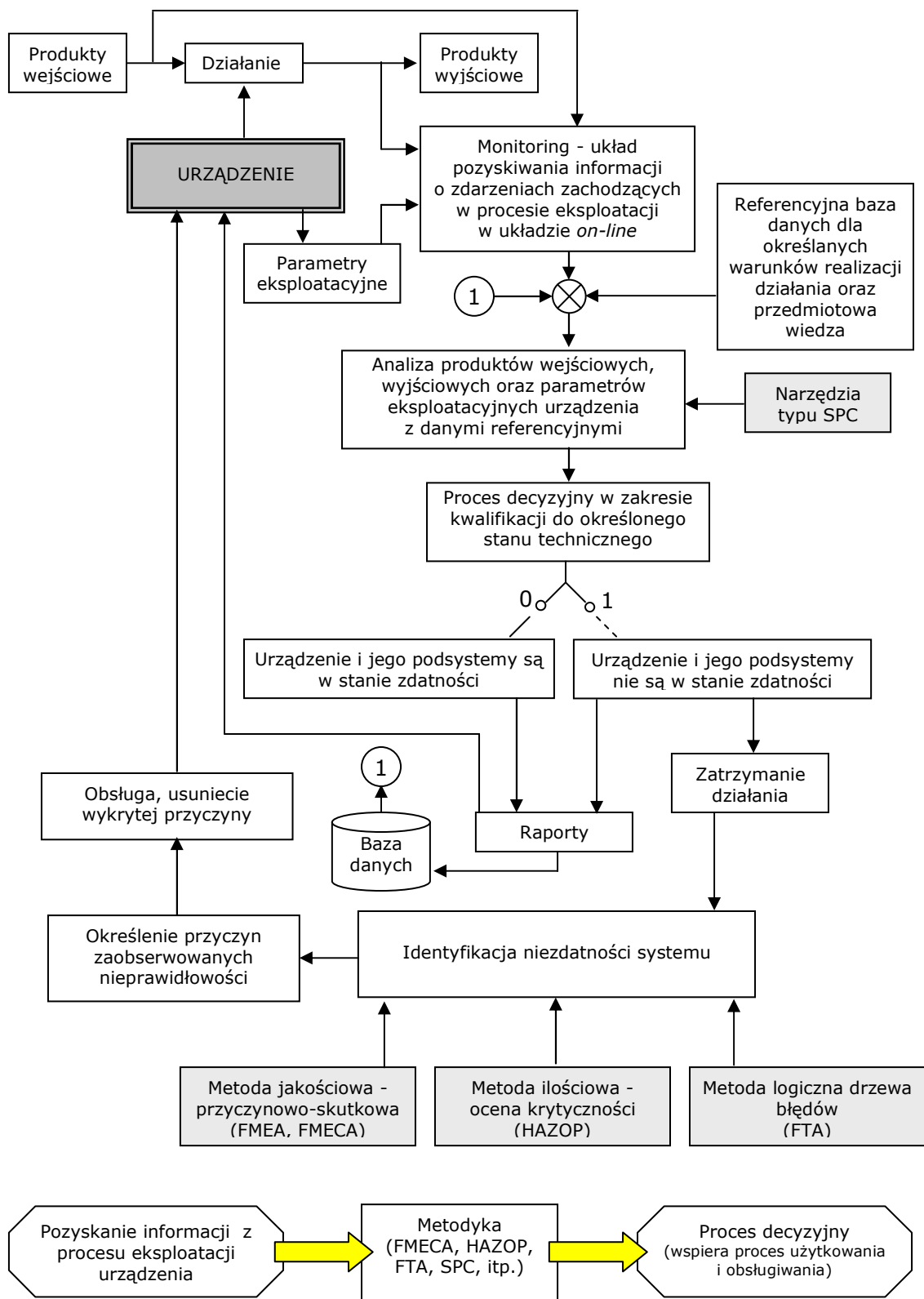


Rys. 6.20. Wykres zmian położenia wózka wzdłuż dźwigara suwnicy pomostowej (wyznaczony za pomocą czujników rezystancyjnych i czujnika impulsowo-obrotowego)

W rezultacie przeprowadzonych badań zrealizowanych na obiekcie rzeczywistym i uzyskanych wyników stwierdzono, że koncepcja zastosowania czujników tensometrycznych i tensometrów rezystancyjnych dla określania pozycji wózka na długości dźwigara mostu suwnicy pomostowej oraz do oceny stanu konstrukcji jest metodą możliwą do zastosowania w praktyce [79].

6.4. Proces decyzyjny PD4 w zakresie jakościowej oceny realizacji działania przez urządzenie

Na rysunku 6.21 przedstawiono algorytm procesu decyzyjnego PD4 wykorzystującego informacje pozyskiwane (z układów pomiarowych) z użytkownika urządzenia oraz metody przyczynowo-skutkowe. Skutkiem procesu decyzyjnego jest informacja o poprawności działania urządzenia lub w przypadku wystąpienia nieprawidłowości - uaktywnienie alarmu albo jego zatrzymanie. Informacja o wystąpieniu nieprawidłowości w systemie uruchamia procedurę identyfikacji przyczyn zaistniałej nieprawidłowości w oparciu o heurystyczne bazy wiedzy oparte na analizach FTA (rys. 6.23), FMECA (rys. 6.28) oraz HAZOP (rys. 6.29).

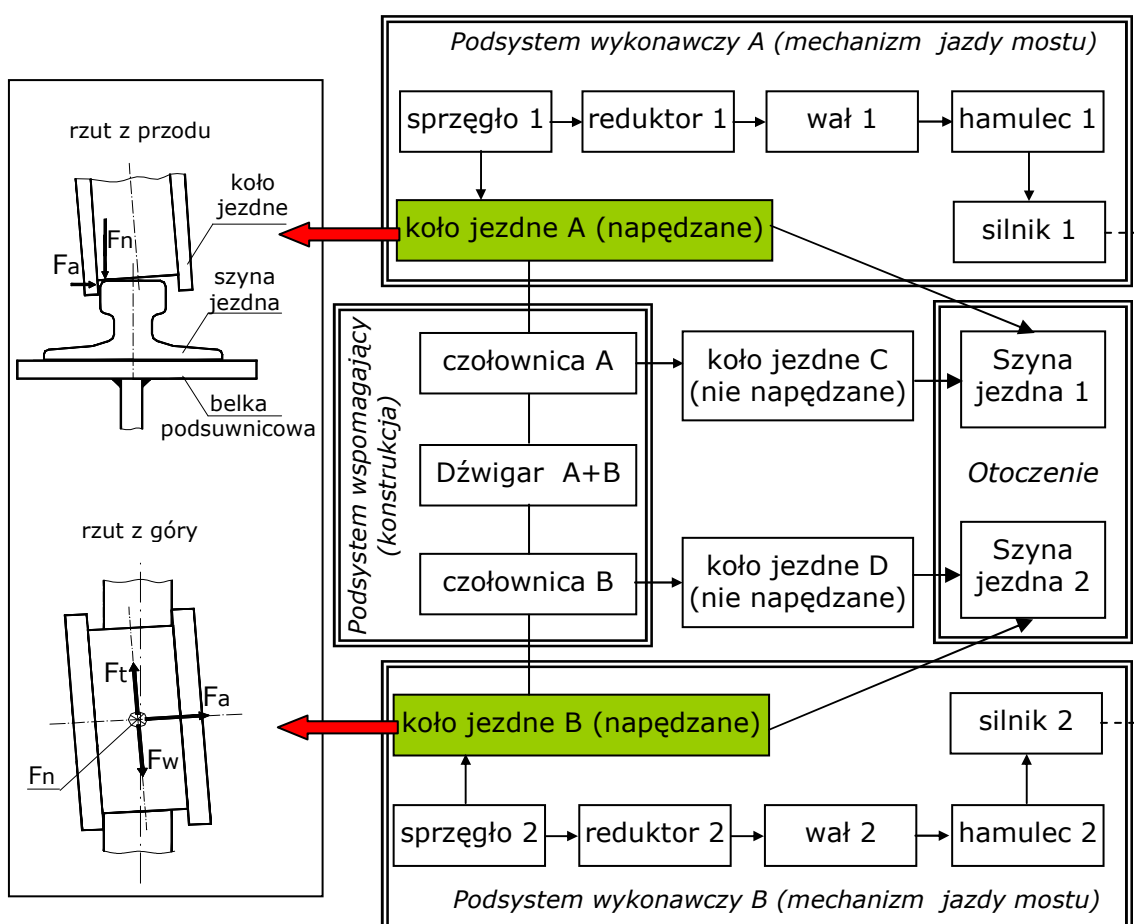


Rys. 6.21. Algorytm układu decyzyjnego wspomagającego eksploatację urządzenia

W wyniku dekompozycji funkcjonalnej urządzenia (rys. 6.2) można identyfikować źródła zmian stanu technicznego urządzenia oraz możliwe zdarzenia przyczynowo-skutkowe w zakresie produktów wyjściowych. Przy pomocy metody drzewa błędów (FTA), możliwa jest budowa logicznych zależności umożliwiających zakwalifikowanie urządzenia do stanu zdadności lub niezdadności. Drzewo błędów jest graficznym przedstawieniem logicznych kombinacji zachodzących w procesie użytkowania urządzenia zdarzeń. Stanowi zestawienie możliwych sposobów powstawania zagrożenia, istniejących zabezpieczeń oraz wskazuje na przyczyny, które mogą bezpośrednio prowadzić do powstania niekorzystnych zdarzeń.

Przykładowe drzewo błędów zostanie przedstawione w dalszej części pracy na przykładzie współpracy koła jezdne z szyną jezdnią (rys. 6.22). Analiza tego węzła ma istotne znaczenie dla kształtowania niezawodności eksploatacyjnej suwnicy pomostowej oraz procesu jej automatyzacji i osiągnięcia przez urządzenie wymaganej dokładności ruchów roboczych.

Na intensywność zużycia kół jezdnych istotny wpływ mają wartości siły poziomej F_a oraz pionowej F_n . W procesie eksploatacji suwnicy następują trwałe odkształcenia i zużycia elementów i zespołów, które powodują zwiększenie błędów wymiarów i skojarzeń, między innymi kątów β ustawienia kół jezdnych mostu względem szyny suwnicowej w płaszczyźnie poziomej.

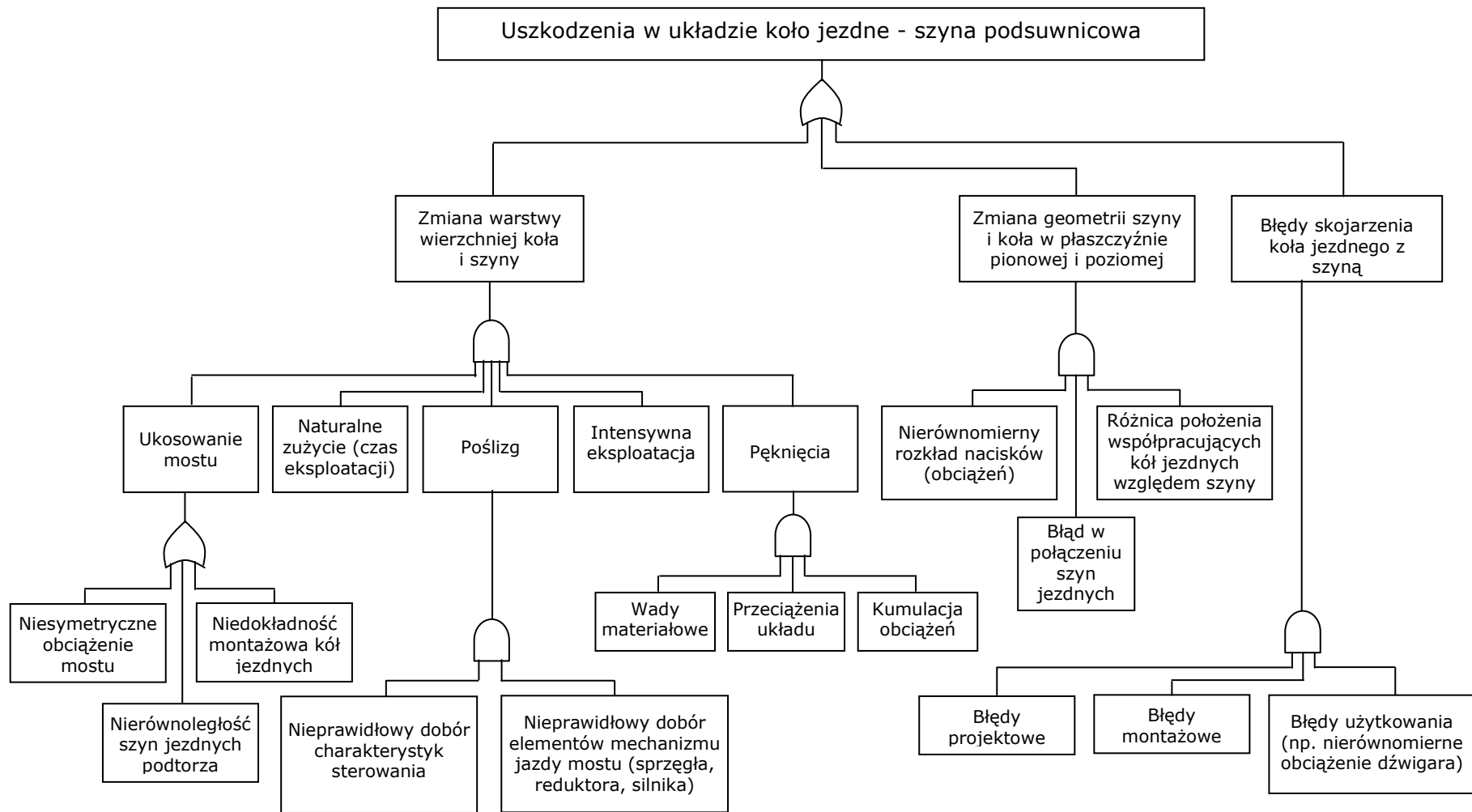


Rys. 6.22. Przykład współpracy kół z szyną jezdnią;
 F_a - siła pozioma boczna, F_n - siła pionowa, F_w - siła oporu ruchu, F_t - siła pociągowa (napędowa)

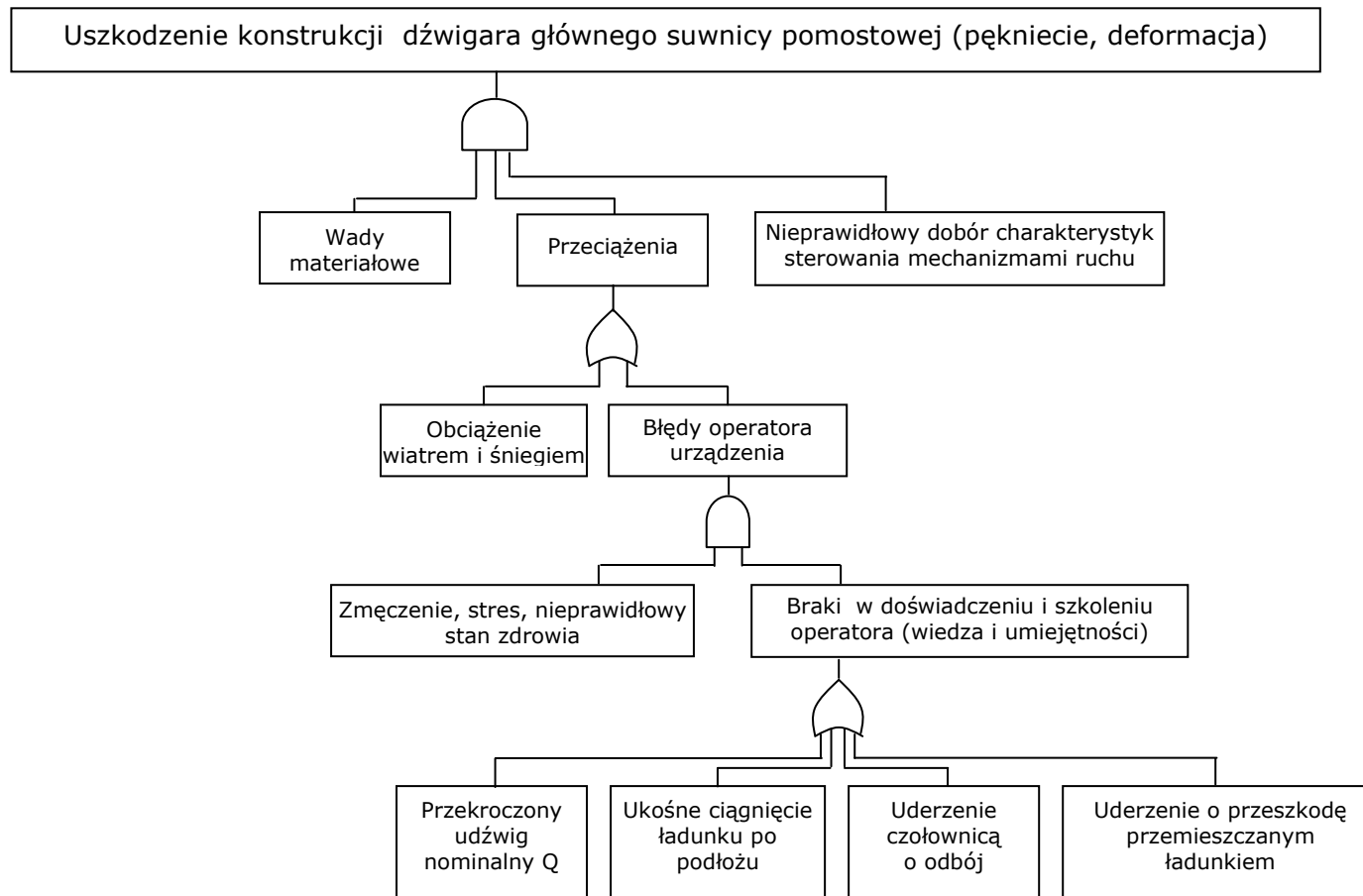
Mechanizm jazdy mostu suwnicy charakteryzuje wysoka awaryjność. Stanowi ona około 20% całkowitego czasu postoj suwnicy [64]. Przekroczenie dopuszczalnych wartości parametrów koła jezdne (średnica nominalna, szerokość bieżnika, grubość obrzeża) jest najczęstszą przyczyną kwalifikowania zestawu kołowego do wymiany. Obrzeża kół jezdnych stykają się z główką szyny na drodze wynoszącej ok. 70-80% przebiegu koła, dlatego też koła jezdne mostu wymienia się przede wszystkim z powodu zużycia ich obrzeży - około 90-95% [53]. Trwałość bieżnika walcowego koła jezdne jest cztery razy większa w porównaniu z trwałością obrzeży [38]. Średni czas bezawaryjnej pracy zestawów kołowych zależy od [64]: grupy natężenia pracy mechanizmu jazdy mostu, rodzaju napędu, prędkości jazdy mostu, sposobu prowadzenia kół jezdnych, warunków eksploatacji (skuteczności obsługi, sposobu użytkowania). Mechanizm jazdy mostu limituje pracę całej suwnicy. Usunięcie uszkodzenia jest czasochłonne i kosztowne, a sam mechanizm wymaga częstych zabiegów konserwacyjnych i remontowych. Przywrócenie stanu zdolności mechanizmu wiąże się najczęściej z koniecznością wymiany elementów lub zespołów.

Przykładowe drzewo błędów dla wybranych uszkodzeń w układzie koło-szyna przedstawiono na rys. 6.23, natomiast dla wybranych uszkodzeń zachodzących w konstrukcji mostu suwnicy pomostowej przedstawiono na rys. 6.24.

Metoda FMEA (ang. *Failure Modes and Effect Analysis*) umożliwia określenie potencjalnych przyczyn i skutków możliwych zdarzeń zachodzących w procesie użytkowania urządzenia, dla potrzeb przyszłych analiz jakościowych (FMECA) i ilościowych (HAZOP). Na rysunkach 6.25, 6.26, 6.27 przedstawiono odpowiednio schematy blokowe mechanizmów jazdy mostu z napędem centralnym (rys. 6.25) i indywidualnym (rys. 6.26) oraz działania mostu suwnicy (łącznie podsystemy wykonawczy - mechanizm jazdy mostem i wspomagający - konstrukcja mostu (rys. 6.27), na których wyróżniono produkty wejściowe i wyjściowe dla wyróżnionych zespołów urządzenia. Ponadto zaznaczono punkty pomiarowe rejestrowanych parametrów eksploatacyjnych urządzenia. Wyróżnione produkty wejściowe i wyjściowe dla podsystemu wykonawczego i wspomagającego suwnicy pomostowej przedstawiono odpowiednio w tabeli 6.4 i w tabeli 6.5 oraz dla jezdni podsuwnicowej w tabeli 6.6.



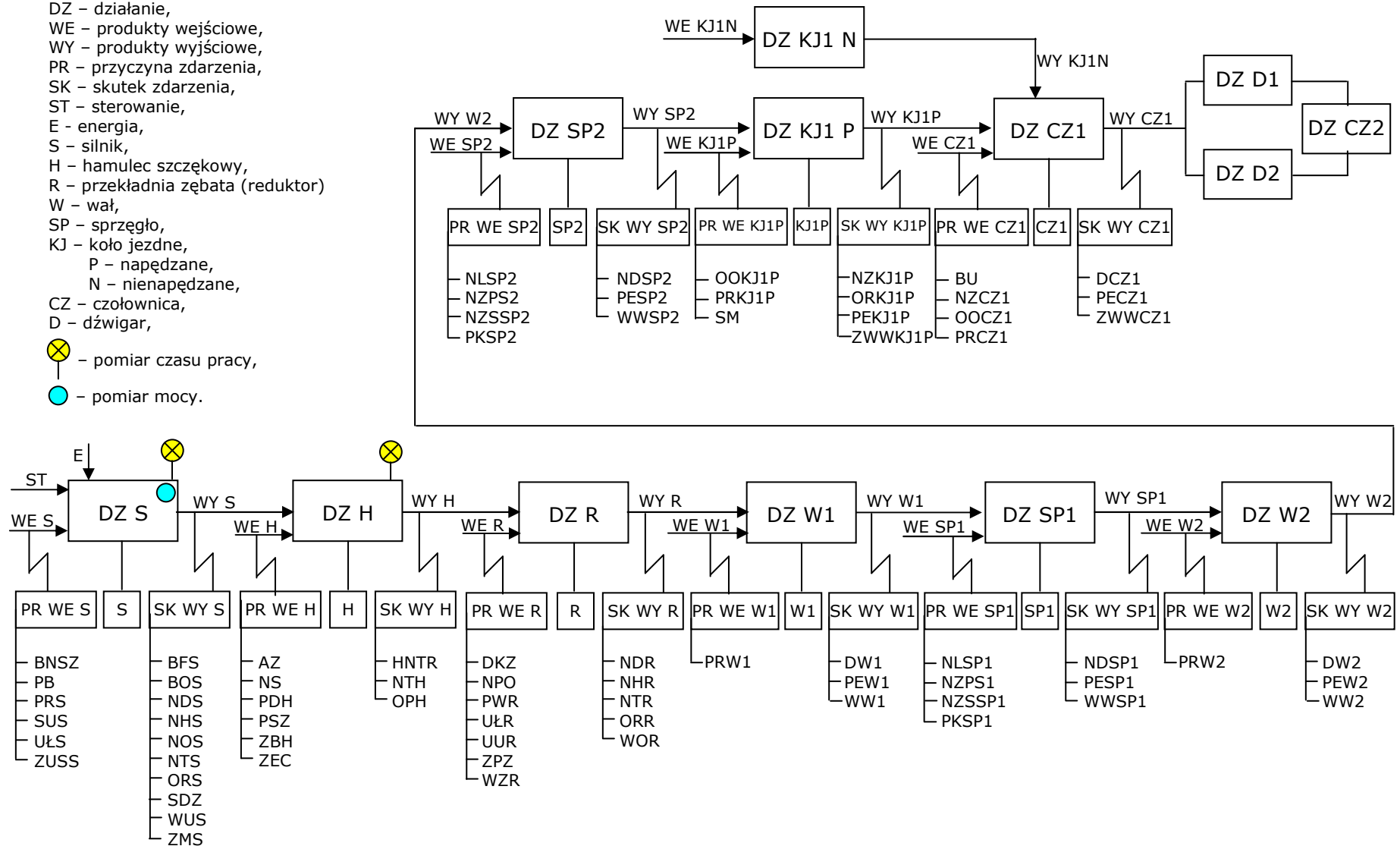
Rys. 6.23. Przykład drzewa zdarzeń FTA dla możliwych przyczyn uszkodzenia w układzie koło jezdne suwnicy pomostowej - szyna jezdna



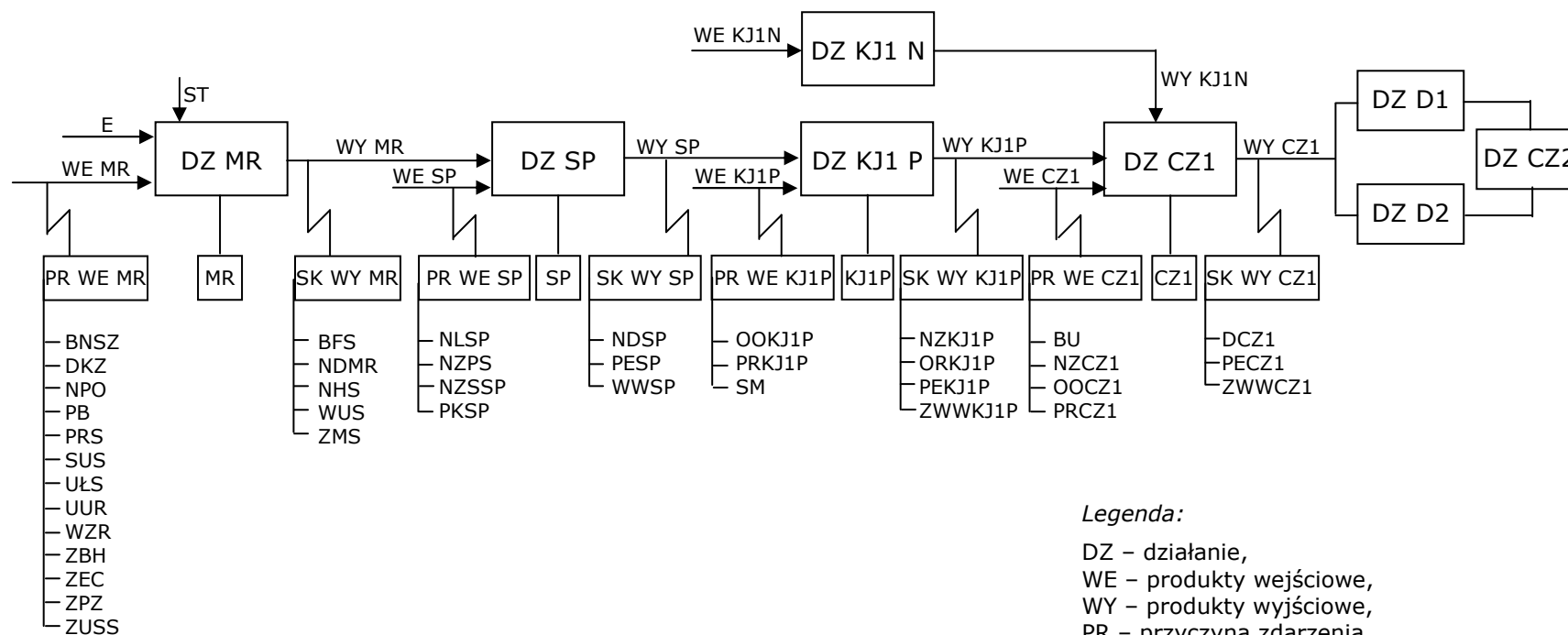
Rys. 6.24. Przykład drzewa zdarzeń FTA dla możliwych przyczyn uszkodzenia konstrukcji mostu suwnicy pomostowej

Legenda:

- DZ – działanie,
- WE – produkty wejściowe,
- WY – produkty wyjściowe,
- PR – przyczyna zdarzenia,
- SK – skutek zdarzenia,
- ST – sterowanie,
- E – energia,
- S – silnik,
- H – hamulec szczękowy,
- R – przekładnia zębata (reduktor),
- W – wał,
- SP – sprzęgło,
- KJ – koło jezdne,
P – napędzane,
N – nienapędzane,
- CZ – czołownica,
- D – dźwigar,
- ⊗ – pomiar czasu pracy,
- – pomiar mocy.



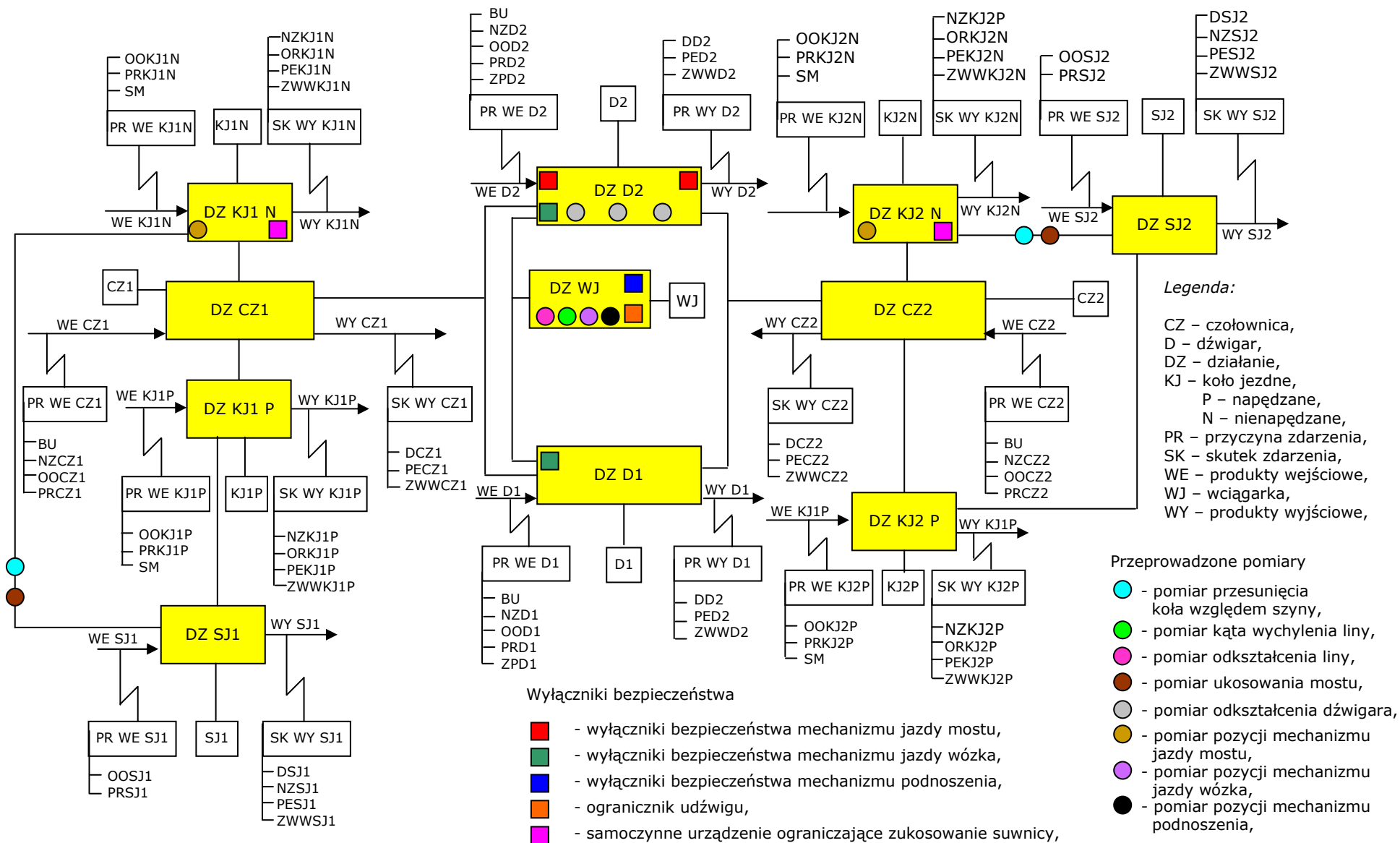
Rys. 6.25. Schemat blokowy przykładowego mechanizmu jazdy mostu z przekładnią pośrodku mostu (napęd centralny) oraz produkty wejściowe i wyjściowe i wyróżnione punkty pomiarowe - oznaczenie według tabeli 6.4, 6.5



Legenda:

DZ - działanie,
 WE - produkty wejściowe,
 WY - produkty wyjściowe,
 PR - przyczyna zdarzenia,
 SK - skutek zdarzenia,
 ST - sterowanie,
 E - energia,
 MR - motoreduktor,
 SP - sprzęgło,
 KJ - koło jezdne,
 P - napędzane,
 N - nienapędzane,
 CZ - czołownica,
 D - dźwigar.

Rys. 6.26. Schemat blokowy przykładowego mechanizmu jazdy mostu z napędem indywidualnym oraz produkty wejściowe i wyjściowe - oznaczenie według tabeli 6.4



Rys. 6.27. Schemat blokowy działania mostu suwnicy (podsystem wspomaganie i wykonawczy) oraz produkty wejściowe i wyjściowe z wyróżnionymi punktami pomiarowymi - oznaczenie według tabeli 6.4, 6.5, 6.6

Tabela 6.4. Przykładowe relacje przyczynowo - skutkowe dla podsystemu podsystemu wykonawczego (mechanizm jazdy mostu) suwnicy pomostowej

L.p	Zespół	Przyczyna (PR)	Skutek (SK)
1.	Silnik (S)	<p>BNSZ - brak napięcia w sieci zasilającej (brak prądu w sieci elektrycznej, spalony bezpiecznik lub wyłączony wyłącznik główny)</p> <p>PB - przepalone bezpieczniki (spowodowane przykładowo zwarcie w obwodzie elektrycznym, zwarcie w uzwojeniu stojana bądź wirnika, należy wymienić przepalone bezpieczniki na bezpieczniki o odpowiednim typie i o odpowiednich wartościach znamionowych)</p> <p>PRS - przeciążenia silnika (zbyt duże obciążenie, krótki czas rozruchu/hamowania, niewłaściwa charakterystyka napięcia zasilającego, zwarcie lub przerwa w uzwojeniu)</p> <p>SUS - spalanie uzwojenia silnika (może być spowodowane zbyt dużym obciążeniem, zmiennymi wartościami napięcia w zasilającej sieci elektroenergetycznej)</p> <p>UŁS - uszkodzone łożyska silnika (wynika to z nieodpowiedniego smarowania, zabrudzenia, złego ustawienia wału lub asymetrycznego obciążenia osi wirnika)</p> <p>ZUSS - zużyte szczotki silnika (szczotki ulegają zużyciu wskutek ciągłego docisku do komutatora)</p>	<p>BFS - błąd fazy silnika (wynika przeważnie z występowania faz o nierównych napięciach, co jest spowodowane przeciążeniami zasilającej sieci elektrycznej, nieodpowiednimi połączeniami lub wysoką opornością obwodu wyróżnionej fazy)</p> <p>BOS - brak obrotów silnika (może być między innymi spowodowane poprzez wyłączony wyłącznik główny, brak napięcia w jednej fazie, przepalone lub wyłączone bezpieczniki, uszkodzone główne zbieracze prądowe, przerwa w obwodzie łącznika krańcowego, rozłączony łącznik manipulacyjny lub nieodhamowany mechanizm przez hamulec)</p> <p>NDS - nadmierne drgania silnika (drgania silnika najczęściej wywołane są poprzez nieprawidłowo wyosionowany silnik, słabe mocowania, uszkodzone lub niewyosionowane łożyska, praca silnika wielofazowego pracującego z jedną fazą)</p> <p>NHS - nadmierny hałas (nadmierny hałas najczęściej spowodowany jest poprzez niejednorodną szczelinę powietrza lub niewyważony wirnik)</p> <p>NOS - nieprawidłowe osiowanie silnika (nieprawidłowe osiowanie może doprowadzić do uszkodzenia łożysk, wibracji i możliwych pęknięć końcówek wału)</p> <p>NTS - nadmierna temperatura silnika (grzanie) (grzanie silnika może być spowodowane poprzez przeciążenie silnika, obniżone napięcie zasilania, zwarcie wewnątrz uzwojenia stojana lub wirnika oraz nieodhamowanie mechanizmu poprzez hamulec)</p> <p>ORS - opory ruchu silnika (mogą być wywołane poprzez zatarcie łożysk, brak jednej fazy, zwarcie międzyzwojowe, błąd w połączeniu uzwojenia na tabliczce zaciskowej)</p> <p>SDZ - silnik nie działa (błąd w instalacji, wadliwe połączenie uzwojeń, zwarcie w silniku, spalony bezpiecznik)</p>

			<p>WUS - wada uzwojenia silnika (uszkodzenie uzwojenia (uzwojeń) jest spowodowane spadkiem termicznej charakterystyki izolacji na skutek przeciążenia silnika lub podania zbyt wysokiego lub zbyt niskiego napięcia. Usterka ta może pojawić się między innymi w momencie włączenia zasilania, rozładowania kondensatora)</p> <p>ZMS - zwarcia międzyfazowe, międzyzwojowe (na skutek niewłaściwej izolacji w uzwojeniu występuje zwarcie, co wynikać może z zabrudzenia, zużycia ściernego, wibracji lub przepięcia)</p>
2.	Hamulec (H)	<p>AZ - awaria zwalniaka (może być wywołana poprzez nieprawidłowy styk zwory zwalniaka z rdzeniem elektromagnesu, nadmiernego naciągnięcia sprężyny hamulca lub zawieszenia na dźwigni niewłaściwego obciążnika)</p> <p>NS - niewyregulowana sprężyna (należy prawidłowo wyregulować sprężynę)</p> <p>PDH - pęknięcie dźwigni (zaleca się stosować dźwignie stalowe zamiast żeliwnych, pęknięcia w dźwigniach stalowych można zaspawać)</p> <p>PSZ - pęknięcie lub osłabienie sprężyny zaciskowej (należy wymienić sprężynę na nową i wyregulować hamulec)</p> <p>ZBH - zanieczyszczenie bębna oraz elementów ciernych (spowodowane między innymi poprzez kurz, smar, olej, itp.)</p> <p>ZEC - zużyte elementy cierne, okładziny (zużyte elementy powinny zostać wymienione)</p>	<p>HNTR - hamulec nie trzyma, brak hamowania (zużyte lub zaoliwione okładziny lub tarcza hamulcowa, zmniejsza się współczynnik tarcia i wówczas nie występuje dostateczny moment hamujący)</p> <p>NTH - nadmierna temperatura, grzanie (nieodhamowanie hamulca, wysoka temperatura pomiędzy elementami ciernymi)</p> <p>OPH - opory ruchu podczas pracy hamulca (może to być spowodowane zatarciem w przegubach hamulca)</p>
3.	Przekładnia zębata – reduktor (R)	<p>DKZ - deformacja koła zębatego (należy wymienić koło zębate na nowe, ponieważ mogłoby to doprowadzić do różnych szarpnięć przy pracy, dalsze uszkodzenie mechanizmu)</p> <p>NPO - niewłaściwy poziom oleju (może to być spowodowane poprzez niewłaściwe uszczelnienie lub nie dokręcone śruby)</p> <p>PWR - pęknięcia wału (spowodowane zbyt dużym obciążeniem)</p>	<p>NDR - nadmierne drgania reduktora (poluzowane śruby, uszkodzone koło zębate, opory ruchu)</p> <p>NHR - nadmierny hałas reduktora (brak odpowiedniego smarowania kół zębatych oraz łożysk)</p> <p>NTR - nadmierna temperatura, grzanie (uszkodzone łożyska, nieprawidłowe zazębienia kół zębatych, zanieczyszczony smar)</p>

		<p>UŁR - uszkodzenie łożysk reduktora (uszkodzenie łożysk jest najczęściej spowodowane poprzez niedostateczne smarowanie, zmęczenie materiału, wadliwy montaż oraz zanieczyszczenie)</p> <p>UUR - uszkodzony uszczelniacz (należy wymienić uszczelnienie, poprawić powierzchnie uszczelniające)</p> <p>WZR - wyłamanie zęba w kole zębatym (należy wymienić koło zębate na nowe, ponieważ mogłoby to doprowadzić do różnych szarpnięć przy pracy, dalsze uszkodzenie mechanizmu)</p> <p>ZPZ - zużyta powierzchnia zębów (spowodowana przykładowo dużymi obciążeniami lub nieprawidłowym smarowaniem)</p>	<p>ORR - opory ruchu reduktora (nieprawidłowe zazębienie się kół zębatych, skrzywiony wał, brak smarowania)</p> <p>WOR - wyciek oleju z reduktora (przykładowo spowodowane poprzez poluzowane śruby, uszkodzone uszczelnienie)</p>
4.	Wał (W)	PRW - przeciążalność	<p>DW – deformacja wału (spowodowana niewspółosiowością lub dużymi obciążeniami)</p> <p>PEW – pęknięcie wału (nadmierne obciążenia)</p> <p>WW - „wyrobienia wałów” (spowodowane przykładowo poprzez długi czas eksploatacji, nieprawidłowe osiowanie)</p>
5.	Sprzęgło (SP)	<p>NLSP - nadmierne luzy w sprzęgle pomiędzy sworzniem a tulejką</p> <p>NZPS - niewłaściwe zamocowanie obydwu połówek na końcach wałów</p> <p>NZSS - nieprawidłowe zamocowanie sworzni w połowce sprzęgła</p> <p>PKSP - pęknięcie korpusu sprzęgła (należy wymienić sprzęgło na nowe,</p>	<p>NDSP - nadmierne drgania (poluzowane śruby mocujące tarcze, zdeformowany kształt sprzęgła, wyrobiony wał)</p> <p>PESP – pęknięcie sprzęgła (spowodowane przeciążeniem pracy, wady materiału, duże luzy pomiędzy współpracującymi tarczami)</p> <p>WWSP - wyłamanie wpustu (wada materiałowa, za duże obciążenie)</p>
6.	Koło jezdne (KJ)	<p>OOKJ - oddziaływanie otoczenia (wilgotność, temperatura)</p> <p>PRKJ - przeciążenie koła jezdnego (spowodowane dużą siłą pionową),</p> <p>SM - skoszenie mostu (może być spowodowane poprzez nierównoległość szyn jezdnych podtorza, niesymetryczne obciążenie mostu, niedokładność montażowa kół jezdnych, nierówne średnice kół jezdnych napędzających, niedokładne ustawienie osi kół, itp.)</p>	<p>NZKJ - naturalne zużycie (spowodowane czasem eksploatacji)</p> <p>ORKJ - opory ruchu koła jezdnego (następują podczas zukosowania mostu suwnicy)</p> <p>PEKJ – pęknięcie koła jezdnego (spowodowane wadą materiałową, zbyt dużym działaniem siły pionowej)</p> <p>ZWWKJ - zmiana warstwy wierzchniej koła jezdnego), (gdy zostaną przekroczone dopuszczalne zużycia kół jezdnych należy je wymienić lub regenerować przykładowo poprzez napawanie zużytych powierzchni)</p>
7.	Motoreduktor (MR)	<p>AS – awaria silnika</p> <p>AR – awaria reduktora</p>	<p>NDS – nie działa silnik</p> <p>NDR – nie działa reduktor</p>

Tabela 6.5. Przykładowe relacje przyczynowo - skutkowe dla podsystemu wspomagającego (konstrukcja nośna) suwnicy pomostowej

L.p	Zespół	Przyczyna (PR)	Skutek (SK)
1.	Dźwigar (D)	<p>BU - błędy użytkownika (spowodowane przykładowo przekroczonym udźwigiem $Q > Q_{max}$, ukośnym ciągnięciem ładunku, przymarzniętym do podłoża ładunkiem)</p> <p>NZD - naturalne zużycie, degradacja dźwigara (spowodowane upływem czasu oraz intensywnością eksploatacyjną)</p> <p>OOD - oddziaływanie otoczenia (największym niebezpieczeństwem dla konstrukcji jest rdza, ponieważ powoduje powstawanie znacznych sił, które rozsadzają cząsteczki materiału, ponadto temperatura (gradienty), drgania (wibracje), wiatr)</p> <p>PRD - przeciążenie dźwigara (następuje na skutek podnoszenia ładunków, których masa jest większa od udźwigu suwnicy $Q > Q_{max}$, dodatkowo podczas stanów nieustalonych)</p> <p>ZPD - zluzowanie połączenia nitowego, śrubowego lub spawanego (poluzowane nity należy wymienić, śruby dokręcić i zabezpieczyć przed odkręcaniem, pęknięcie spoiny należy polecić naprawić spawaczom posiadającym uprawnienia do spawania urządzeń poddozorowych)</p>	<p>DD - deformacja dźwigara (poprzez zluzowane połączenia, duże obciążenie, wady materiałowe, błędy konstrukcyjne, nierównomierne obciążenie dźwigara)</p> <p>PED - pęknięcie dźwigara (spowodowane jest przeciążeniem, obciążenia zmęczeniowe)</p> <p>ZWWD - zmiana warstwy wierzchniej, (pod wpływem podnoszenia zbyt ciężkiego ładunku może nastąpić trwałe odkształcenie dźwigarów mostu)</p>
2.	Czołownica (CZ)	<p>BU - błędy użytkownika (spowodowane przykładowo przekroczonym udźwigiem $Q > Q_{max}$)</p> <p>NZCZ - naturalne zużycie (spowodowane czasem eksploatacji oraz intensywnością użytkowania)</p> <p>OO CZ - oddziaływanie otoczenia (największym niebezpieczeństwem dla czołownicy jest rdza, ponieważ powoduje powstawanie znacznych sił, które rozsadzają cząsteczki materiału)</p> <p>PRCZ - przeciążenie czołownicy (następuje na skutek podnoszenia ładunków, których masa jest większa od udźwigu suwnicy $Q > Q_{max}$.)</p>	<p>DCZ - deformacja czołownicy (poprzez duże obciążenia, wady materiałowe, błędy konstrukcyjne)</p> <p>PECZ - pęknięcie czołownicy (spowodowane jest przeciążeniem, obciążenia zmęczeniowe)</p> <p>ZWWCZ - zmiana warstwy wierzchniej (pod wpływem przemieszczania ładunku większego od nominalnego może nastąpić trwałe odkształcenie czołownicy)</p>

Tabela 6.6. Przykładowa relacje przyczynowo - skutkowe dla otoczenia (jezdni podsuwnicowa) suwnicy pomostowej

L.p.	Zespół	Przyczyna (PR)	Skutek (SK)
1.	Szyny jezdne (SJ)	<p>OOSJ – oddziaływanie otoczenia (szyny poddawane są działaniu korozji)</p> <p>PRSJ – przeciążenie szyny (zbyt duży nacisk koła jezdnego może spowodować deformację szyny, pęknięcie)</p>	<p>DSJ – deformacja szyny (spowodowane odchyleniami osi szyny od prostej w płaszczyźnie pionowej oraz poziomej)</p> <p>NZSJ – naturalne zużycie szyny jezdnej (spowodowane występującymi siłami pionowymi oraz poziomymi, ścieranie główki szyny, „grzybkowanie”)</p> <p>PESJ – pęknięcie szyny (spowodowane dużymi obciążeniami, wadą materiałową)</p> <p>ZWWSJ – zmiana warstwy wierzchniej główki szyny (spowodowana jest poprzez styk z obrzeżami koła jezdnego)</p>

Przykładowe dopuszczalne zmiany właściwości wyróżnionych podsystemów suwnicy pomostowej zestawiono w tabelach: dla podsystemu wykonawczego (tabela 6.7), dla podsystemu wspomagającego (tabela 6.8), dla otoczenia (tabela 6.9).

Tabela 6.7. Dopuszczalne zmiany właściwości przykładowych zabezpieczeń i parametrów eksploatacyjnych podsystemu wykonawczego suwnicy pomostowej

L.p.	Zespół	Przyczyna (PR)	Skutek (SK)
1.	Silnik (S)	<p>NTS - nadmierna temperatura silnika, grzanie (temperatura łożyska silnika elektrycznego przy normalnej pracy nie powinna przekraczać 60°C [22])</p> <p>PRS - przeciążenia silnika ($M_{rz} \leq M_{max}$)</p> <p>SUS - spalenie uzwojenia silnika (dopuszczalna odchyłka zmiany napięcia 230/400 V $\pm 10\%$ [22])</p> <p>UŁS - uszkodzone łożyska silnika (luz poosiowy przy łożyskach ślizgowych nie powinien przekraczać 2 [mm] [92], temperatura łożyska silnika elektrycznego przy normalnej pracy nie powinna przekraczać 60°C [22, 96])</p>	<p>BFS - błąd fazy silnika</p> <p>BOS - brak obrotów silnika</p> <p>NDS - nadmierne drgania silnika</p> <p>NHS - nadmierny hałas</p> <p>NOS - nieprawidłowe osiowanie silnika</p> <p>ORS - opory ruchu silnika</p> <p>SDZ - silnik nie działa</p> <p>WUS - wada uzwojenia silnika</p> <p>ZMS - zwarcia międzyfazowe, międzyzwojowe</p>
2.	Hamulec (H)	<p>AZ – awaria zwalniaka (luzownika) (czas zadziałania zwalniaka elektromagnetycznego nie powinien być większy niż 0,1÷0,2 [s], elektrohydraulicznego <0,5 [s], temperatura korpusu zwalniaka elektromagnetycznego podczas pracy nie powinna w żadnym wypadku przekroczyć 80°C [22])</p>	<p>HNTR – hamulec nie trzyma (brak hamowania)</p> <p>NTH - nadmierna temperatura (grzanie)</p> <p>OPH - opory ruchu hamulca</p>

		<p>NS - niewyregulowana sprężyna (odstęp pomiędzy tarczą a elementem hamującym powinien być równomierny i nie większy niż 0,5-2,0 mm przy równoczesnym zapewnieniu prawidłowej pracy luzownika [22])</p> <p>ZEC - zużyte elementy cierne, okładziny (nie powinny przekroczyć 50% grubości pierwotnej w mechanizmach podnoszenia [22])</p>	
3.	Przekładnia zębata – reduktor (R)	<p>NPO - niewłaściwy poziom oleju (dolne zęby powinny być zanurzone na głębokości około 2÷3 cm [96])</p> <p>NTR - nadmierna temperatura (grzanie) (temperatura przekładni przy pełnym obciążeniu nie powinna przekraczać 60°C [96])</p> <p>ZPZ - zużyta powierzchnia zębów (dopuszczalne zużycie zębów wynosi około 10% początkowej ich grubości [22])</p>	<p>NDR - nadmierne drgania reduktora</p> <p>NHR - nadmierny hałas reduktora</p> <p>ORR - opory ruchu reduktora</p> <p>PWR - pęknięcia wału</p> <p>UŁR - uszkodzenie łożysk reduktora</p> <p>WOR - wyciek oleju z reduktora</p> <p>WZR - wyłamanie zęba w kole zębatym</p>
4.	Wał (W)	<p>DW – deformacja wału (deformacja wału do 0,5 mm na długości 1m jest dopuszczalne, poza tymi granicami wał należy wymienić)</p> <p>WW - wyrobienia wałów (wyrobienie wału do 5% pierwotnej średnicy jest dopuszczalne [22])</p>	<p>PEW – pęknięcie wału</p> <p>PRW - przeciążalność</p>
5.	Sprzęgło (SP)	<p>NLSP - nadmierne luzy w sprzęgle pomiędzy sworzniem a tulejką (gdy luz pomiędzy sworzniem a tulejką jest większy niż 1 mm, tulejkę należy wymienić [92])</p>	<p>NDSP - nadmierne drgania</p> <p>NZPS - niewłaściwe zamocowanie obydwu połówek na końcach wałów</p> <p>NZSS - nieprawidłowe zamocowanie sworzni w połowce sprzęgła</p> <p>PKSP - pęknięcie korpusu sprzęgła</p> <p>PESP – pęknięcie sprzęgła</p>
6.	Koło jezdne (KJ)	<p>LKJ - luzy w kole jezdnym (łączny luz w łożyskach ślizgowych (wyrobienie wałka i panewek) kół jezdnych napędzanych nie może przekraczać 20% modułu koła zębatego osadzonego na tej samej osi, przy kołach jezdnych luźnych luz ten nie może przekraczać 50% grubości tulei łożyskowej [22])</p> <p>NZKJ - naturalne zużycie (dopuszczalne zużycie obrzeży kół jezdnych wynosi 50% grubości pierwotnej i nie więcej niż 10 mm [22])</p> <p>PRKJ - przeciążenie koła jezdnego (spowodowane dużą siłą pionową) (dopuszczalna różnica średnic kół napędzanych przy nierównomiernym ich zużyciu nie powinna przekraczać 0,1% [92])</p>	<p>NZKJ - naturalne zużycie</p> <p>ORKJ - opory ruchu koła jezdnego</p> <p>PEKJ – pęknięcie koła jezdnego</p> <p>SM - skoszenie mostu</p> <p>ZWWKJ - zmiana warstwy wierzchniej koła jezdnego</p>
7.	Motoreduktor (MR)	<p>AS – awaria silnika</p> <p>AR – awaria reduktora</p>	<p>NDS – nie działa silnik</p> <p>NDR – nie działa reduktor</p>

Tabela 6.8. Dopuszczalne zmiany właściwości wybranych zespołów podsystemu wspomagającego (konstrukcja nośna) suwnicy pomostowej oraz tabela 6.2

L.p	Zespół	Przyczyna (PR)	Skutek (SK)
1.	Dźwigar (D)	BU - błędy użytkownika (spowodowane np. przekroczonym udźwigiem $Q > Q_{max}$) DD - deformacja dźwigara (tabela 6.2) PRD - przeciążenie dźwigara (masa większa od udźwigu suwnicy $Q > Q_{max}$)	NZD - naturalne zużycie dźwigara PED - pęknięcie dźwigara ZPN - zluźnione połączenia nitowego, śrubowe lub spawanego ZWWD - zmiana warstwy wierzchniej
2.	Czołownica (CZ)	BU - błędy użytkownika, (przekroczony udźwig $Q > Q_{max}$) NZCZ - naturalne zużycie OOCZ - oddziaływanie otoczenia PRCZ - przeciążenie czołownicy (masa większa od udźwigu suwnicy $Q > Q_{max}$)	DCZ - deformacja czołownicy PECZ - pęknięcie czołownicy PRSJ - przeciążenie szyny ZWWCZ - zmiana warstwy wierzchniej

Tabela 6.9. Dopuszczalne zmiany właściwości szyn jezdnych suwnicy pomostowej (otoczenie, jezdnia podsuwnicowa) oraz tabela 6.13

L.p	Zespół	Przyczyna (PR)	Skutek (SK)
1.	Szyny jezdne (SJ)	DSJ - deformacja szyny (- odchylenie osi szyny od prostej w płaszczyźnie pionowej: $\Delta = \pm 10$; - odchylenie osi szyny od prostej w płaszczyźnie poziomej: $\Delta = \pm 10$; tabela 6.3),	NZSJ - naturalne zużycie szyny jezdnej, PESJ - pęknięcie szyny ZWWSJ - zmiana warstwy wierzchniej główki szyny

Metodą przyczynowo-skutkową wspomagającą proces obsługiwanego urządzenia jest analiza rodzajów, skutków i krytyczności uszkodzeń typu FMECA (ang. *Failure Mode Effect and Critical Analysis*), jako rozwinięcie metody FMEA (ang. *Failure Mode and Effect Analysis*) [30].

Analiza FMECA polega na przyczynowo-skutkowym szacowaniu czynników ryzyka zajścia zdarzenia w procesie użytkowania urządzenia i określaniu z wykorzystaniem wiedzy i umiejętności operatorów liczb R , W , Z i P , oznaczających kolejno:

- liczba R - częstość występowania zdarzenia (ryzyko wystąpienia zdarzenia), przyjmowana w zakresie od 1 do 10,
- liczba W - poziom wykrywalności zdarzenia, przyjmowany w zakresie od 1 do 10,
- liczba Z - znaczenie zdarzenia (dla użytkownika), przyjmowane w zakresie od 1 do 10,
- liczba P - liczba priorytetu, $P = R \cdot W \cdot Z$, przyjmująca wartości w przedziale od 1 do 1000.

Istotne znaczenie ma zdarzenie o liczbie priorytetu większej niż 100. Im większa jest liczba priorytetu tym zdarzenie jest bardziej znaczące dla użytkownika. Liczba P bliska wartości 1000 oznacza zdarzenie krytyczne zagrażające bezpieczeństwu w procesie użytkownika. Wskazówki do przyjmowania liczby R podano w tabeli 6.10, W w tabeli 6.11 oraz liczbę Z w tabeli 6.12, a ponadto w pracy [58].

Tabela 6.10. Wskazówki do przyjmowania liczby R

Symbol R	Wystąpienie zdarzenia	Opis zdarzenia	Częstość występowania zdarzenia w określonym przedziale czasu
1	Nieprawdopodobne	Wystąpienie nie jest prawdopodobne	Mniej niż 1 / 1 000 000
2	Bardzo rzadko	Zdarza się bardzo rzadko	1 na 20 000
3	Rzadko	Zdarza się stosunkowo rzadko	1 na 4 000
4 - 6	Przeciętnie	Zdarza się sporadycznie co jakiś czas	1 na 1 000 1 na 400 1 na 80
7 - 8	Często	Powtarza się cyklicznie	1 na 40 1 na 20
9 - 10	Bardzo często	Nie jest możliwa do wykluczenia	1 na 8 1 na 2

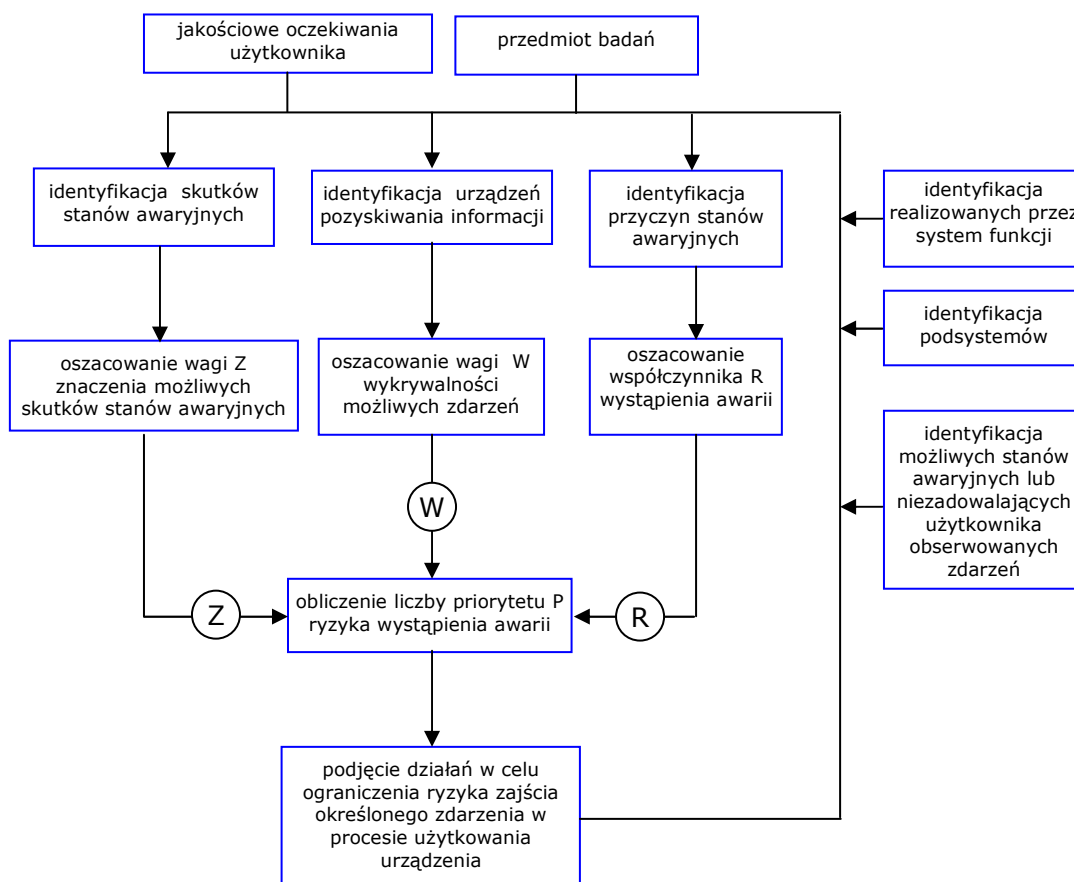
Tabela 6.11. Wskazówki do przyjmowania liczby W

Symbol W	Wykrywalność zdarzenia	Skuteczność układu monitoringu (urządzeń pozyskiwania informacji)
1 - 2	Bardzo wysoka	Urządzenia pozyskiwania informacji na pewno wykryją możliwe zdarzenie dotyczące konstrukcji lub procesu
3 - 4	Wysoka	Urządzenia pozyskiwania informacji mają dużą szansę wykrycia możliwe zdarzenie dotyczące konstrukcji lub procesu
5 - 6	Przeciętna	Być może urządzenia pozyskiwania informacji wykryją możliwe zdarzenie dotyczące konstrukcji lub procesu
7 - 8	Niska	Jest bardzo prawdopodobne, że urządzenia pozyskiwania informacji nie wykryją możliwych zdarzeń dotyczących konstrukcji lub procesu
9	Bardzo niska	Z dużą pewnością można sądzić, iż urządzenia pozyskiwania informacji nie wykryją możliwego zdarzenia dotyczącego konstrukcji lub procesu
10	Bardzo niska	Urządzenia pozyskiwania informacji nie dają szans wykrycia możliwego zdarzenia dotyczącego konstrukcji lub procesu

Tabela 6.12. Wskazówki do przyjmowania liczby Z

Symbol Z	Znaczenie zdarzenia	Opis znaczenia zdarzenia do konstrukcji lub procesu
1	Bardzo małe	Nie należy oczekiwać, że zdarzenie będzie miało jakikolwiek istotny wpływ na warunki użytkowania urządzenia
2 - 3	Małe	Znaczenie zdarzenia jest małe i prowadzi tylko do niewielkiego utrudnienia. Zauważalne może być umiarkowane pogorszenie właściwości urządzenia
4 - 6	Przeciętne	Zdarzenie wywołuje ograniczone niezadowolenie użytkownika. Urządzenie nie zaspakaja oczekiwań eksploatacyjnych użytkownika urządzenia lub jest źródłem uciążliwości.
7 - 8	Duże	Niezadowolenie użytkownika jest duże i jest wywołane niemożnością użycia urządzenia zgodnie z przeznaczeniem – nie dotyczy to jednak zagrożenia bezpieczeństwa lub naruszenia obowiązujących przepisów w zakresie jego eksploatacji
9 - 10	Bardzo duże	Znaczenie zdarzenia jest bardzo duże, zagraża bezpieczeństwu użytkownika lub narusza określone przepisy w zakresie eksploatacji urządzenia

Przeprowadzone analizy typu FMECA służą do wprowadzania w konstrukcję urządzenia i w procesach jego użytkowania zmian mających na celu zmniejszenie ryzyka wystąpienia niekorzystnych w ocenie użytkownika zdarzeń (lub spełnienie nowych jakościowych oczekiwań). Metoda FMECA polega na takim zaprojektowaniu określonych działań, aby odpowiednio zwiększyć lub zmniejszyć składowe liczby priorytetu P, a w szczególności liczby: W, R, Z, podnieść poziom wykrywalności określonych niekorzystnych zdarzeń, obniżyć ich występowanie oraz uciążliwość dla użytkownika. Jeśli nie jest możliwe całkowite wyeliminowanie uciążliwych niedogodności, należy podjąć działania w celu zwiększenia możliwości ich wykrywania lub zmniejszenia negatywnych skutków ich wystąpienia. Realizacja zalecanych działań „naprawczych” powinna być ciągle nadzorowana, a ich efekty poddawane weryfikacji. Algorytm metody FMECA przedstawiono na rysunku 6.28.



Rys. 6.28. Algorytm procesu FMECA

Metodę FMECA zastosowano w badaniach suwnic pomostowych. W tabeli 6.13 przedstawiono sposób szacowania liczb R, W, Z dla potrzeb wyznaczenia priorytetu P zajścia określonych zdarzeń w procesie eksploatacji urządzenia. Przykładowe analizy z wykorzystaniem metody FMECA dla podsystemu wykonawczego (mechanizmu jazdy) zestawiono w tabeli 6.14, natomiast dla podsystemu wspomagającego (konstrukcji nośnej mostu) zestawiono w tabeli 6.15.

Tabela 6.13. Sposób szacowania liczb R,W,Z w metodzie FMECA

R	W	Z	Wartości
Prawdopodobieństwo skutku	Wykrywalność	Skutek (dla użytkownika)	
Nieprawdopodobne	Bardzo duża	Zaden	1
Niskie	Duża	Niski	2-3
Umiarkowane	Umiarkowana	Umiarkowany	4-6
Duże	Niska	Wysoki	7-8
Bardzo duże	Prawie niemożliwa	Bardzo wysoki	9-10

Tabela 6.14. Przykładowa analiza FMECA dla układu napędowego suwnicy pomostowej - napęd centralny (podsystem wykonawczy - mechanizm jazdy)

Lp.	Rodzaj zdarzenia	Przyczyny obserwowanego zdarzenia	R	W	Z	P	Zalecane działania naprawcze
1	Silnik nie działa	Brak napięcia w sieci zasilającej	2	3	2	12	Sprawdzić wyłącznik główny
		Przepalone bezpieczniki	7	3	3	63	Wymienić bezpieczniki
		Spalenie uzwojenia silnika	4	4	9	144	Wymienić spalone uzwojenie silnika
		Uszkodzone łożyska	6	5	4	120	Wymienić łożyska
		Zużyte szczotki silnika	5	5	5	125	Wymienić szczotki
2	Hamulec nie jest skuteczny, brak hamowania	Awaria zwalniaka	4	3	7	84	Naprawić zwalniak lub wymienić na nowy
		Niewyregulowana sprężyna	5	2	2	20	Wyregulować sprężynę
		Pęknięcie dźwigni	2	1	4	8	Stalowe dźwignie zespawać, żeliwne wymienić na nowe
		Zanieczyszczone są elementy cierne	5	3	5	75	Wyczyścić zanieczyszczone elementy
		Zużyte są elementy cierne	6	3	7	126	Wymienić na nowe
3	Przekładnia zębata nie działa lub działa nieprawidłowo	Deformacja koła zębatego	2	3	7	42	Wymienić koło zębate
		Niewłaściwy poziom oleju	5	1	8	40	Uzupełnić poziom oleju
		Pęknięty wał	3	1	9	27	Wymienić wał
		Uszkodzone łożyska	6	3	4	72	Wymienić łożyska
		Zużyta powierzchnia zębów	5	4	8	160	Wymienić koła zębate
4	Deformacja, uszkodzenie, lub pęknięcie wału	Przeciążony wał	3	1	9	27	Wymienić wał na nowy
5	Sprzęgło uszkodzone lub działa nieprawidłowo	Nadmierne luzy w sprzęgle	4	3	3	24	Usunąć luzy
		Nieprawidłowe zamocowanie obydwu połówek na końcach wałów	3	3	5	30	Zamocować sprzęgło w sposób poprawny
		Pęknięcie korpusu sprzęgła	2	2	8	32	Wymienić sprzęgło
6	Uszkodzone koło jezdne (pęknięcie, zużycie obrzeży, zmiana średnicy)	Przeciążenie koła jezdne	8	4	8	256	Wymienić koło na nowe lub jeżeli to możliwe to napawać
		Ukosowanie mostu suwnicy	5	5	7	175	Wymienić koła jezdne walcowe na koła o bieżnikach stożkowych

Tabela 6.15. Przykładowa analiza FMECA dla konstrukcji nośnej mostu (podsystem wspomagający)

Lp.	Rodzaj zdarzenia	Przyczyny obserwowanego zdarzenia	R	W	Z	P	Zalecane działania naprawcze
1	Pęknięcie dźwigara	Naturalne zużycie dźwigara	3	4	6	72	Wymienić dźwigar na nowy
		Przeciążenie dźwigara	8	3	7	168	Zamocować elektroniczną wagę w kabinie operatora, doszkolić suwnicowego
		Błędy użytkownika	8	4	7	224	Dokształcić użytkownika (szkolenia, kursy)
	Deformacja dźwigara	Zluzowane połączenia nitowego, śrubowego lub spawanego	3	2	8	48	Zużyte nity, śruby wymienić na nowe, połączenie spawane naprawić
		Przeciążenie dźwigara	8	3	7	168	Zamocować elektroniczną wagę w kabinie operatora, doszkolić suwnicowego, zlikwidować deformację w rezultacie odpowiedniego przyspawania nakładki (pasa)
		Naturalne zużycie dźwigara	3	4	6	72	Wymienić dźwigar na nowy
	Zmiana warstwy wierzchniej dźwigara	Oddziaływanie otoczenia	3	6	4	72	Miejsca z rdzą usunąć i pomalować, inne zanieczyszczenia usunąć.
Błędy użytkownika		8	4	7	224	Dokształcić użytkownika (szkolenia, kursy)	
2	Pęknięcie czołownicy	Naturalne zużycie czołownicy	3	4	6	72	Wymienić czołownicę na nową
		Przeciążenie czołownicy	8	3	7	168	Zamocować elektroniczną wagę w kabinie operatora, doszkolić suwnicowego
		Błędy użytkownika	8	4	7	224	Dokształcić użytkownika (szkolenia, kursy)
	Deformacja czołownicy	Naturalne zużycie czołownicy	3	4	6	72	Wymienić czołownicę na nową
		Zluzowane połączenia nitowego, śrubowe lub spawanego	3	2	8	48	Zużyte nity, śruby wymienić na nowe, połączenie spawane naprawić
		Przeciążenie czołownicy	8	3	7	168	Zamocować elektroniczną wagę w kabinie operatora, doszkolić suwnicowego
	Zmiana warstwy wierzchniej czołownicy	Oddziaływanie otoczenia	3	6	4	72	Miejsca z rdzą usunąć i pomalować, inne zanieczyszczenia usunąć
Błędy użytkownika		8	4	7	224	Dokształcić użytkownika (szkolenia, kursy)	

W rezultacie analizy tabeli 6.14 i tabeli 6.15 szczególną uwagę powinno się zwrócić na przyczyny, dla których wartość priorytetu P jest powyżej 100.

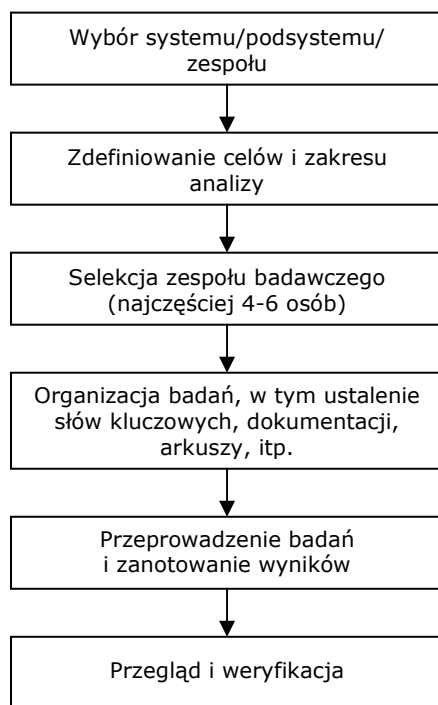
Metoda HAZOP jest stosowana do ilościowej analizy ryzyka z wykorzystaniem wiedzy i umiejętności zespołu ekspertów. Polega ona na systematycznej analizie możliwych zmian określonych parametrów eksploatacyjnych urządzenia oraz produktów wejściowych i wyjściowych w odniesieniu do wartości nominalnej, które mogą się zmieniać w określonym przedziale zgodnie z projektem systemu. Każde z tych odchyień może być zagrożeniem dla bezpieczeństwa w procesie eksploatacji urządzenia oraz istotnie wpływać na zmniejszanie jego niezawodności eksploatacyjnej.

Dla opisu zachodzących w procesie eksploatacji urządzenia zdarzeń z wykorzystaniem metody HAZOP można zastosować słowa kluczowe zestawione w tabeli 6.16 (wykorzystywanej w zapisie cyfrowym metody).

Tabela 6.16. Słowa kluczowe wykorzystywane w metodzie HAZOP [33]

Słowo kluczowe	Znaczenie
BRAK (NIE)	Zamierzona funkcja nie została nawet w części zrealizowana. Równocześnie nie jest wykonywana żadna inna funkcja
WIĘCEJ	Wzrost ilościowy, np. temperatury
MNIEJ	Ilość za mała
LEPIEJ	Wzrost jakości. Zamierzone funkcjonowanie zostało w pełni osiągnięte i dodatkowo są wykonywane inne czynności
W CZĘŚCI	Pogorszenie jakości. Zamierzone funkcjonowanie zostało osiągnięte tylko w części
ODWROTNIE	Logiczna odwrotność zamierzonego funkcjonowania
INACZEJ NIŻ	Zamierzone funkcjonowanie nie zostało osiągnięte nawet w części. Jest ono całkiem inne

Schemat procedury badań z wykorzystaniem metody HAZOP przedstawiono na rysunku 6.29.



Rys. 6.29. Etapy badań urządzenia z wykorzystaniem metody HAZOP

Przykładowe analizy z wykorzystaniem metody HAZOP dla układu napędowego suwnicy pomostowej (napęd centralny - mechanizm jazdy) oraz dla konstrukcji nośnej mostu suwnicy pomostowej zestawiono odpowiednio w tabeli 6.17 oraz w tabeli 6.18.

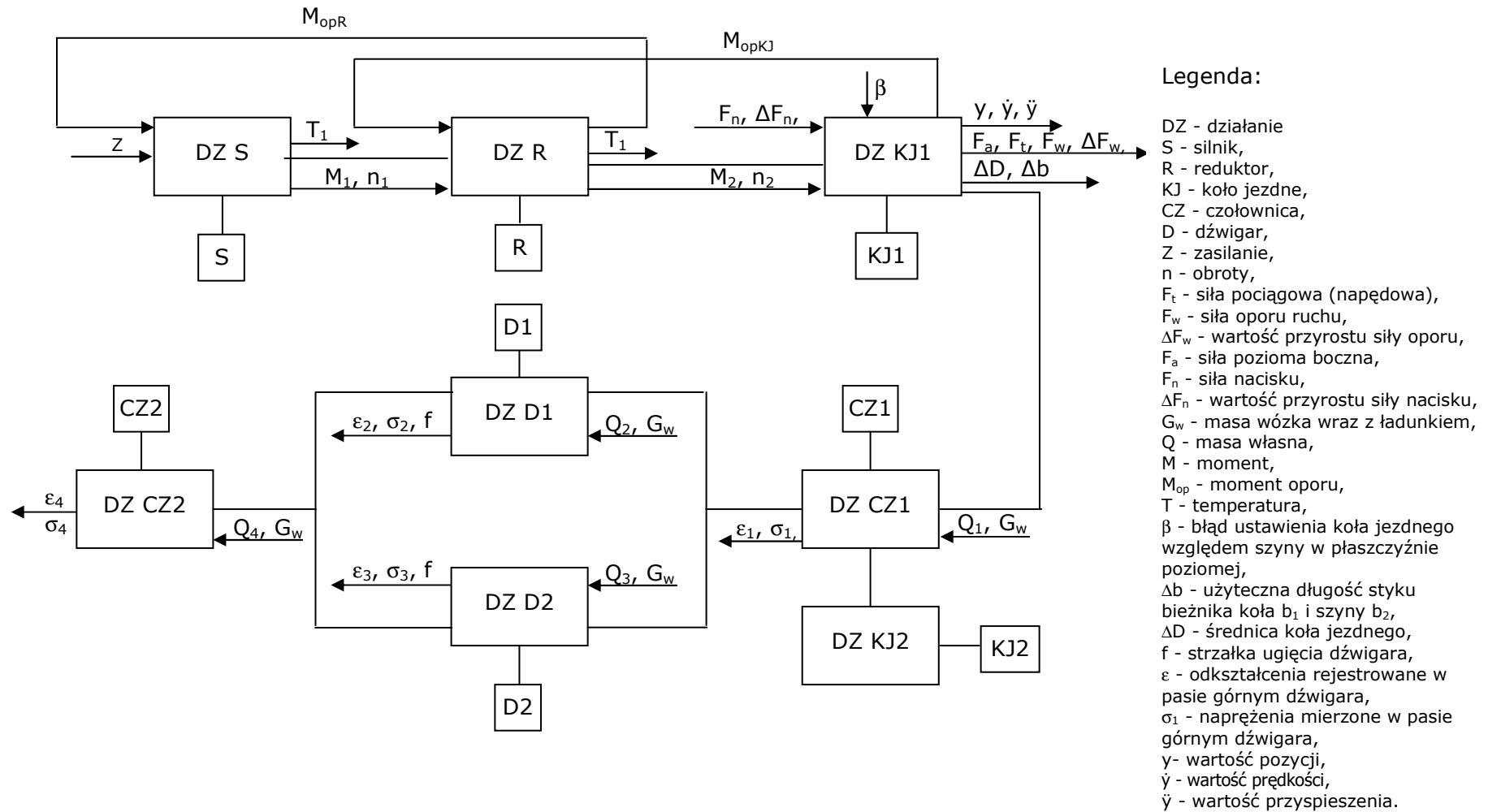
Tabela 6.17. Analiza HAZOP dla układu napędowego suwnicy pomostowej (napęd centralny - mechanizm jazdy)

Słowo kluczowe	Obserwowana niedogodność	Konsekwencja zdarzenia	Przyczyny zaistnienia zdarzenia	Proponowany sposób eliminacji niedogodności
Brak	Działanie/Brak	Silnik nie działa	Brak napięcia w sieci zasilającej	Sprawdzić wyłącznik główny
			Przepalone bezpieczniki	Wymienić bezpieczniki
			Spalenie uzwojenia silnika	Wymienić spalone uzwojenie silnika
			Uszkodzone łożyska	Wymienić łożyska
			Zużyte szczotki silnika	Wymienić szczotki
	Hamowanie/Brak	Brak hamowania	Awaria zwalniaka	Naprawić zwalniak lub wymienić na nowy
			Niewyregulowana sprężyna	Wyregulować sprężynę
			Pęknięcie dźwigni	Stalowe dźwignie zespawać, żeliwne wymienić na nowe
			Zanieczyszczone są elementy cierne	Wyczyścić zanieczyszczone elementy
			Zużyte są elementy cierne	Wymienić na nowe
Pęknięty wał/Brak	Brak napędu	Przeciążony wał	Wymienić wał na nowy	
Mniej	Działanie/Mniej	Nieprawidłowe działanie przekładni	Deformacja koła zębatego	Wymienić koło zębate
			Niewłaściwy poziom oleju	Uzupełnić poziom oleju
			Pęknięty wał	Wymienić wał
			Uszkodzone łożyska	Wymienić łożyska
			Zużyta powierzchnia zębów	Wymienić koła zębate
	Działanie/Mniej	Nieprawidłowa praca sprzęgła	Nadmierne luzy w sprzęgle	Usunąć luzy
			Nieprawidłowe zamocowanie obydwu połówek na końcach wałów	Zamocować sprzęgło w sposób poprawny
			Pęknięcie korpusu sprzęgła	Wymienić sprzęgło
	Zużyte koła jezdne/Mniej	Nieprawidłowa praca urządzenia	Przeciążenie koła jezdne	Wymienić koło na nowe lub jeżeli to możliwe to napawać
			Ukosowanie mostu	Wymienić koła jezdne walcowe na koła o bieżnikach stożkowych, wprowadzić automatykę eliminującą zjawisko

Tabela 6.18. Analiza HAZOP dla konstrukcji nośnej mostu (podsystem wspomagający)

Słowo kluczowe	Obserwowana niedogodność	Konsekwencja zdarzenia	Przyczyny zaistnienia zdarzenia	Proponowany sposób eliminacji niedogodności
Brak	Pęknięcie/Brak	Pęknięcie dźwigara	Naturalne zużycie dźwigara	Wymienić dźwigar na nowy
			Przeciążenie dźwigara	Zamocować elektroniczną wagę w kabinie, doszkolić operatora
			Błędy użytkownika	Dokształcić użytkownika (szkolenia, kursy)
	Deformacja/Brak	Deformacja dźwigara	Zluzowane połączenia nitowe, śrubowe lub spawane	Zużyte nity, śruby wymienić na nowe, połączenia spawane oczyścić i zespawać ponownie
			Przeciążenie dźwigara	Zamocować elektroniczną wagę w kabinie, doszkolić operatora, zlikwidować deformację w rezultacie odpowiedniego przyspawania nakładki (pasa)
			Naturalne zużycie dźwigara	Wymienić dźwigar na nowy
	Zmiana/Brak	Zmiana warstwy wierzchniej dźwigara	Oddziaływanie otoczenia	Rdzę oraz inne zanieczyszczenia usunąć i zabezpieczyć przed szkodliwymi warunkami otoczenia
			Błędy użytkownika	Dokształcić użytkownika (szkolenia, kursy)
	Mniej	Pęknięcie/Brak	Pęknięcie czołownicy	Naturalne zużycie czołownicy
Przeciążenie czołownicy				Zamocować elektroniczną wagę w kabinie, doszkolić operatora, zlikwidować deformację w rezultacie odpowiedniego przyspawania nakładki (pasa)
Błędy użytkownika				Dokształcić użytkownika (szkolenia, kursy)
Deformacja/Brak		Deformacja czołownicy	Zluzowane połączenia nitowe, śrubowe lub spawane	Zużyte nity, śruby wymienić na nowe, połączenia spawane oczyścić i zespawać ponownie
			Przeciążenie czołownicy	Zamocować elektroniczną wagę w kabinie, doszkolić operatora, zlikwidować deformację w rezultacie odpowiedniego przyspawania nakładki (pasa)
			Naturalne zużycie czołownicy	Wymienić czołownicę na nową
Zmiana/Brak		Zmiana warstwy wierzchniej czołownicy	Oddziaływanie otoczenia	Rdzę oraz inne zanieczyszczenia usunąć i zabezpieczyć przed szkodliwymi warunkami otoczenia
			Błędy użytkownika	Dokształcić użytkownika (szkolenia, kursy)

Istotnymi dla analizy przyczynowo-skutkowej dla potrzeb prewencyjnego podejścia do procesu obsługiwanego suwnicy pomostowej jest ilościowy opis zachodzących w procesie użytkowania urządzenia zdarzeń (rys. 6.30).



Rys. 6.30. Schemat blokowy podsystemów wykonawczego (mechanizm jazdy mostu) i wspomagającego (most sownicy pomostowej) z wyróżnionymi parametrami eksploatacyjnymi dla potrzeb analiz przyczynowo-skutkowych możliwych zdarzeń towarzyszących procesowi użytkowania urządzenia

6.5. Ocena skuteczności działania urządzenia

Użytkownicy w coraz większym stopniu dążą do prowadzenia utrzymania stanu technicznego urządzeń według oceny ryzyka użytkowania (ang. *Risk Based Maintenance*) [61]. Prowadzenie procesu użytkowania urządzenia według RBM pozwala ustalić właściwe proporcje pomiędzy poszczególnymi strategiami utrzymania (przykładowo według: resursu czasowego, stanu technicznego, podejścia prewencyjnego), przy uwzględnieniu czynników ekonomicznych [36]. Prowadzi to do zwiększenia gotowości urządzeń i ograniczenia kosztów ich eksploatacji.

Na podstawie przeprowadzonych obserwacji procesu eksploatacji suwnicy pomostowej i podejmowanych decyzji możliwa jest budowa modelu niezawodnościowego (rys. 6.31). W przedstawionym modelu urządzenia, dla wyróżnionych podsystemów i zespołów, wyróżniono prawdopodobieństwa przebywania urządzenia w stanie gotowości i niegotowości w chwili t oraz intensywność przejść pomiędzy możliwymi stanami użytkowania, oczekiwania na realizację działania oraz obsługiwanie.

Strukturę przedstawionego modelu niezawodnościowego urządzenia charakteryzują:

- $P_1(t)$ - prawdopodobieństwo przebywania urządzenia w stanie gotowości w chwili t ,
- $P_2(t)$ - prawdopodobieństwo przebywania wyróżnionych podsystemów urządzenia w stanie gotowości w chwili t ,
- $P_{3,4,5,6}(t)$ - prawdopodobieństwo przebywania wyróżnionych zespołów urządzenia w stanie nie gotowości w chwili t ,
- $\lambda(t)$ - intensywność przejścia od stanu oczekiwania (realizacji działania) do stanu obsługiwanie (intensywność uszkodzenia),
- $\mu(t)$ - intensywność przejścia ze stanu obsługiwanie do stanu użytkowania (gotowości).

Model niezawodnościowy suwnicy pomostowej opisano układem równań:

$$P'_1(t) = -\lambda_{1ste}(t) \cdot P_1(t) + \mu_{1ste}(t) \cdot P_{2ste}(t) \quad (6.1)$$

$$P'_{2ste}(t) = \lambda_{1ste}(t) \cdot P_1(t) + \mu_{21ste}(t) \cdot P_{21ste}(t) + \mu_{22ste}(t) \cdot P_{22ste}(t) + \mu_{23ste}(t) \cdot P_{23ste}(t) - [(\mu_{21ste}(t) + \lambda_{21ste}(t) + \lambda_{22ste}(t) + \lambda_{23ste}(t))] \cdot P_{2ste}(t) \quad (6.2)$$

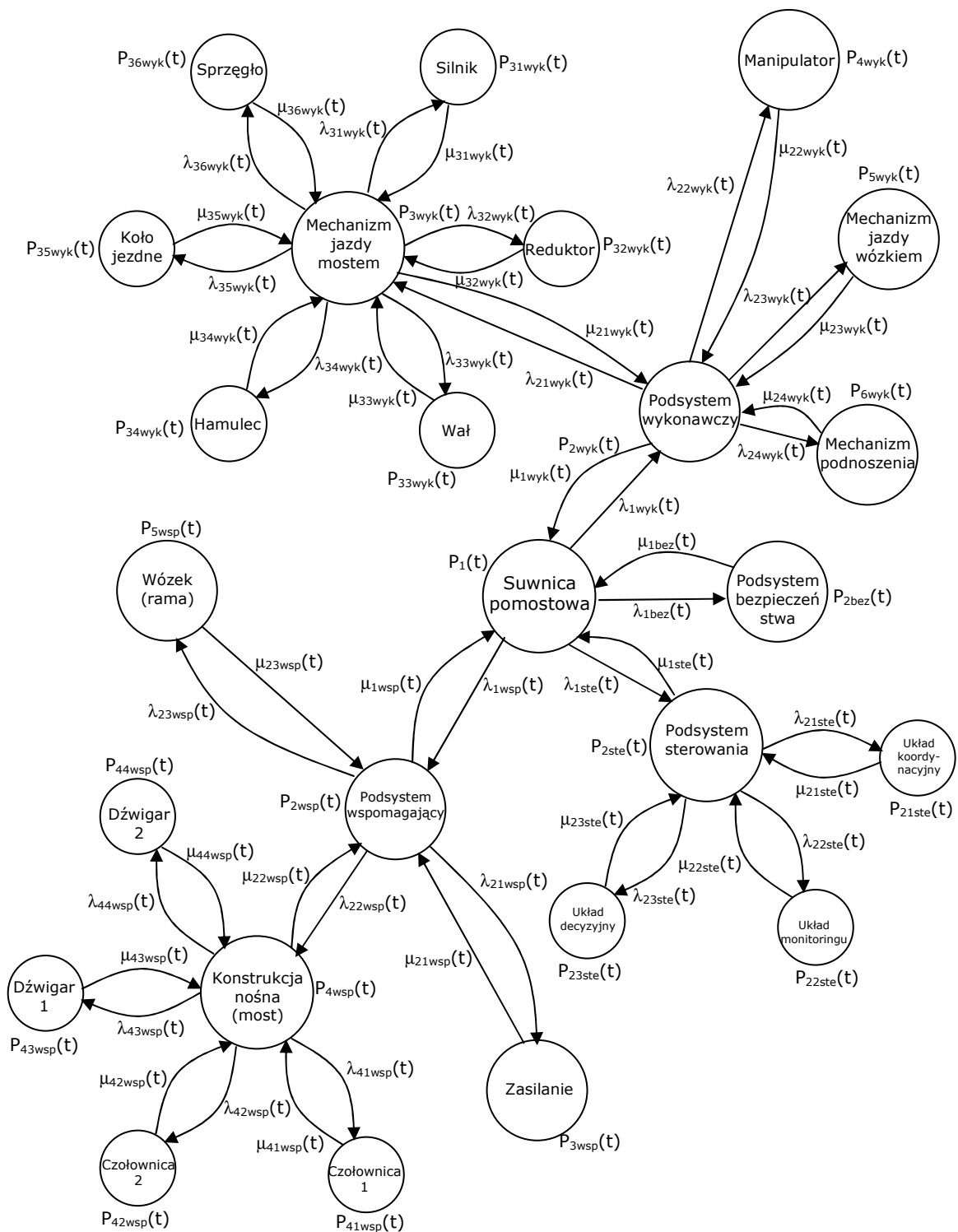
$$P'_{21ste}(t) = -\mu_{21ste}(t) \cdot P_{21ste}(t) + \lambda_{21ste}(t) \cdot P_{2ste}(t) \quad (6.3)$$

$$P'_{22ste}(t) = -\mu_{22ste}(t) \cdot P_{22ste}(t) + \lambda_{22ste}(t) \cdot P_{2ste}(t) \quad (6.4)$$

$$P'_{23ste}(t) = -\mu_{23ste}(t) \cdot P_{23ste}(t) + \lambda_{23ste}(t) \cdot P_{2ste}(t) \quad (6.5)$$

$$P_1(0) = 1 ; \quad P_{2ste}(0) = P_{21ste}(0) = P_{22ste}(0) = P_{23ste}(0) = 0 \quad (6.6)$$

$$P_1(t) + P_{2ste}(t) + P_{21ste}(t) + P_{22ste}(t) + P_{23ste}(t) = 1 \quad (6.7)$$



Rys. 6.31. Model niezawodnościowy systemu o odnawialnej strukturze

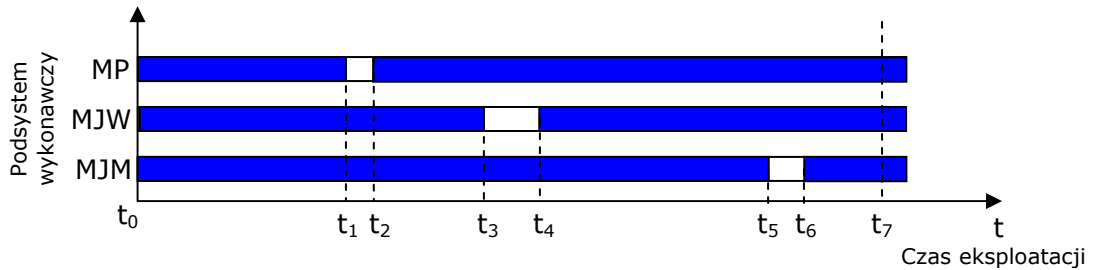
Dla podsystemu wspomagającego proces działania (rys. 6.1) sformułowano wskaźnik skuteczności działania E_{d2} :

$$E_{d2} = A_2 \cdot D_2 \cdot M_2 \quad (6.8)$$

gdzie:

- A_2 - gotowość urządzenia,
- D_2 - niezawodność urządzenia,
- M_2 - obsługiwalność urządzenia.

Na rysunku 6.32 przedstawiono stany zdadności oraz niezdatności poszczególnych mechanizmów ruchu suwnicy pomostowej o udźwigu $Q=160[\text{kN}]$ i rozpiętości mostu $L=28,5[\text{m}]$ (suwnica IDS25, tabela 7.1). Rozpatrywanym czasem eksploatacji urządzenia jest 1 rok (od t_0 do t_7).



Rys. 6.32. Przykładowy proces eksploatacji podsystemu wykonawczego suwnicy pomostowej

W rezultacie analizy rysunku 6.32 wyznaczono gotowość, niezawodność oraz obsługiwalność urządzenia dla podsystemu wykonawczego suwnicy pomostowej.

Gotowość urządzenia:

$$A_2 = A_{Pwyk} + A_{Pwsp} + A_{Pste} \quad (6.9)$$

$$A_{Pwyk} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{(t_3 - t_1) + (t_5 - t_3)}{[(t_3 - t_1) + (t_5 - t_3)] + [(t_2 - t_1) + (t_4 - t_3) + (t_6 - t_5)]} \quad (6.10)$$

gdzie:

A_{Pwyk} - gotowość podsystemu wykonawczego urządzenia,
 A_{Pwsp} - gotowość podsystemu wspomagającego urządzenia,
 A_{Pste} - gotowość podsystemu sterowania urządzenia.

Niezawodność urządzenia:

$$D_2 = D_{Pwyk} + D_{Pwsp} + D_{Pste} \quad (6.11)$$

$$D_{Pwyk} = \exp\left(\frac{-t}{MTBF}\right) = \exp\left(\frac{-(t_7 - t_0)}{(t_3 - t_1) + (t_5 - t_3)}\right) \quad (6.12)$$

gdzie:

D_{Pwyk} - niezawodność podsystemu wykonawczego urządzenia,
 D_{Pwsp} - niezawodność podsystemu wspomagającego urządzenia,
 D_{Pste} - niezawodność podsystemu sterowania urządzenia.

Obsługiwalność urządzenia:

$$M_3 = M_{Pwyk} + M_{Pwsp} + M_{Pste} \quad (6.13)$$

$$M_{Pwyk} = 1 - \exp\left(\frac{-t}{MTBF}\right) = 1 - \exp\left(\frac{-(t_7 - t_0)}{(t_3 - t_1) + (t_5 - t_3)}\right) \quad (6.14)$$

gdzie:

M_{Pwyk} - obsługiwalność podsystemu wykonawczego urządzenia,
 M_{Pwsp} - obsługiwalność podsystemu wspomagającego urządzenia,
 M_{Pste} - obsługiwalność podsystemu sterowania urządzenia.

Wskaźnik skuteczności działania urządzenia dla podsystemu wspomagającego wynosi:

$$E_{d(p_{wyk})} = G_{P_{wyk}} \cdot D_{P_{wyk}} \cdot M_{P_{wyk}} = \left[\left(\frac{(t_3 - t_1) + (t_5 - t_3)}{[(t_3 - t_1) + (t_5 - t_3)] + [(t_2 - t_1) + (t_4 - t_3) + (t_6 - t_5)]} \right) \cdot \left(\exp \left(\frac{-(t_7 - t_0)}{(t_3 - t_1) + (t_5 - t_3)} \right) \right) \right] \cdot \left(1 - \exp \left(\frac{-(t_7 - t_0)}{(t_3 - t_1) + (t_5 - t_3)} \right) \right) \quad (6.15)$$

Współczynnik skuteczności działania urządzenia z uwzględnieniem jego podsystemów ma postać:

$$E_{d2} = E_{d(p_{wyk})} \cdot E_{d(p_{wsp})} \cdot E_{d(p_{ste})} \quad (6.16)$$

Wskaźnik skuteczności działania urządzenia ma postać:

$$E_{k2} = \frac{E_{d2}}{LCC_2} \quad (6.17)$$

gdzie:

E_{k2} - wskaźnik skuteczności działania systemu,

E_{d2} - skuteczność działania podsystemu wspierającego proces działania eksploatowanego systemu,

LCC_2 - łączny koszt poniesiony w podsystemie wspierającym proces działania.

Dążenie do racjonalizacji procesu eksploatacji środków transportu wymusza poszukiwanie odpowiednich metod i narzędzi. Jednym z kierunków jest zwiększanie potencjału eksploatacyjnego urządzenia w rezultacie jego lepszego i skuteczniejszego wykorzystania w praktyce.

Z upływem czasu eksploatacji potencjał urządzania zmniejsza się, zmniejsza się czas poprawnego użytkowania i następuje konieczność jego obsługi, modernizacji lub wymiany na nowe. Zmniejsza się zapas bezpieczeństwa urządzenia. Właściwością urządzeń technicznych jest odnawialność ich potencjału eksploatacyjnego, ale w ograniczonym zakresie.

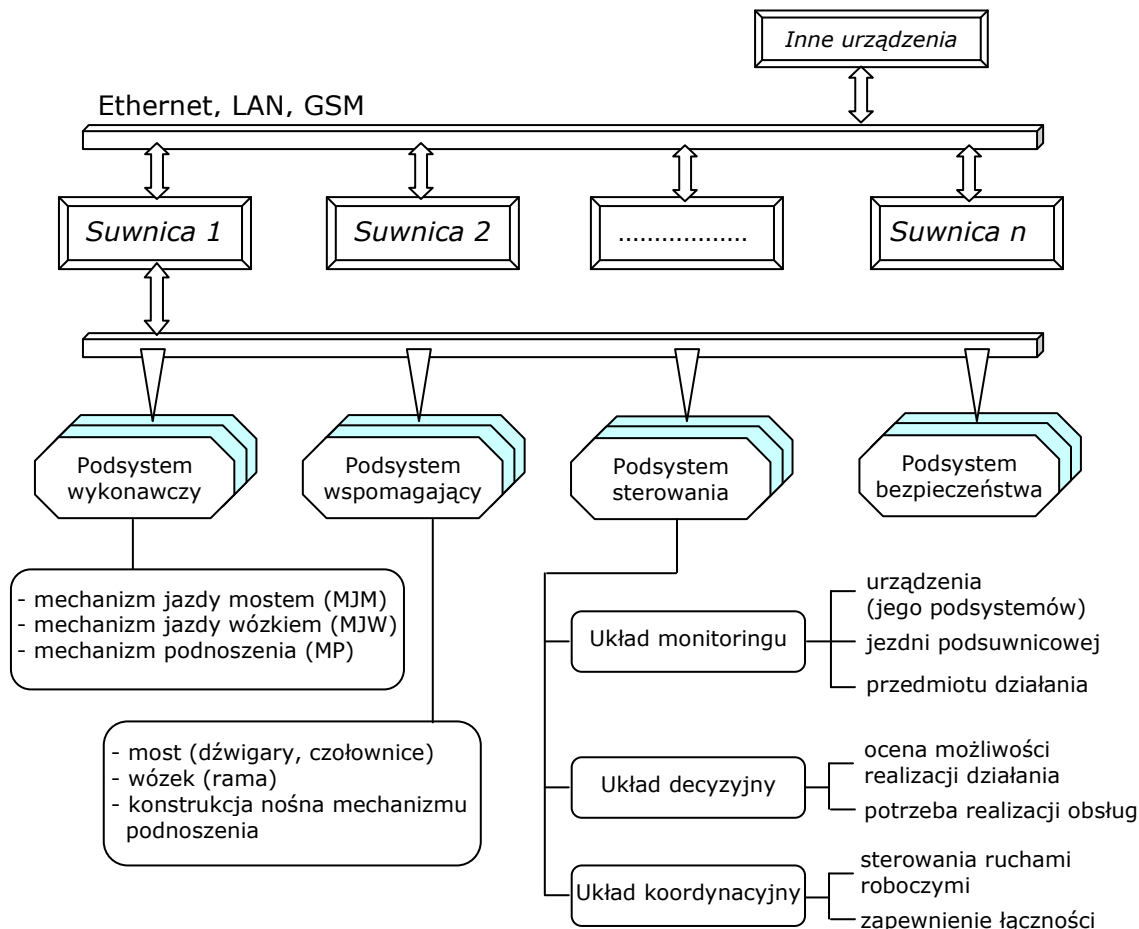
Kształtowanie niezawodności systemu C-OT jest złożone i wymaga łącznego uwzględnienia potencjału operatora i urządzenia oraz sterowań, będących funkcją zasilań energetycznych i informacyjnych, oddziaływań otoczenia i urządzenia, ponadto wiedzy i umiejętności operatora.

Zarządzanie procesem eksploatacji i utrzymania systemów technicznych wymaga dużej wiedzy o samym obiekcie jak również aktywnego zaangażowania służb technicznych wspomagających proces eksploatacji urządzenia. W sytuacji ciągłej presji związanej z podnoszeniem dyspozycyjności i zwiększaniem bezpieczeństwa eksploatowanych środków produkcji przy jednocześnie ograniczonym najczęściej budżecie przeznaczonym na bieżące utrzymanie, służby techniczne muszą umieć wybierać najbardziej efektywne techniki obsługowe. W rezultacie analizy istniejącej historii eksploatacji urządzenia możliwe jest zoptymalizowanie jego procesu serwisowego poprzez wskazanie, a następnie eliminację lub zmianę nieskutecznych działań obsługowych. Podejmowanie decyzji w zakresie prowadzenia procesu eksploatacji urządzenia z wykorzystaniem podejścia typu RCM pozwala lepiej zrozumieć potrzeby systemu, lepiej organizować prowadzenie serwisu, w rezultacie których możliwe jest podniesienie dyspozycyjności, zapewnienie wymaganej niezawodności eksploatacyjnej, ograniczenie skutków awarii, a także zwiększenie poziomu bezpieczeństwa systemu.

7. PODSYSTEM KOORDYNACJI DZIAŁANIA

7.1 Opis systemu

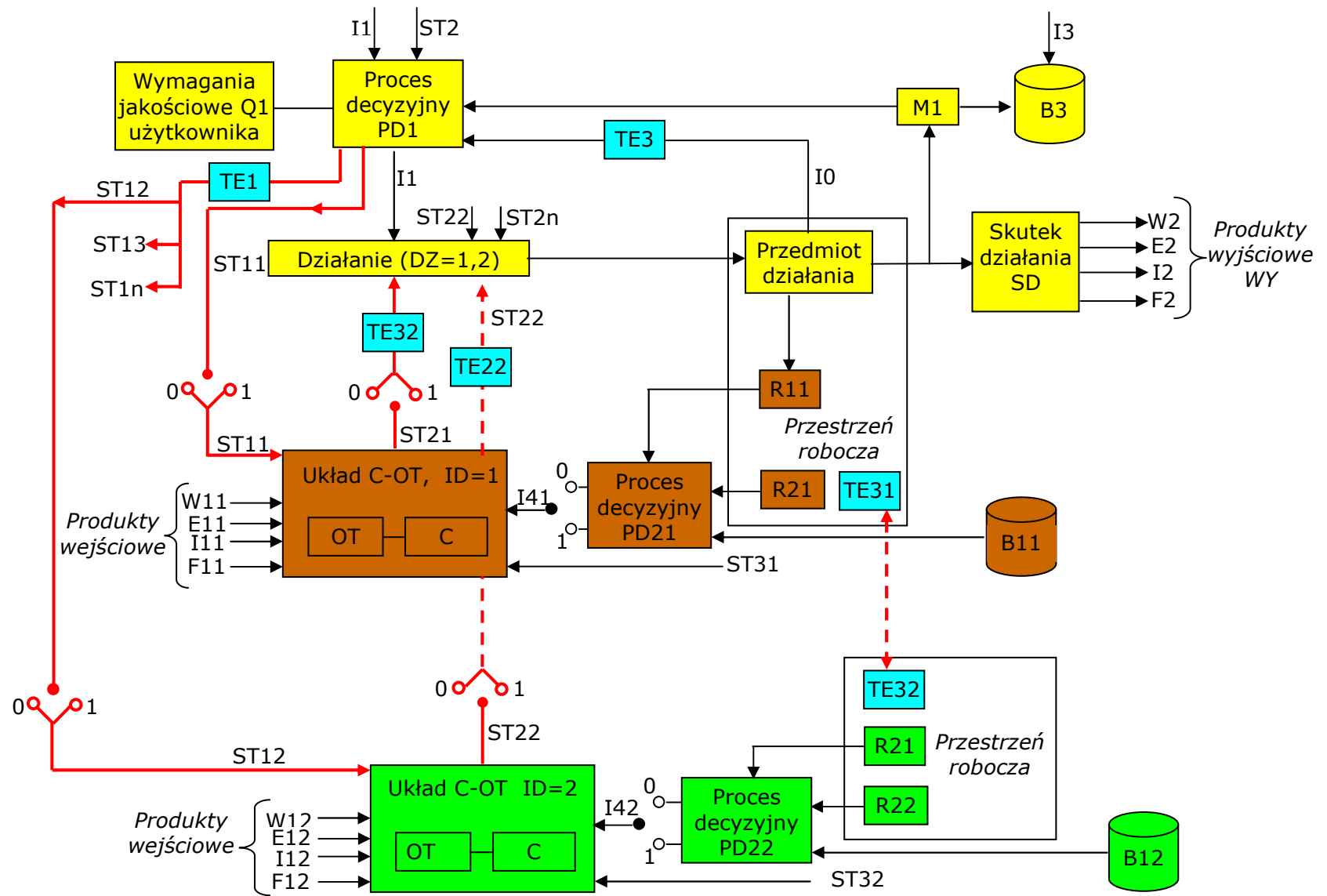
Obecnie urządzenia coraz częściej wykonują określone działania, które są sumą działań realizowanych przez określone środki transportowe. W praktyce najczęściej mamy do czynienia z *n*-liczną grupą różnych środków transportowych. Na rysunku 7.1 przedstawiono szkic suwnic pomostowych eksploatowanych w sieci oraz ich wyróżnione podsystemy i zespoły. W praktyce istnieje problem koordynacji działań realizowanych przez *n*-liczną grupę środków transportowych.



Rys. 7.1. Szkic eksploatowanych w sieci suwnic pomostowych oraz ich dekompozycja funkcjonalna

W systemie przedstawionym na rys. 7.1 istotną rolę odgrywają operatorzy urządzeń realizujący określone działania sformułowane przez dyspozytora z Centrum Zarządzającego przedsiębiorstwem.

Przykład podsystemu koordynacji działania realizowanego przez dwa urządzenia został przedstawiony na rys. 7.2. Urządzenia o numerach ID=1 i ID=2 wykonują określone działania (DZ=1,2) z wykorzystaniem decyzji PD1. Sformułowane do realizacji działanie w postaci sterowań typu ST2 jest przypisywane do poszczególnych urządzeń ID=1 i ID=2. Przypisanie następuje na skutek informacji I3 w zakresie realizacji działania oraz informacji I0 dotyczącej przedmiotu działania.



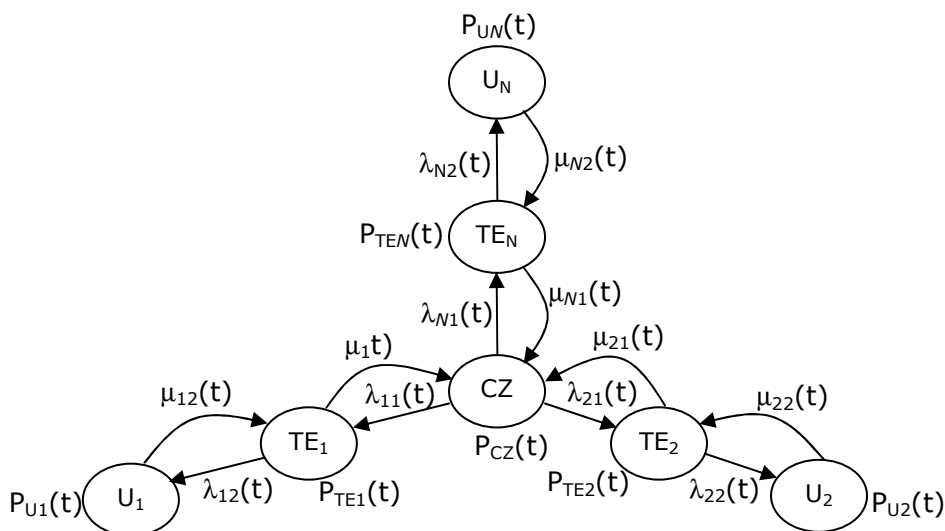
Rys. 7.2. Schemat blokowy podsystemu koordynacji działania

Przepływ informacji w złożonym systemie odbywa się przewodowo lub bezprzewodowo (zdalnie), w większości przypadków uzależniony jest od odległości pomiędzy urządzeniami realizującymi określone działania. W podsystemie koordynacji przydatną techniką pomocą przy komunikacji (zarządzaniu) jest telematyka.

W zautomatyzowanych systemach transportowo-produkcyjnych system transmisji informacji pomiędzy współpracującymi urządzeniami i operatorami odbywa się przeważnie drogą radiową. Najczęściej w tym celu wykorzystywane są przenośne telefony, które bazują na technologii GSM. Innymi w praktyce stosowanymi rozwiązaniami do układów transmisji informacji są rozwiązania przewodowe (np. *Ethernet*) i coraz częściej układy transmisji bezprzewodowej (np. *Wireless*) pracujących w sieciach lokalnych typu LAN (ang. *Local Area Network*) lub globalnych typu WAN (ang. *Wide Area Network*).

7.2. Model niezawodnościowy

Do wyznaczenia skuteczności systemu złożonego z kilku urządzeń pomocne są modele niezawodnościowe. Uproszczony model niezawodnościowy n -licznej klasy urządzeń, które wykorzystują łącza telematyczne do komunikacji pomiędzy sobą przedstawiono na rysunku 7.3



Rys. 7.3. Model niezawodnościowy złożony z n elementów o dwóch stanach gotowości

Rozpatrywany system składa się z n elementów o intensywności uszkodzeń λ_i i intensywności odnow μ_i , $i = 1, 2, \dots, n$. Informacje pomiędzy urządzeniem (U) a terminalem zarządzającym (CZ) przesyłane są bezprzewodowo wykorzystując łącza telematyczne (TE).

Struktura przedstawionego modelu obejmuje:

- $P_{CZ}(t)$ - prawdopodobieństwo przebywania urządzenia w stanie gotowości w chwili t ,
- $P_{TE}(t)$, $P_U(t)$ - prawdopodobieństwo przebywania wyróżnionych podsystemów urządzenia w stanie niegotowości w chwili t ,
- $\lambda(t)$ - intensywność przejścia od stanu oczekiwania (realizacji działania) do stanu obsługiwanego (intensywność uszkodzenia),

$\mu(t)$ - intensywność przejścia ze stanu obsługiwanego do stanu użytkownika (gotowości).

Model niezawodności systemu można opisać układem równań:

$$P'_{CZ}(t) = -P_{CZ}(t) \cdot \lambda_{11}(t) + P_{TE1}(t) \cdot \mu_{11}(t) \quad (7.1)$$

$$P'_{TE1}(t) = P_{CZ}(t) \cdot \lambda_{11}(t) - P_{TE1}(t) \cdot \lambda_{12}(t) \quad (7.2)$$

$$P'_{U1}(t) = P_{TE1}(t) \cdot \lambda_{12}(t) - P_{U1}(t) \cdot \mu_{12}(t) \quad (7.3)$$

$$P_{CZ}(0) = 1; \quad P_{TE1}(0) = P_{U1}(0) = 0 \quad (7.4)$$

$$P_{CZ}(t) + P_{TE1}(t) + P_{U1}(t) = 1 \quad (7.5)$$

Przy założeniu, że $\lambda_{11}(t) = \lambda_{11}$, $\lambda_{12}(t) = \lambda_{12}$ oraz $\mu_{11}(t) = \mu_{11}$, $\mu_{12}(t) = \mu_{12}$ otrzymuje się następujące równania:

$$P_{CZ} = \frac{1}{1 + \lambda_{11} \cdot \left(\frac{1}{\lambda_{12}} + \frac{1}{\mu_{11} + \mu_{12}} \right)} \quad (7.6)$$

$$P_{TE1} = \frac{\lambda_{11}}{\lambda_{21}} \cdot P_{CZ} \quad (7.7)$$

$$P_{U1} = \frac{\lambda_{11}}{\mu_{11} + \mu_{12}} \cdot P_{CZ} \quad (7.8)$$

W podsystemie *koordynacji działania* zaproponowano współczynnik skuteczności działania (E_{d3}) całego podsystemu, w zakresie układów przepływu informacji:

$$E_{d3} = A_3 \cdot D_3 \cdot M_3 \quad (7.9)$$

gdzie:

A_3 - gotowość systemu złożonego z układu telematycznego TE oraz środka transportu U,

D_3 - niezawodność systemu złożonego z układu telematycznego TE oraz środka transportu U,

M_3 - obsłużywalność systemu złożonego z układu telematycznego TE oraz środka transportu U.

Gotowość systemu:

$$A_3 = A_{CZ} = A_U \cdot A_{TE} \quad (7.10)$$

A_{CZ} - gotowość terminalu zarządzającego,

A_U - gotowość urządzenia,

A_{TE} - gotowość łączy telematycznych.

Niezawodność systemu:

$$D_3 = D_{CZ} = D_U \cdot D_{TE} \quad (7.11)$$

D_{CZ} - niezawodność terminalu zarządzającego,

D_U - niezawodność urządzenia,

D_{TE} - niezawodność łączy telematycznych.

Obsłużywalność systemu:

$$M_3 = M_{CZ} = M_U \cdot M_{TE} \quad (7.12)$$

M_{CZ} - obsługiwalność terminalu zarządzającego,

M_U - obsługiwalność urządzenia,

M_{TE} - obsługiwalność łączy telematycznych.

W podsystemie koordynacji działania wyznaczenie gotowości urządzenia jest uzasadnione w sytuacji, gdy część danych jest przesyłana z Centrum Zarządzającego z użyciem różnych łączy, które charakteryzują się różnymi wartościami gotowości. Przykładem są sieci oparte na protokole IP (ang. *Internet Protocol*). Gotowość przenoszonych danych jest średnią ważoną gotowości poszczególnych połączeń i wyraża się wzorem [63]:

$$A_{CZ} = \frac{\sum_i A_{TE} \cdot T_{TE}}{\sum_i T_{TE}} \quad (7.13)$$

gdzie:

A_{CZ} - gotowość danych do przesyłania między węzłami sieci za pomocą i -tej liczby połączeń,

A_{TE} - gotowość i -tego połączenia,

T_{TE} - szybkość transmisji danych przez i -te połączenie,

$\sum_i T_{TE}$ - szybkość transmisji danych między i -tymi węzłami (połączenie jednokierunkowe).

W połączeniach wykorzystujących łączy telematyczne niezawodność transmisji informacji polega na prawidłowym utrzymaniu połączenia pomiędzy współpracującymi ze sobą urządzeniami lub urządzeniem, a centrum zarządzającym w określonym czasie i istniejących warunkach eksploatacji. Jest ona wynikiem niezawodności elementów wyróżnionego systemu oraz niezawodności sieci rozróżnialnych połączeń. Istotnymi wymaganiami dla sieci transmisji informacji z wykorzystaniem łączy telematycznych są postulaty: zapewnienia wysokiej niezawodności węzłów oraz opracowania takiej struktury niezawodnościowej sieci, aby jej wpływ na niezawodność transmisji informacji był jak najmniejszy.

Współczynnik wykorzystania czasu użytkownika oraz prawdopodobieństwo terminowej realizacji usług [57] obejmuje:

- stacjonarny współczynnik wykorzystania czasu użytkownika urządzeń może być obliczony z zależności:

$$\bar{K}_a = \frac{\bar{T}_e}{\bar{T}_e + \bar{T}_n} \quad (7.14)$$

gdzie: \bar{T}_e - średnia wartość czasu efektywnego przekazywania wiadomości,

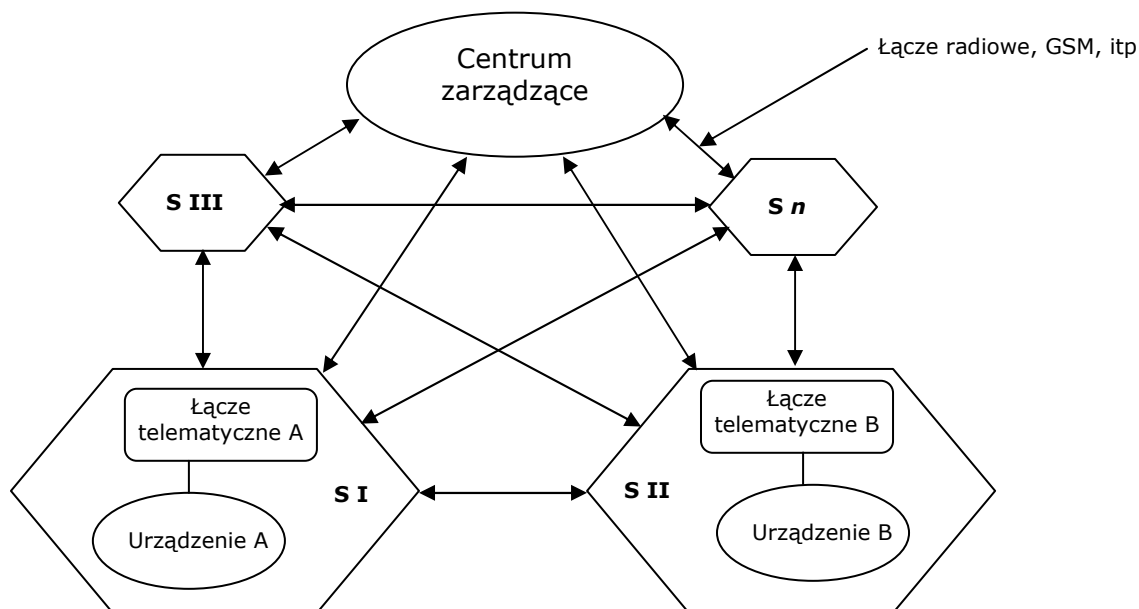
\bar{T}_n - średnia wartość czasu nieefektywnego przekazywania wiadomości.

- prawdopodobieństwo terminowej realizacji usługi $P_t(t_d)$:

$$P_t(t_d) = P\{(t_e + t_n) \leq t_d\} \quad (7.15)$$

gdzie: t_d - dopuszczalny czas transmisji informacji,
 t_e - czas efektywnej transmisji informacji,
 t_n - czas trwania połączenia bez transmisji informacji.

Koszty eksploatacyjne w podsystemie koordynacji powinny uwzględniać koszty związane z liczbą urządzeń korzystających z usług wykorzystujących łącza telematyczne, a także koszty związane z nadajnikami i odbiornikami pomiędzy operatorami urządzeń a Centrum Zarządzającym (koordynującym). Dodatkowo należy uwzględnić koszt abonamentu telekomunikacyjnego oraz ewentualne koszty związane z naprawą nadajników i odbiorników. Przykład przesyłu informacji pomiędzy n -liczną grupą urządzeń przedstawiono na rysunku 7.4 (S_n - system obejmujący n -liczną grupę urządzeń i łącza telematycznych).



Rys. 7.4. Przykład przesyłu informacji w centrum zarządzającym

Całkowity koszt wdrożenia urządzeń komunikacyjnych dla jednego systemu (LCC_{SI}) ma postać:

$$LCC_{SI} = C_U + C_A + C_{NA} \quad (7.19)$$

gdzie:

C_U - koszt aparatury nadawczo-odbiorczej (telefony, GPS, itp.),

C_A - koszt abonamentu,

C_{NA} - koszty naprawy aparatury.

Całkowity koszt dla n -licznej grupy współpracujących ze sobą urządzeń przedstawia zależność:

$$LCC_{ZT} = LCC_{SI} + LCC_{SII} + LCC_{SIII} + \dots + LCC_{Sn} \quad (7.20)$$

gdzie:

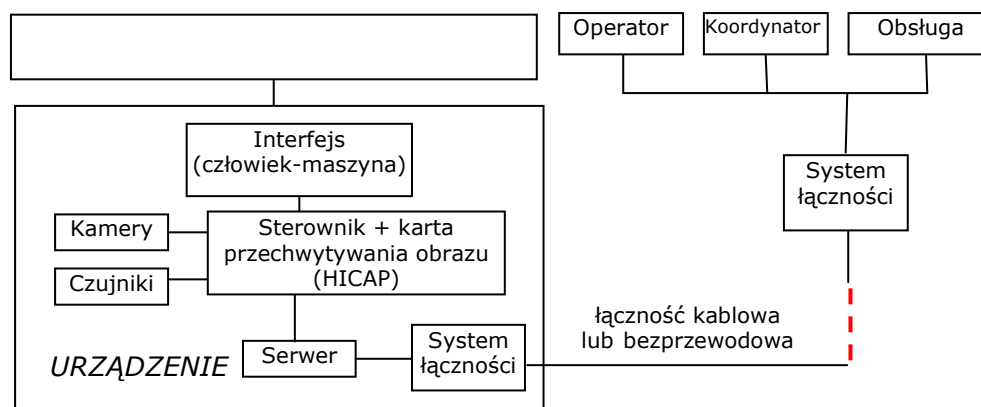
LCC_{ZT} - całkowity koszt instalacji sieci wykorzystującej łącza telematyczne,

LCC_S - koszt poszczególnych systemów.

7.3. Układy telematyczne w środkach transportu bliskiego

Telematyka znajduje zastosowanie w eksploatacji środków transportu bliskiego: w procesie użytkowania oraz w procesie obsługi. Przykładami wdrożeń są pojazdy mobilne [93] i wózki samobieżne automatyczne typu AGV (ang. *Automated Guided Vehicle*), a ponadto układnice regałowe stosowane w magazynach wysokiego składowania i dźwignice w centrach kontenerowych. Znane są ponadto układy nadzorujące pracę wind osobowych firmy Kone, Otis [35] oraz mobilnych robotów [56].

Coraz częściej w zautomatyzowanych systemach transportowo-produkcyjnych proces eksploatacji środków transportu jest wspomagany urządzeniami pozyskiwania, przetwarzania, transmisji i prezentacji informacji dla potrzeb sterowania i nadzorowania. Przykładowy schemat blokowy współpracy urządzenia z operatorami przedstawiono na rys. 7.5. W praktyce w procesie transportowo-produkcyjnym z udziałem n -tej liczby środków transportowych zagadnienie przepływu informacji jest procesem złożonym wymagającym budowy specjalistycznych procedur w zakresie zarządzania (z wykorzystaniem algorytmów znanych w badaniach operacyjnych i wspomaganym komputerowo).

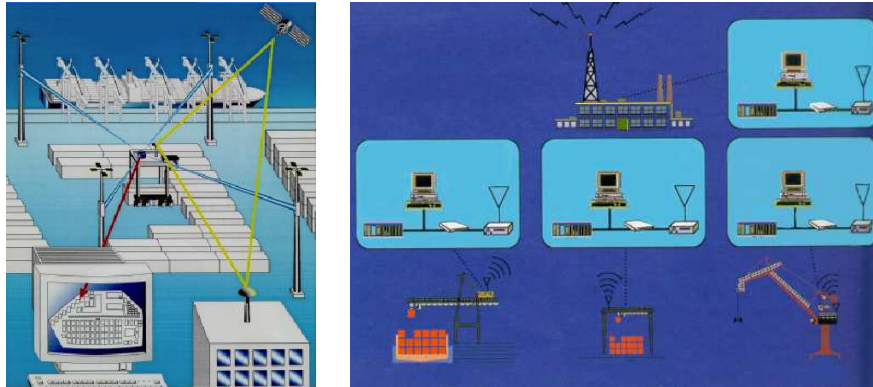


Rys. 7.5. Schemat blokowy współpracy urządzenia z operatorami [76]

W transporcie bliskim elementy telematyki wykorzystywane są przykładowo do:

- identyfikacji ładunku oraz środka transportowego,
- monitorowania położenia ładunku oraz środka transportowego w przestrzeni roboczej,
- zarządzania ruchem środków transportowych (np. transport kontenerowy, centra dystrybucji ładunku),
- sterowania zautomatyzowanymi środkami transportu (np. AGV, suwnice, układnice).

Przykładowe systemy transmisji informacji pomiędzy współpracującymi urządzeniami i operatorami przedstawiono na rys. 7.6.



Rys. 7.6. Przykładowe systemy transmisji informacji pomiędzy współpracującymi urządzeniami i operatorami [76]

W praktyce większość eksploatowanych środków transportu bliskiego jest układami złożonymi z urządzenia i operatora. Układy sterowania zdalnego nie są aktualnie popularne, z uwagi na bezpieczeństwo i bariery psychofizyczne operatorów urządzeń oraz wymagane specjalistyczne szkolenie. Obecnie coraz częściej kabiny operatorów środków transportu bliskiego wyposaża się w dodatkowe oprzyrządowanie wspierające jego proces decyzyjny podczas użytkowania urządzenia. Przykładowe panele informacyjne stosowane w środkach transportu bliskiego przedstawiono na rys. 7.7. Operator urządzeń transportowych wykorzystując różnego rodzaju informacje prezentowane na pulpitych sterowniczych, dodatkowo ma możliwość wspierać procesu decyzyjny w fazach użytkowania i obsługiwanie systemów i urządzeń transportowych.



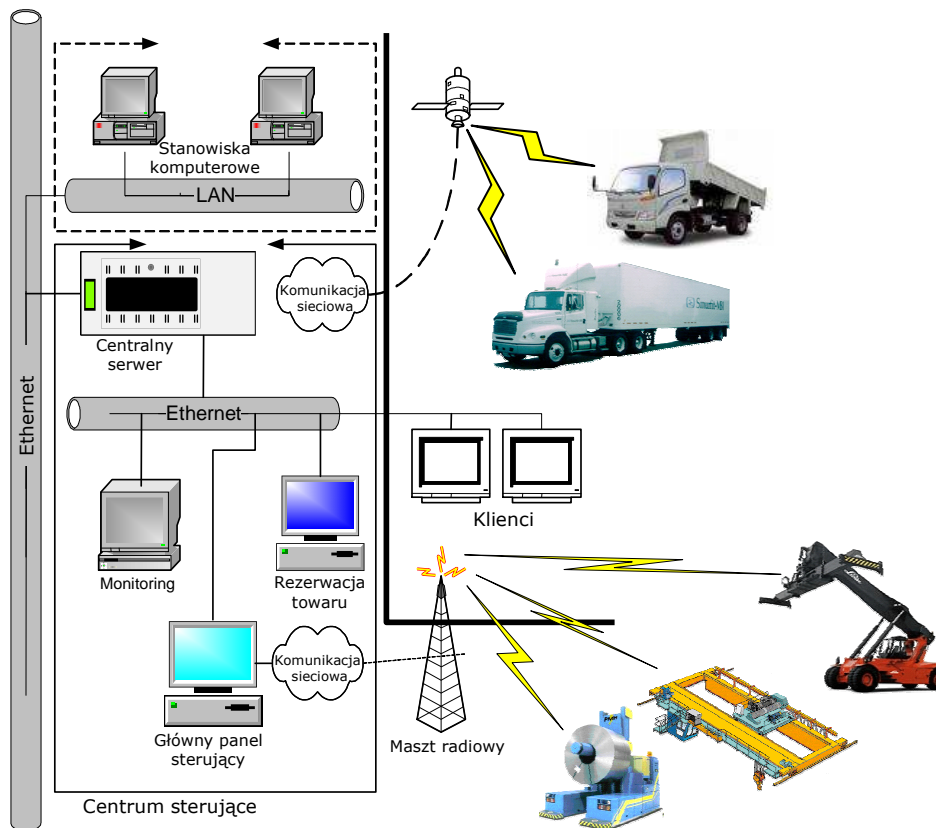
Rys. 7.7. Przykładowe pulpity wspomagające pracę operatora urządzenia [76]

W fazie użytkowania urządzeń transportowych istotna jest:

- identyfikacja ładunku, środka transportu oraz zmian jego położenia,
- optymalne projektowanie trajektorii ruchu ładunku w przestrzeni roboczej,
- sterowanie różną klasą środków transportu,
- generowanie informacji podczas niebezpiecznego zdarzenia (alarm).

W fazie obsługiwanie podejmowanie decyzji następuje w rezultacie oceny stanu technicznego urządzenia. Istotnym jest właściwe sterowanie działaniami służb specjalistycznych.

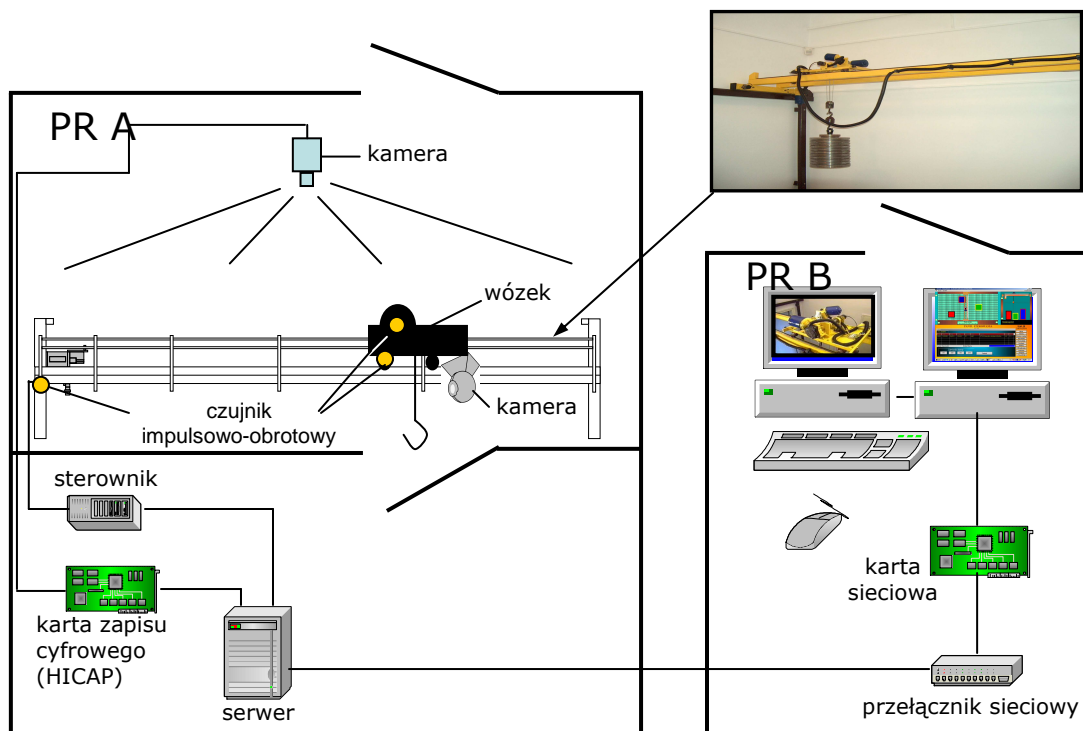
Przykład przepływu informacji dla potrzeb decyzyjnych w terminalu kontenerowym z wykorzystaniem telematyki przedstawiono na rysunku 7.8.



Rys. 7.8. Przykład przepływu informacji w terminalu kontenerowym [73]

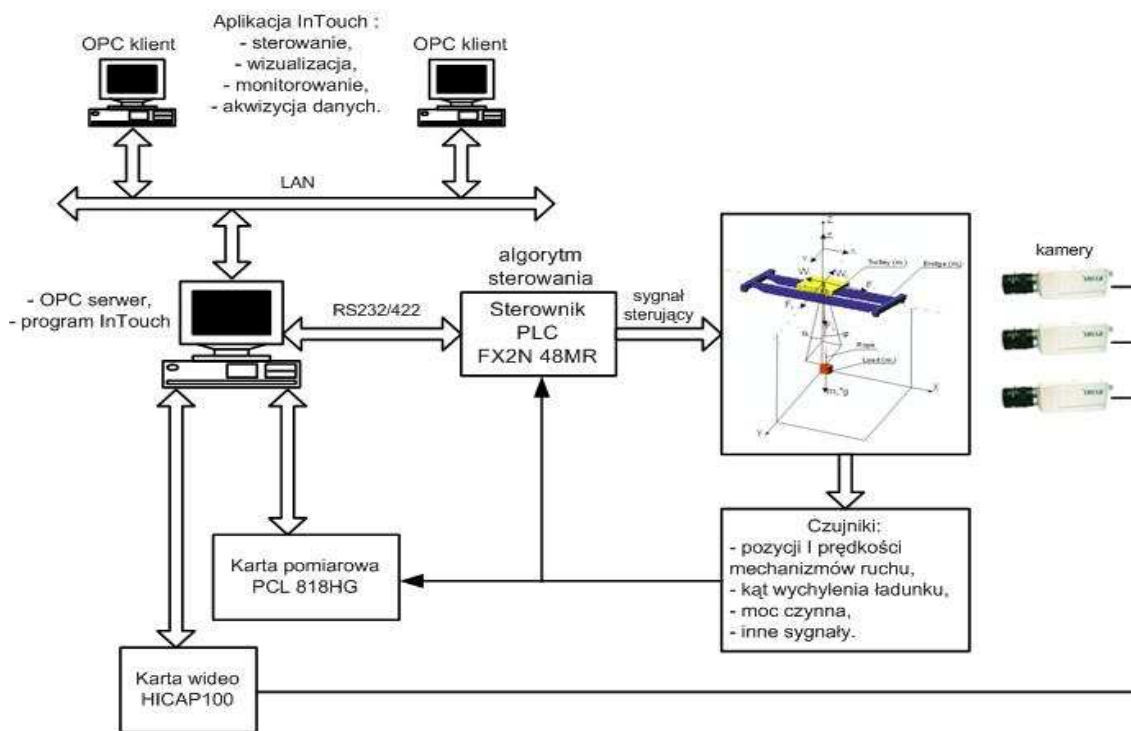
Dla potrzeb badania systemu zdalnego sterowania eksploatacją suwnicy pomostowej w Zespole Transportu Technologicznego, w Katedrze Urządzeń Technologicznych i Ochrony Środowiska AGH w Krakowie, zaprojektowano i wykonano stanowisko badawcze (rys. 7.9), którego istotnym elementem jest model fizyczny suwnicy pomostowej o udźwigu $Q=1,5[kN]$. Do transmisji danych z urządzenia i środowiska pracy suwnicy zastosowano łączność przewodową, przy pomocy sieci Internetu i bezprzewodową. Układ transmisji danych z kartą *wi-fi* (np. *Wireless*) pracującej w sieci zapewnia przepustowość do 11Mb/s przy zasięgu do kilkunastu metrów.

Stanowisko badawcze umożliwia pozyskiwanie informacji o środowisku pracy urządzenia (z użyciem kamer typu CCD) oraz o suwnicy charakteryzowanej przez jej wybrane parametry eksploatacyjne. Układ sterowania urządzeniem i transmisji informacji obejmuje między innymi: sterownik, kartę zapisu cyfrowego, serwer lokalny, przełącznik sieciowy, kartę sieciową oraz dwa komputery. Proces użytkowania suwnicy jest obserwowany w oddalonym pomieszczeniu (PR B) na ekranach monitorów. W pomieszczeniu tym operator ma możliwość zdalnego sterowania ruchami roboczymi suwnicy.

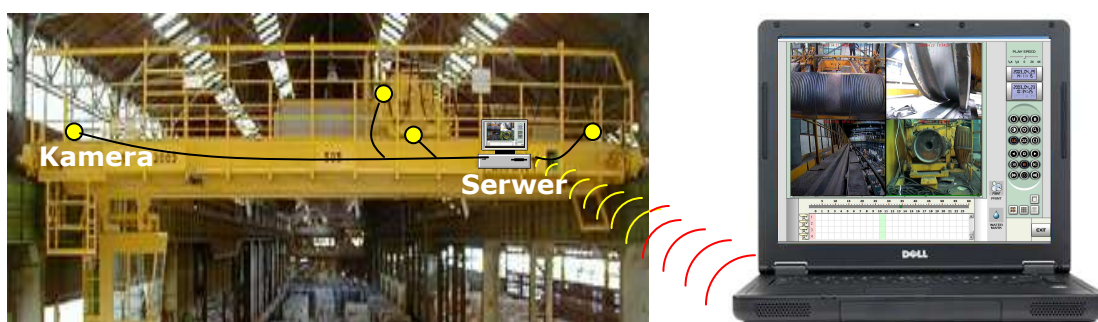


Rys. 7.9. Szkic stanowiska badawczego,

Po wstępnych badaniach na modelu laboratoryjnym suwnicy pomostowej podjęto próbę budowy zdalnego nadzorowania obiektu rzeczywistego. W tym celu na dwudźwigarowej suwnicy pomostowej o udźwigu $Q = 125$ [kN], zabudowano układ sterowania, wizualizacji i monitoringu wybranych parametrów eksploatacyjnych urządzenia (rys. 7.10). Do transmisji informacji z sensorów zainstalowanych na suwnicy do komputera zastosowano łącza przewodowe i bezprzewodowe (rys. 7.11). System pomiarowy wykorzystuje sterownik PLC, kartę pomiarową oraz komputery PC z kartą przechwytywania obrazu HICAP i oprogramowaniem InTouch.



Rys. 7.10. System monitoringu i wizualizacji zastosowany na suwnicy pomostowej



Rys. 7.11. Sposób transmisji informacji w nadzorowaniu eksploatacji suwnic [80]

W zaprezentowanym systemie nadzorowania zaproponowano trzy podsystemy:

- system sterowania mechanizmami ruchu suwnicy wyposażonej w przemienniki częstotliwości,
- układ pomiarowy wyposażony w czujniki umożliwiające monitoring takich parametrów jak: pozycja i prędkość mechanizmów ruchu, kąt wychylenia ładunku, moc czynna i inne,
- układ wizualizacji i monitoringu z wykorzystaniem komputera PC oraz oprogramowania InTouch.

Telematyka w znaczący sposób wpływa na wspomaganie procesu decyzyjnego w zakresie zarządzania ruchem środków transportowych (np. transport kontenerowy) oraz służbami specjalistycznymi w przypadku zajścia zdarzeń zagrażających bezpieczeństwu. Oczekiwane rezultaty z zastosowania telematyki obejmują między innymi: obniżenie kosztów zarządzania posiadaniem potencjałem transportowym, wzrost bezpieczeństwa i niezawodności usług transportowych, automatyzację procesów decyzyjnych. Istnieje zatem możliwość jakościowego kształtowania transportu z uwzględnieniem wymagań użytkownika. Wyzwania dla telematyki w transporcie są zorientowane na:

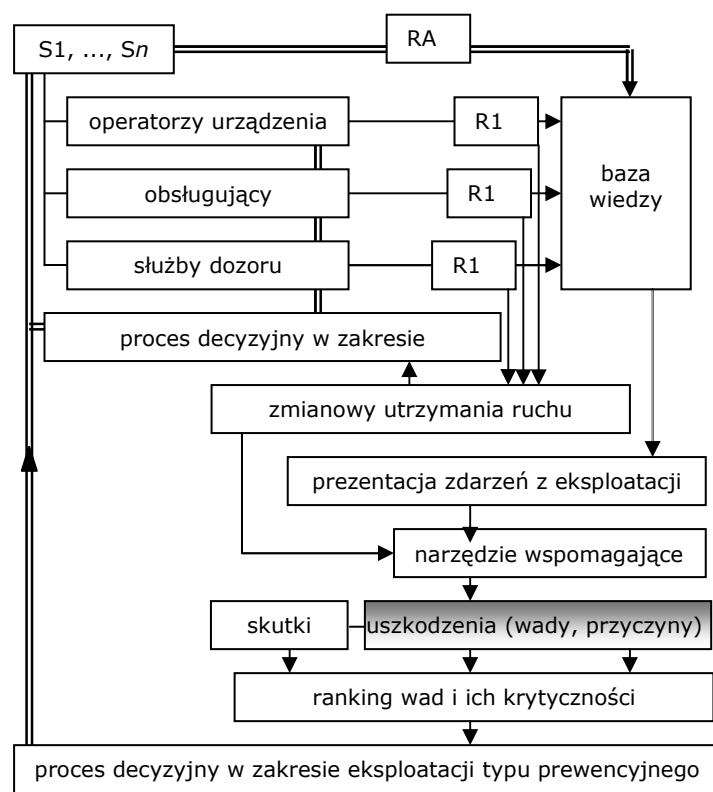
- techniczne zapewnienie możliwości łączności pomiędzy modami systemu transportowego,
- budowę aktywnego systemu bezpieczeństwa w wyróżnionych kategoriach transportu,
- budowę systemów pozyskiwania informacji o modach systemu oraz ich gromadzenia w bazach danych,
- budowę zintegrowanej bazy danych o ładunkach, środkach transportowych, otoczeniu/ infrastrukturze,
- monitorowanie/ śledzenie transportu ładunków specjalnych (materiały niebezpieczne),
- monitorowanie bezpieczeństwa i obciążenia infrastruktury transportowej.

7.4. Przykładowe wyniki badań

Przedmiotem badań była grupa 33 suwnic pomostowych dla której horyzont czasowy obejmował okres 41 miesięcy (tabela 7.1). W badaniach uczestniczyło 33 ekspertów, z których każdy wykonał 3 ekspertyzy z wykorzystaniem ankiet. Dla badanych suwnic i ich elementów przyjęto oznaczenia przedstawione w tabeli 7.2 oraz na rysunku 7.13.

W skali dziesięciopunktowej oceniano między innymi częstotliwość uszkodzeń (zarejestrowana liczba zdarzeń w określonym badaniach horyzoncie czasowym)

wymagających obsług wyróżnionych zespołów w podsystemach suwnic, przyczyny uszkodzeń, techniki obsług i wykrywania uszkodzeń zespołów (rys. 7.12).



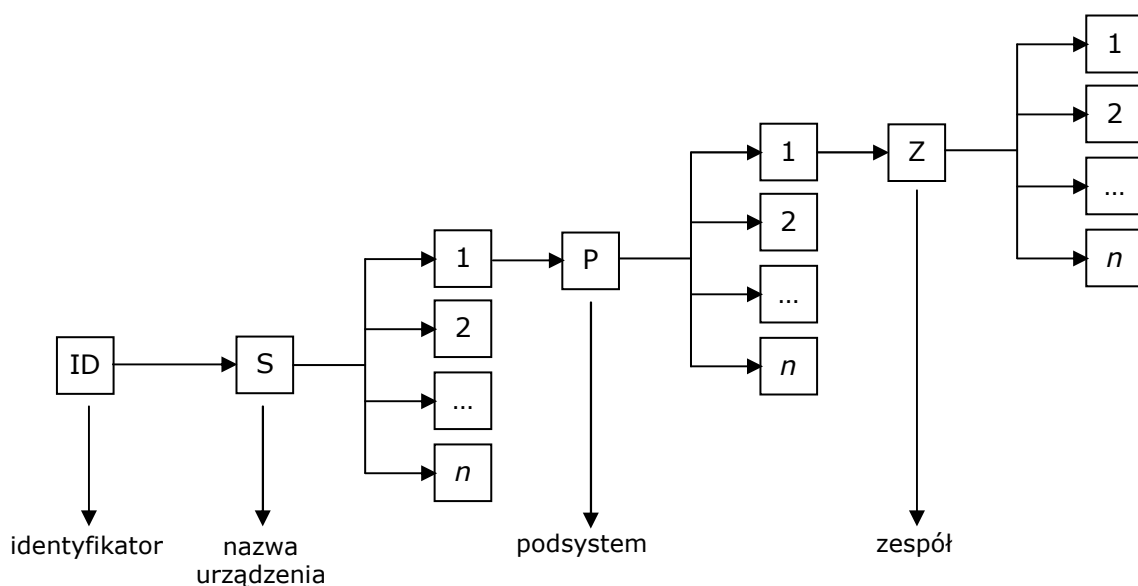
Rys. 7.12. System sterowania procesem obsługi suwnic pomostowych [87],
R - książka raportowa, RA - automatyczny sposób gromadzenia i przekazywania informacji, S - wybrana klasa suwnic pomostowych

Na skuteczność procesu decyzyjnego istotny wpływ ma baza wiedzy w zakresie eksploatacji przedmiotowego urządzenia i innych zaliczanych do danej klasy. W rzeczywistości proces obsługi jest realizowany dla przypadków niepełnej (ograniczonej) i pełnej informacji o przebiegu procesu użytkowania urządzenia. Dla potrzeb sterowania systemem obsługi urządzeń niezbędne są ponadto metody i narzędzia wspomagające proces decyzyjny z uwzględnieniem podejścia typu przyczyna – skutek.

Pierwszym źródłem danych eksploatacyjnych zazwyczaj jest wiedza ekspertów, pozyskana za pomocą ankiety przeprowadzonej wśród pracowników działu utrzymania ruchu. W ankietach tych z góry była narzucona dekompozycja funkcjonalna urządzenia. Wybrany fragment przedstawiający podsystemy i zespoły (wraz z przypisanymi kodami) przedstawiono w tabeli 7.2.

Tabela. 7.1. Wybrane parametry badanych suwnic: *PG* - mechanizm podnoszenia głównego, *PP* - mechanizm podnoszenia pomocniczego, *JWG* - mechanizm jazdy wózkiem głównym, *JWP* - mechanizm jazdy wózkiem pomocniczym, *JM* - mechanizm jazdy mostem

Lp.	Nr urządzenia	Rok produkcji	Q [kN]	L [m]	Prędkości jazdy mechanizmów [m/min]						Liczba awarii umożliwiających użytkowanie					
					PG	PP1	PP2	JM	JWG	JWP	Mechanizm					Liczba awarii ogółem
											JM	JWG	JWP	PG	PP	
1	IDS1	1995	2400/500/160	16	4,2	10,5	18,7	57,2	32,5	37,2	17	14	13	16	20	80
2	IDS2		350/50	28,5	11,3	12,5		100	30,5		3	4	2	2	2	13
3	IDS3	1995	2400/500/160	16	4,2	10,5	18,7	57,2	32,5	37,2	2	3		2		7
4	IDS4	1974	320	19	32			102	37,3		2	3		3		8
5	IDS5	1974	320	19	32			102	37,3		11	10	24	23	38	106
6	IDS6	1966	1800/500/160	22	3,8	8	14,7	81,3	32	40	12	11	13	23	20	79
7	IDS7	1964	1800/500/160	22	3,8	8	14,7	81,3	32	40	17	14	13	16	20	80
8	IDS8	1979	2250/500/160	22	5,9	7,2	16,4	81	32	38	3	3	2	2	2	12
9	IDS9	1973	160	28,5	18			128	39		2	2		2		6
10	IDS10	1972	160	22,5	16,7			76,5	59,6		1	2		2		5
11	IDS11	1972	160	22,5	16			78	39		1	2		2		5
12	IDS12	1966	1400/500/160	28	3,8	8	14,7	81,3	32	40	1	2		2		5
13	IDS13	1965	2400/500/160	22	3,8	8	14,7	81,3	32	40	1	2		2		5
14	IDS14	1965	2400/500/160	22	3,8	8	14,7	81,3	32	40	12	18	25	24	70	149
15	IDS15	1979	2250/500/160	22	3,8	8	14,7	81,3	32	40	13	19	13	24	37	106
16	IDS16	1972	2000/500/160	22	3,8	8	14,7	81,3	32	40	13	13	13	36	37	112
17	IDS17	1964	2000/500/160	22	3,8	8	14,7	81,3	32	40	13	13	13	36	37	112
18	IDS18	1971	2000/500/160	22	3,8	8	14,7	81,3	32	40	13	13	13	37	37	113
19	IDS19	1962	1250/500/160	28	3,8	8	14,3	81	35,4	33,7	13	19	13	37	37	119
20	IDS20	1968	500	31	14			100	36		11	16	16	26	31	100
21	IDS21	1968	500	31	14			100	36		17	16	16	26	31	106
22	IDS22	1970	500	31	14			100	36		4	4	2	3	2	15
23	IDS23	1971	160	28,5	18			128,5	39		5	5		5		15
24	IDS24	1969	160	28,5	18			117,3	39		4	4		4		12
25	IDS25	1965	160	28,5	20,4			90	39		3	3		3		9
26	IDS26	1965	100	22	31,71			49,7	39,1		3	2		3		8
27	IDS27	1977	500	31	14			100	36		2	2		2		6
28	IDS28	1966	150/150	28,5	122			130	59,6	65	2	2		2		6
29	IDS29	1966	150/150	28,5	122			130	59,6	65	1	2		2		5
30	IDS30	1972	150/150	28,5	41,6	41,6		102	59,6	39,2						0
31	IDS31	1985	200/150	28,5	13,8			98	59,6	37	1	2		2		5
32	IDS32	1995	500	26	15,3			70	41,1		11	2	20	21	50	104
33	IDS33	1995	500	25	15,3			70	41,1		11	2	11	22	27	73

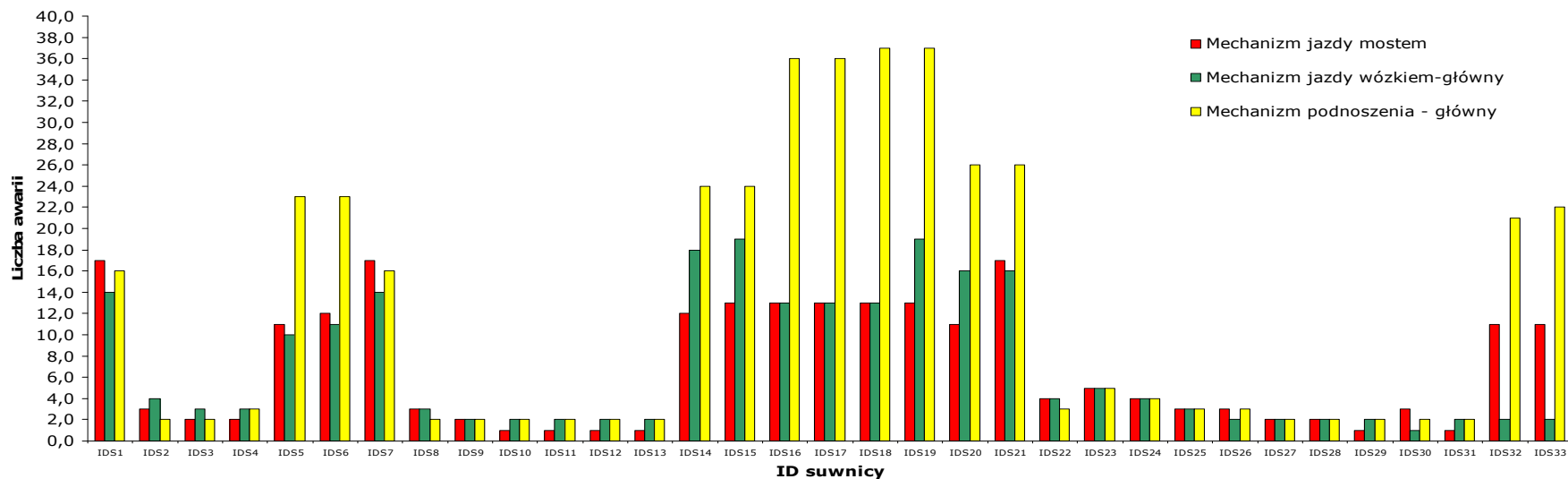


Rys. 7.13. Szkic kodowania elementów urządzenia

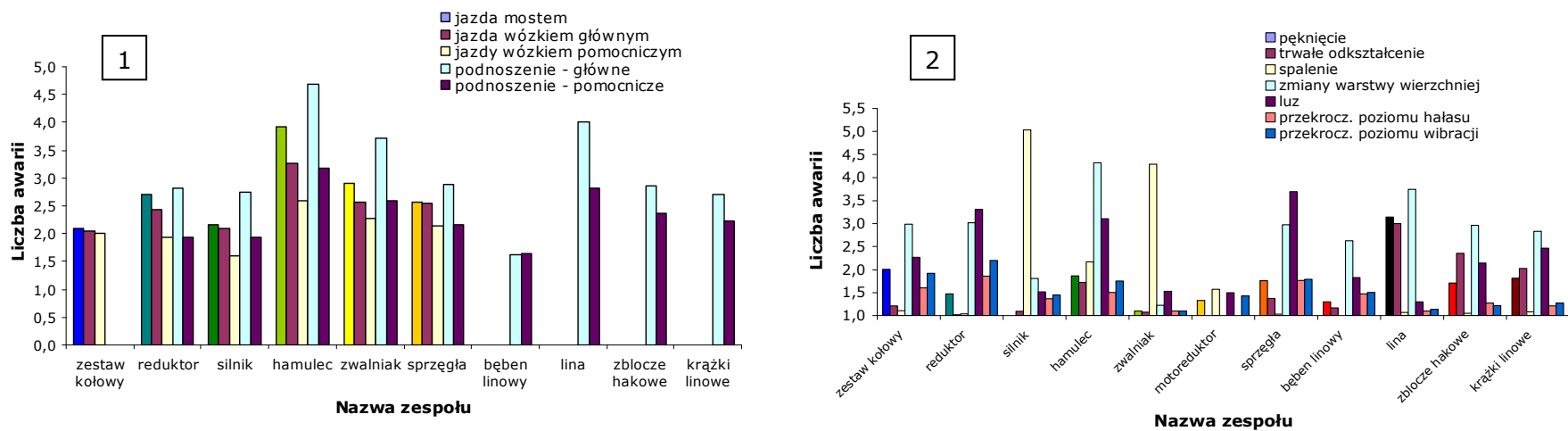
Tabela 7.2. Oznaczenie elementów suwnicy pomostowej

Nazwa	ID Podsystemu
Mechanizm jazdy mostem	IDS1P11
Mechanizm jazdy wózkiem głównym	IDS1P12
Mechanizm jazdy wózkiem pomocniczym	IDS1P13
Mechanizm podnoszenia głównego	IDS1P14
Mechanizm podnoszenia pomocniczego	IDS1P15
Nazwa	ID Zespołu
Zestaw kołowy	IDS1P1Z1
Reduktor	IDS1P1Z2
Silnik	IDS1P1Z3
Falownik	IDS1P1Z4
Hamulec	IDS1P1Z5
Zwalniak	IDS1P1Z6
Motoreduktor	IDS1P1Z7
Sprzęgła	IDS1P1Z8
Bęben linowy	IDS1P1Z9

Jedną z metod przyczynowo-skutkowych wspomagającą proces obsługiwanego urządzenia jest analiza rodzajów, skutków i krytyczności uszkodzeń typu FMECA (ang. *Failure Mode Effect and Critical Analysis*), jako rozwinięcie metody FMEA (ang. *Failure Mode and Effect Analysis*). Przykład zastosowania metody FMECA dla suwnic pomostowych z wykorzystaniem wiedzy ekspertów, przedstawiono na rysunku 7.14 i 7.15. Zaproponowany słupkowy sposób prezentacji wyników ułatwia proces decyzyjny ukierunkowany na racjonalizację procesów obsługowych.



Rys. 7.14. Częstotliwość awarii wyróżnionych mechanizmów suwnic w funkcji ich identyfikatora



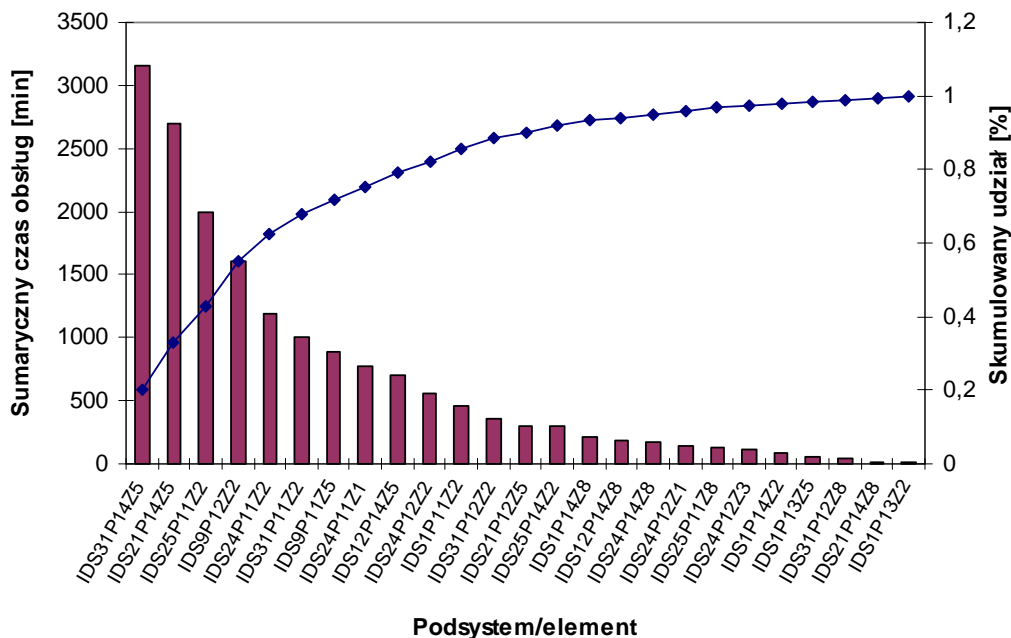
Rys. 7.15. Przykładowe wyniki badań eksploatacyjnych suwnic pomostowych: 1 - częstotliwość awarii wyróżnionych zespołów w podsystemach suwnicy, 2 - rodzaj uszkodzenia wyróżnionych zespołów suwnicy

W tabeli 7.3 zestawiono czasy obsługi dla badanych 7 suwnic pomostowych. Pozyskane informacje pochodziły z dokumentacji przedmiotowych suwnic i od operatorów urządzeń.

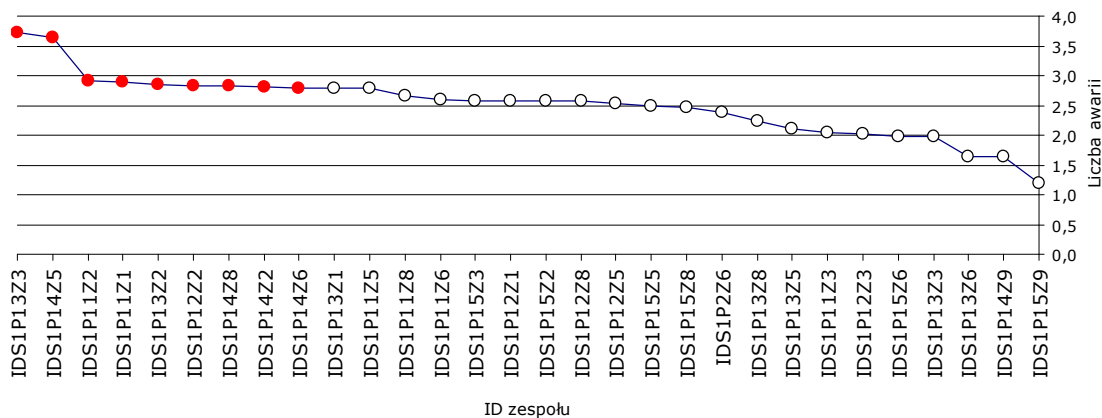
Tabela 7.3. Wybrane czasy obsługi suwnic pomostowych

Podsystem	ID Zespołu	Czas obsługi dla suwnic [min]							Sumaryczny czas obsługi [min]
		IDS1	IDS9	IDS12	IDS21	IDS24	IDS25	IDS31	
Mechanizm jazdy mostem	P11Z1	0	0	720	50	780	195	240	1985
	P11Z2	460	2090	770	300	1185	1995	1010	7810
	P11Z3	0	180	0	0	240	0	0	420
	P11Z5	225	885	405	120	375	360	360	2730
	P11Z6	0	0	0	0	0	0	0	0
	P11Z8	0	125	15	30	90	135	75	470
Mechanizm jazdy wózkiem głównym	P12Z1	0	40	0	25	150	25	360	600
	P12Z2	0	1600	0	30	560	340	360	2890
	P12Z3	0	120	0	0	120	0	0	240
	P12Z5	240	800	225	300	360	360	1260	3545
	P12Z6	0	0	0	0	0	0	0	0
	P12Z8	0	0	0	0	30	40	40	110
Mechanizm jazdy wózkiem pomocniczym	P13Z2	10	0	0	0	0	0	160	170
	P13Z3	0	0	0	0	0	0	0	0
	P13Z5	60	0	0	0	0	0	0	60
	P13Z6	0	0	0	0	0	0	0	0
	P13Z8	0	0	0	0	0	0	0	0
Mechanizm podnoszenia głównego	P14Z2	90	840	640	40	0	295	880	2785
	P14Z3	0	180	0	0	0	0	0	180
	P14Z5	2040	1880	705	2700	2500	1200	3160	14185
	P14Z6	0	0	0	0	0	0	0	0
	P14Z8	210	100	190	20	175	60	60	815
Mechanizm podnoszenia pomocniczego	P15Z2	0	0	10	0	0	0	60	70
	P15Z3	0	0	0	0	0	0	0	0
	P15Z5	0	0	0	0	0	0	180	180
	P15Z6	0	0	0	0	0	0	0	0
	P15Z8	0	0	0	0	0	0	0	0

Możliwe sposoby przedstawienia wyników badań ilustruje rysunek 7.16 (wykres Pareto) oraz rysunek 7.17 (zestawienie liczby awarii wybranych zespołów suwnic pomostowych w obserwowanym horyzoncie czasu).



Rys. 7.16. Wykres Pareto czasów obsługi podsystemów wybranej populacji suwnic pomostowych (tabela 7.3)



Rys. 7.17. Zestawienie awarii wybranych zespołów suwnicy pomostowej

8. SPOSÓB AUTOMATYZACJI WSPOMAGANIA PROCESU DECYZYJNEGO EKSPLOATACJI ŚRODKÓW TRANSPORTU

Z wykorzystaniem opracowanych narzędzi pozyskiwania informacji o zdarzeniach towarzyszących procesowi eksploatacji środka transportowego oraz metodyki podejmowania decyzji na poziomach bezpośredniego działania (PS1), wspierania procesu działania (PS2) i koordynacji działania (PS3) (rys. 4.1), opracowano sposób automatyzacji wspomaganie procesu decyzyjnego przedstawiony na rysunku 8.1.

W opracowanym sposobie automatyzacji wspomaganie procesu decyzyjnego eksploatacji środków transportu wyróżniono trzy poziomy: wypracowania decyzji (poziom A), prezentacji wyników badań (poziom B), koordynacji eksploatacji (poziom C). Charakterystykę elementów modułu 1 oraz modułu 2 przedstawiono w pracy [67].

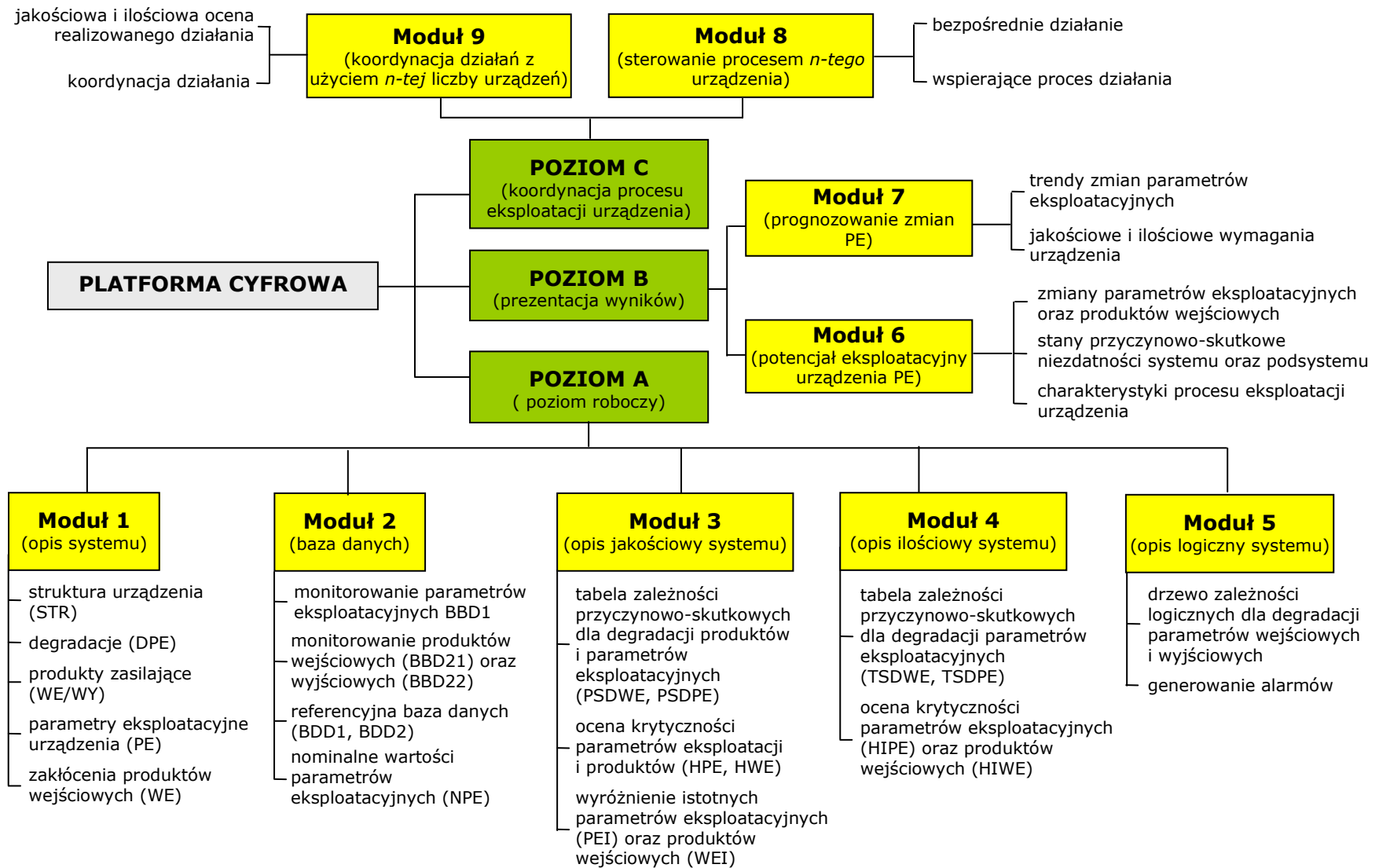
Poziom A obejmuje 4 moduły:

moduł 1 (opis systemu):

- struktura urządzenia STR utworzona w rezultacie jego funkcjonalnej dekompozycji na podsystemy, zespoły i elementy, dla których przyporządkowano jednoznaczny identyfikator ID,
- istotne dla procesu działania (sterowania) i diagnostyki parametry eksploatacyjne PE (charakterystyki) wyróżnionych podsystemów i zespołów urządzenia,
- możliwe degradacje wyróżnionych parametrów eksploatacyjnych DPE urządzenia opisane jakościowo,
- wyróżnione istotne dla działania urządzenia produkty zasilające (wejściowe WE) oraz wyjściowe WY będące skutkiem celowego działania realizowanego z udziałem urządzenia,
- możliwe zakłócenia produktów wejściowych DWE wyrażone jakościowym opisem,

moduł 2 (baza danych):

- baza danych BBD1 obserwowanych zmian wyróżnionych do monitorowania parametrów eksploatacyjnych urządzenia,
- baza danych BBD2 obserwowanych zmian wyróżnionych do monitorowania produktów wejściowych BBD21 oraz wyjściowych BBD22 procesu działania z udziałem urządzenia,
- baza danych BDD1 referencyjnych (akceptowalnych, zestawionych w odpowiednich dokumentach) zmian wyróżnionych do monitorowania parametrów eksploatacyjnych urządzenia,
- baza danych BDD2 referencyjnych zmian wyróżnionych do monitorowania produktów wejściowych BDD21 oraz wyjściowych BDD22 procesu działania z udziałem urządzenia,
- zestawienie nominalnych wartości parametrów eksploatacyjnych urządzenia NPE, produktów wejściowych NWE i produktów wyjściowych NWY,



Rys. 8.1. Koncepcja sposobu automatyzacji wspomaganie procesu decyzyjnego eksploatacji środków transportu

moduł 3 (opis jakościowy systemu):

- tabelaryczne jakościowe zestawienie zależności przyczynowo-skutkowych PSDWE dla degradacji produktów wejściowych WE,
- tabelaryczne jakościowe zestawienie zależności przyczynowo-skutkowych PSDPE dla parametrów eksploatacyjnych urządzenia,
- wyróżnienie parametrów eksploatacyjnych urządzenia PEI istotnie wpływających na zmiany obserwowanych jego charakterystyk eksploatacyjnych (PEI \supset PE),
- wyróżnienie produktów wejściowych urządzenia WEI istotnie wpływających na zmiany obserwowanych jego charakterystyk eksploatacyjnych (WEI \supset WE),
- heurystyczna jakościowa ocena krytyczności parametrów eksploatacyjnych urządzenia HPE
- heurystyczna jakościowa ocena krytyczności produktów wejściowych urządzenia HWE,

moduł 4 (opis ilościowy systemu):

- tabelaryczne TSDWE ilościowe zestawienie zależności przyczynowo-skutkowych dla możliwych degradacji produktów wejściowych WE,
- tabelaryczne TSDPE ilościowe zestawienie zależności przyczynowo-skutkowych dla możliwych degradacji parametrów eksploatacyjnych urządzenia,
- heurystyczna ilościowa ocena krytyczności parametrów eksploatacyjnych urządzenia HIPE,
- heurystyczna ilościowa ocena krytyczności produktów wejściowych urządzenia HIWE,

moduł 5 (opis logiczny systemu):

- opis logiczny w postaci drzewa zależności degradacji parametrów wejściowych i wyjściowych systemu oraz jego parametrów eksploatacyjnych,
- opis sposobu generowania alarmów w przypadku przechodzenia stanu zespołu/podsystemu do niezdatności lub zagrożenia bezpieczeństwa.

Poziom B prezentacji wyników badań obejmuje dwa moduły:

moduł 6 (prezentacji potencjału eksploatacyjnego urządzenia):

- zestawienia zmian podczas eksploatacji krytyczności parametrów eksploatacyjnych urządzenia oraz produktów zasilających,
- zestawienia przyczynowo-skutkowe zaistniałych stanów niezdatności systemu/podsystemu/ zespołu,
- zestawienia charakterystyk procesu eksploatacji urządzenia (przykładowo: czasy poprawnej pracy bez awarii, czasy trwania obsługi, gotowość urządzenia, inne),

moduł 7 (prognozowania zmian potencjału eksploatacyjnego urządzenia):

- charakterystyki prognozowania zmian wybranych istotnych dla procesu eksploatacji urządzenia jego parametrów eksploatacyjnych (badanie trendów zmian parametrów eksploatacyjnych),
- formułowanie jakościowych i ilościowych wymagań w zakresie obsługi typu prewencyjnego dla urządzenia

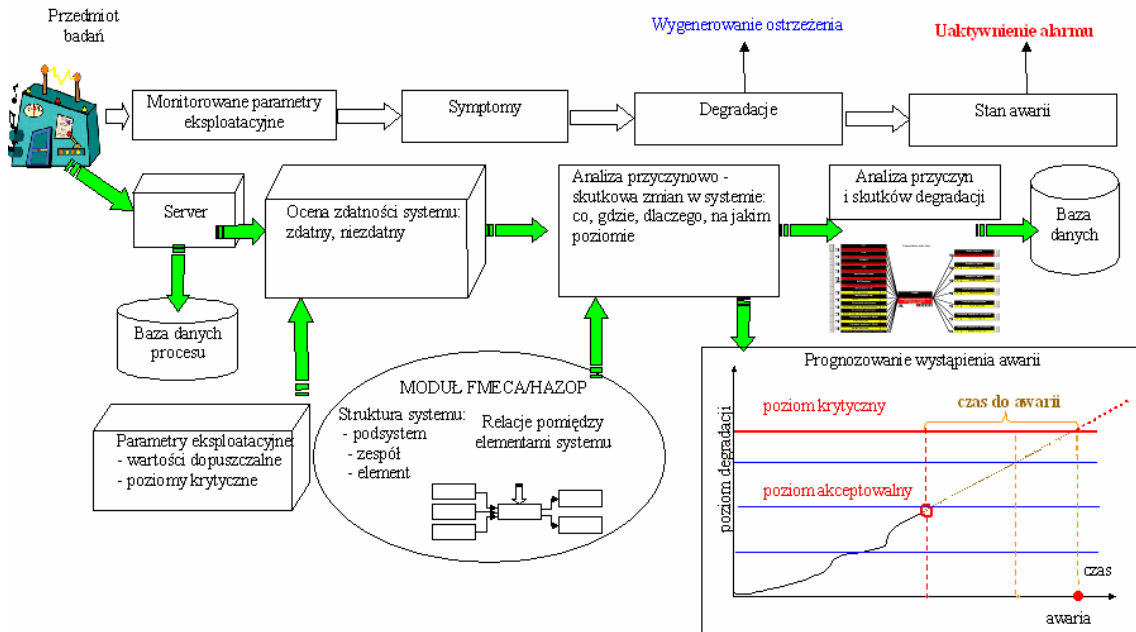
Poziom koordynacji C procesu eksploatacji urządzenia obejmuje dwa moduły:

moduł 8 (sterowania procesem eksploatacji *n-tego* urządzenia):

- bezpośredniego działania,
- wspierania procesu działania,

- moduł 9 (koordynacji działań z użyciem n -tej liczby urządzeń):
- jakościowej i ilościowej oceny realizowanego działania,
 - koordynacji działania.

Przedstawiona struktura wymaga realizacji projektu specjalnego oprogramowania, którego istotą będzie automatyzacja wspomaganie procesu decyzyjnego w zakresie nadzorowania procesu eksploatacji środków transportu (rys. 8.2).



Rys. 8.2. Nadzorowanie stanu technicznego urządzenia

Specjalne oprogramowanie wykorzystywać będzie opracowaną metodyką i narzędzia umożliwiające pozyskiwanie określonych informacji z procesu eksploatacji urządzenia, a następnie ich ukierunkowane przetwarzanie do postaci przydatnej w procesie decyzyjnym (rozdziały: 4, 5, 6, 7).

9. PODSUMOWANIE

W Unii Europejskiej minimalne wymagania dotyczące bezpieczeństwa maszyn, narzędzi i aparatury oraz związanych z nimi instalacji użytkowanych przez pracowników w miejscach pracy, określają dyrektywy 95/63/WE i 2001/45/WE oraz przedmiotowe krajowe dokumenty. Formułują one wymagania dotyczące bezpieczeństwa konstrukcji oraz użytkowania maszyn i innych urządzeń technicznych.

Dyrektywy adresowane są do użytkowników maszyn i innych urządzeń technicznych (w szczególności do pracowników) nakładając na nich obowiązek:

- dostarczania pracownikom nowych maszyn i innych urządzeń technicznych, spełniających wymagania w zakresie bezpieczeństwa i inne określone w dyrektywach, przykładowo: dyrektywy 98/37/WE (maszynowej), dyrektywy 73/23/EWG (niskonapięciowej), dyrektywy 89/336/EWG (dotyczącej kompatybilności elektromagnetycznej),
- dostosowania użytkowanych w przedsiębiorstwach maszyn i urządzeń do zgodności z minimalnymi wymaganiami sformułowanymi w przedmiotowych dyrektywach,
- właściwego użytkowania maszyn i innych urządzeń technicznych, to jest utrzymania ich w takim stanie, aby przez cały czas użytkowania były zgodne z dotyczącymi ich minimalnymi wymaganiami.

Przedstawiona rozprawa doktorska podejmuje problematykę podnoszoną w dyrektywach UE 95/63/WE i 2001/45/WE, w zakresie nadzorowania procesu eksploatacji suwnic pomostowych do potrzeb zapewnienia wymaganego bezpieczeństwa i niezawodności.

Uwaga w pracy zwrócona jest na nadzorowanie stanu technicznego urządzenia w procesie eksploatacji dla potrzeb decyzyjnych. Problematyka nadzorowania procesu eksploatacji środków transportu jest zagadnieniem wielowymiarowym i złożonym, z uwagi na strukturę i relacje zachodzące w systemach typu człowiek - maszyna. Dlatego też istotnym jest podjęcie prac integrujących znane metody i narzędzia ukierunkowane na doskonalenie procesu eksploatacji urządzenia z wykorzystaniem między innymi podejścia potencjałowego oraz technik komputerowych.

W *rozdziale pierwszym* przedstawiono kierunki ewolucji środków transportowych w zakresie spełnienia wymagań użytkownika w procesie eksploatacji i ich przełożenie na zmiany w budowie środków transportowych. Sformułowano genezę, tezę i cele pracy oraz jej zakres. Uwagę skoncentrowano na klasie wielkogabarytowych szynowych urządzeń transportowych, reprezentantem której jest suwnica pomostowa. Przedstawiono system dozoru procesu eksploatacji *n-licznej* grupy środków transportowych z integracją procesów ich użytkowania i obsługi.

Rozdział drugi ukierunkowany jest na stan wiedzy i techniki w zakresie użytkowania i obsługi urządzeń technicznych. Zdefiniowano pojęcie eksploatacji obiektu oraz niezawodności systemu C-OT. Wyróżniono wybrane wskaźniki niezawodnościowo-eksploatacyjne oraz metody i narzędzia wspomagające proces nadzorowania stanu technicznego urządzenia. Opisano modele niezawodnościowe i gotowości urządzenia. Przedstawiono najczęściej stosowane w praktyce metody wspomagające proces nadzorowania stanu technicznego urządzenia typu FMECA, HAZOP oraz narzędzia typu SPC oraz RCM. Uwagę zwrócono także na inteligentne metody sterowania procesami decyzyjnymi (logika rozmyta, sieci neuronowe, algorytmy genetyczne), a ponadto na zastosowanie telematyki w pozyskiwaniu,

przetwarzaniu transmisji, gromadzeniu danych i informacji umożliwiających skutecznie racjonalizować proces eksploatacji środków transportowych, a w szczególności suwnic pomostowych.

W *rozdziale trzecim* przedstawiono charakterystykę obiektów technicznych na których realizowano badania. Opisano model fizyczny (materialny) zaprojektowanej i wykonanej suwnicy pomostowej o udźwigu $Q=1,5$ [kN] oraz suwnice pomostowe o udźwigu $Q=125$ [kN] i $Q=150$ [kN], pracujące odpowiednio w warunkach laboratoryjnych i przemysłowych, dla których podano dane techniczne. Zaprezentowano użyte czujniki pomiarowe oraz opracowane dla potrzeb badań i wykonane tory pomiarowe. Przedstawiono przykładowe wyniki badań przeprowadzonych na suwnicach pomostowych. W rezultacie wykonanych badań na urządzeniach rzeczywistych, Autor nabył praktycznych umiejętności projektowania i realizacji ukierunkowanych pomiarów na suwnicach pomostowych w warunkach rzeczywistych. Suwnica o udźwigu $Q=1,5$ [kN] umożliwiła prowadzenie badań w zakresie nadzorowania procesu eksploatacji, sterowania oraz testowania opracowanych metod i narzędzi wspomagających procesy decyzyjne w układach *on/off-line*. Wykazano ponadto praktyczną przydatność wykonanego modelu fizycznego suwnicy pomostowej do weryfikacji prototypowych rozwiązań układów pomiarowo-sterujących urządzeniem.

W *rozdziale czwartym* przedstawiono system zintegrowanego nadzorowania procesu eksploatacji środka transportu, który obejmuje trzy podsystemy: *bezpośredniego działania* (którego celem jest realizacja działania z użyciem układu C-OT i jego oceny z uwzględnieniem przyjętego wskaźnika oceny jakości działania wyrażającego poziom spełnienia wielokryterialnych oczekiwań użytkownika), *wspierającego proces działania* (celem którego jest zapewnienie odpowiedniego potencjału eksploatacyjnego układu człowiek - maszyna, który jest przedmiotem degradacji w procesie użytkowania i odnawiania oraz doskonalenia w procesie obsługiwanego, a którego analiza potencjału eksploatacyjnego pozwala ocenić celowość i / lub możliwość podjęcia i / lub realizacji działania), *koordynacji działania* (którego celem jest takie skoordynowanie przedsięwzięć decyzyjnych w wyróżnionych cząstkowych celach realizowanych przez układ człowiek - maszyna oraz w fazach jego życia, aby założone cele ukierunkowane na działanie były zapewniane). Następnie każdy z podsystemów został krótko scharakteryzowany. Przedstawiono metodykę nadzorowania procesu eksploatacji środków transportu z wykorzystaniem znanych metod i narzędzi. Scharakteryzowano pojęcie gotowości, niezawodności eksploatacyjnej urządzenia oraz jego obsługiwalności. Zaproponowano wybrane wskaźniki oceny skuteczności działania systemu i przedstawiono przykładowe koszty związane z fazami życia suwnicy pomostowej. Opisano sposób doskonalenia nieuszkodzalności systemu technicznego przy pomocy metody RCM oraz przedstawiono algorytm jej realizacji. Przedstawione podejście może zostać zastosowane dla dowolnego procesu transportowo-produkcyjnego z użyciem n -tej liczby środków transportu rozproszonych w przestrzeni roboczej.

W *rozdziale piątym* opisano podsystem *bezpośredniego działania*, który realizowany jest przez środek transportowy we współpracy z operatorem. Celem jest określenie zadań w zakresie realizacji działania zorientowanego na przedmiot. Przedstawiono schemat blokowy podsystemu bezpośredniego działania oraz opisano procesy decyzyjne PD1 (realizacji działania) i PD2 (przeprzestrzeni roboczej). Przedstawiono własne rozwiązania dotyczące pomiaru odkształcenia liny, monitorowania przestrzeni roboczej przy pomocy układów wizyjnych oraz układów pozycjonowania ładunku w przestrzeni roboczej. Przedstawiono wybrane wyniki badań przeprowadzone na suwnicach pomostowych, które są przydatne w procesach decyzyjnych. Wykazano wpływ sposobów realizacji ruchów roboczych i rozwiązań

w układach sterowania mechanizmem jazdy mostem na parametry eksploatacyjne urządzenia. Przedstawiono wybrane techniki pozyskiwania informacji towarzyszących procesowi eksploatacji suwnic pomostowych. Przedstawiono również model niezawodnościowy suwnicy pomostowej złożony z podsystemów o dwóch stanach gotowości oraz sposób oceny skuteczności działania systemu.

W rozdziale szóstym opisano podsystem wspierający proces działania oraz przedstawiono jego schemat blokowy. Przedstawiono sposób dekompozycji funkcjonalnej suwnicy pomostowej umożliwiającej logiczną analizę przyczynowo-skutkową urządzenia z wykorzystaniem metod FTA, FMECA, HAZOP. Przedstawiono układy pomiarowe złożone z wybranych parametrów eksploatacyjnych suwnicy pomostowej dla potrzeb podejmowania decyzji. Opisano proces decyzyjny PD3 w zakresie oceny stanu technicznego urządzenia oraz PD4 w zakresie jakościowej oceny realizacji działania przez urządzenie. Przedstawiono własne rozwiązania torów pomiarowych oraz wyniki badań, które dotyczyły odkształceń dźwigara suwnicy w funkcji czasu, mocy czynnej oraz kąta ukosowania mostu. Przedstawiono schematy blokowe mechanizmu jazdy mostu (napęd centralny oraz indywidualny) oraz działania mostu z uwzględnieniem relacji przyczynowo-skutkowych oraz wybranymi punktami pomiarowymi. Przedstawiono praktyczne zastosowanie metody FMECA i HAZOP dla potrzeb badania suwnicy pomostowej. Opisano sposób oceny skuteczności działania urządzenia w ujęciu niezawodnościowym i z użyciem wskaźnika skuteczności działania urządzenia.

Rozdział siódmy przedstawia podsystem koordynacji działania. Jest on złożony z n -tej liczby urządzeń realizujących określone działanie, zorientowany na zarządzanie eksploatacją n -liczną grupą rozproszonych środków transportu. W tym przypadku istotnym elementem są zdalne układy pozyskiwania i przesyłu informacji z wykorzystaniem układów telematycznych, z użyciem których istnieje możliwość obniżenia kosztów zarządzania posiadaną flotą urządzeń, wzrostu bezpieczeństwa i niezawodności usług transportowych oraz automatyzacji procesów decyzyjnych. Opisano wybrane rozwiązania układów telematycznych w środkach transportu bliskiego. Przedstawiono model niezawodnościowy podsystemu koordynacji działania oraz sformułowano wskaźnik skuteczności działania systemu, a ponadto zaprezentowano wyniki badań eksploatacyjnych na wybranej grupie suwnic pomostowych dla potrzeb analiz niezawodnościowych i procesów decyzyjnych.

W rozdziale ósmym przedstawiono opracowany sposób automatyzacji wspomagania procesu decyzyjnego w zakresie nadzorowania eksploatacji środków transportu. W proponowanym systemie wykorzystano narzędzia pozyskiwania informacji o zdarzeniach towarzyszących procesowi eksploatacji środka transportowego oraz metodyki podejmowania decyzji na poziomach bezpośredniego działania (PS1), wspierania procesu działania (PS2) i koordynacji działania (PS3).

W rezultacie przeprowadzonych badań na suwnicach pomostowych (rozdział piąty, szósty, siódmy), reprezentancie środków transportu klasy WSUT, wykazano w pracy, że z użyciem właściwych metod i narzędzi oraz w rezultacie użycia zaproponowanego wskaźnika skuteczności działania systemu, możliwe jest zintegrowane nadzorowanie procesu eksploatacji środków transportu. Wykazano, że łączne stosowanie opracowanych metod i narzędzi w fazach użytkowania i obsługi suwnicy pomostowej pozwala na jakościową i ilościową ocenę podejmowanych przedsięwzięć. Tym samym dowiedziono słuszności sformułowanej tezy pracy.

Rozwój środków transportu bliskiego, a w szczególności suwnic pomostowych, będzie coraz silniej ukierunkowany na elastyczną realizację potrzeb użytkownika. Aby spełnić te oczekiwania, w konstruowanych urządzeniach należy wykorzystywać

elementy sztucznej inteligencji oraz łącznie wykorzystywać właściwości człowieka i obiektów technicznych. W budowie i eksploatacji suwnic pomostowych zauważa się między innymi odchudzenie konstrukcji urządzeń oraz doskonalenie podsystemów sterowania urządzeniem. Obserwowany jest gwałtowny rozwój w zakresie zarządzania środkami transportu bliskiego. Jest on ukierunkowany na doskonalenie współdziałania w układzie człowiek–maszyna, co jest pomocne w zapewnieniu wymaganego poziomu ich bezpieczeństwa i niezawodności. Pomocną w procesie zarządzania procesem eksploatacji urządzeń jest telematyka, która wykorzystuje techniki z obszarów informatyki, optoelektroniki, automatyki oraz telekomunikacji.

W realizacji pracy w szczególności:

- ❑ przeanalizowano przedmiotową literaturę; w rezultacie możliwe było uzasadnienie sformułowanego celu pracy, a ponadto zbudowano niezawodnościowe modele środka transportu (w szczególności dla suwnicy pomostowej) oraz zaproponowano niezawodnościowe wskaźniki oceny urządzenia,
- ❑ opracowano i wykonano model fizyczny suwnicy pomostowej dla potrzeb nadzorowania i monitorowania procesu eksploatacji urządzenia oraz prototypowania układów pomiarowo-sterujących,
- ❑ opracowano zintegrowany system nadzorowania procesu eksploatacji środków transportu (na poziomach: *bezpośredniego działania, wspierania procesu działania, koordynacji działania*) w układach: *on-line, off-line*,
- ❑ opracowano i przetestowano w praktyce wybrane sposoby pozyskiwania informacji z procesu eksploatacji urządzenia dla wyróżnionych trzech podsystemów,
- ❑ przedstawiono sposób wykorzystania danych historycznych z procesu eksploatacji 33 suwnic pomostowych dla potrzeb decyzyjnych w procesie ich eksploatacji,
- ❑ opracowano metodykę wykorzystania pozyskanych z procesu eksploatacji urządzenia informacji dla potrzeb decyzyjnych w fazach użytkowania i obsługi,
- ❑ opracowano i przetestowano układy zdalnego przesyłania informacji oraz wykonano system telematyczny dla celów monitoringu i wizualizacji procesu użytkowania suwnicy pomostowej,
- ❑ zaproponowano jakościowy wskaźnik zintegrowanej oceny systemu eksploatacji środków transportu w szczególności dla suwnic pomostowych,
- ❑ zaproponowano sposób automatyzacji wspomaganie procesu decyzyjnego eksploatacji środków transportu.

Na podstawie zrealizowanych badań na suwnicy pomostowej opracowane zostały następujące kierunki dalszych prac:

- ❑ wykonanie platformy cyfrowej zintegrowanego nadzorowania procesu eksploatacji środków transportu z wykorzystaniem opracowanych metod i narzędzi,
- ❑ testowanie wykonanej platformy cyfrowej na wybranych środkach transportowych (zarówno na pojedynczym urządzeniu jak i rozproszonej klasie wybranych środków transportowych),
- ❑ doskonalenie metod, analiz i syntez pozyskiwanych z procesu eksploatacji informacji dla potrzeb kształtowania niezawodności eksploatacyjnej urządzenia, tak aby spełnić wymagania w zakresie oczekiwanego przez użytkownika poziomu bezpieczeństwa i niezawodności,
- ❑ opracowanie wytycznych w zakresie zabudowy układów monitorująco – sterujących w suwnicach pomostowych dla potrzeb kształtowania ich niezawodności eksploatacyjnej i spełnienia wymagań użytkownika.

LITERATURA

1. Banaszak Z., Józefowska J.: *Project driver manufacturing*. WNT, Warszawa, 2003
2. Barringer H.: *Life Cycle Costs & Reliability For Process Equipment*. Energy Week 1997, Sponsored by ASME & API and Organized by PennWell Conferences, Houston, 1997
3. Barringer H., Weber P., Weber D.: *Life Cycle Cost Tutorial*. Fifth International Conference on Process Plant Reliability sponsored by Hydrocarbons Processing and Gulf Publishing Company, Houston, 1996
4. Bartczak K.: *Technologia RFID według TSS*, Logistyka, z.2, s. 64-66, Warszawa, 2000.
5. Bartczak K.: *Wyniki prac badawczych i wdrożeniowych w dziedzinie telematiki transportu w krajach UE*. Przegląd Komunikacyjny, s. 16-19, nr 10, 2001.
6. Barycz S., Blum A.: *Wyznaczenie granicznych odkształceń jezdni podsuwnicowych na terenach górniczych*. Problemy Projektowe, nr 3, s. 79-86, Gliwice, 1997
7. Berger G.: *ASQC Section 1405 Certified Reliability Refresher Course*. Published by Gene Berger, Houston, 1993
8. Blanchard B.S., Verma D., Petersom E.L.: *Maintainability: a key to effective serviceability and maintenance management*. Wiley-Interscience, New York, 1995
9. Bobrowski D.: *Modele i metody matematyczne teorii niezawodności w przykładach i zadaniach*. WNT, Warszawa, 1985.
10. Bobrowski D.: *Probabilistyka w zastosowaniach technicznych*. WNT, Warszawa, 1986
11. Bukowski L., Feliks J., Smalko Z.: *Analiza niezawodności systemów podwyższonego ryzyka*. Problemy niezawodności systemów. XXXV Zimowa Szkoła Niezawodności, PAN, s. 103 - 116, Szczyrk, 2007
12. Cox D.R., Miller H.D.: *The theory of stochastic processes*. Chapman & Hall, London, 1965
13. Dąbrowski T.M.: *Diagnozowanie systemów antropotechnicznych w ujęciu potencjałowo-efektywnym*. Wojskowa Akademia-Techniczna, nr 2676/2001, Warszawa, 2001
14. Dolgui A. (Ed.): *12th IFAC Symposium on Information Control Problems In Manufacturing*. Saint Etienne, 2006
15. Driankov D., Hellendoorn H., Reinfrank M.: *Wprowadzenie do sterowania rozmytego*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1996.
16. Ewing T.F.: *Intelligent transportation modeling and analysis framework for the GCM corridor*. Transportation Technology R&D Center, 1999
17. Feller W. *An introduction to probability theory and its applications*. Vol. 1, John Wiley & Sons, 1957
18. Fokin J.G.: *Niezawodność eksploatacyjna urządzeń technicznych*. Wydawnictwo Ministerstwa Obrony Narodowej, Warszawa, 1973
19. Frenning L., Alfredsson K., Hovstadius G.: *Pump Life Cycle Cost: A Guide to LCC Analysis for Pumping System*. HI/Europump, New York, 2001
20. Frost & Sullivan's: *Analysis of the European Commercial Vehicle Telematics Market*, Raport, 2004
21. Goldberg D.E.: *Algorytmy genetyczne i ich zastosowanie*. WNT, Warszawa, 2003
22. Gregorczyk Z. (Red): *Instrukcja budowy i eksploatacji suwnic w hutnictwie*. Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Przemysłu Hutniczego w Polsce, Katowice, 1976

23. Hansel J. (red): *Budowa systemu zarządzania bezpieczeństwem procesów obsługiwanego górniczych wyciągów szybowych*. Zeszyty Naukowo-Techniczne, KTL, nr 27, AGH, Kraków, 2002
24. Hecht M., Janik M., Rieckenberg T., Salz D.: *Telematyka w kolejowych przewozach towarowych-transport ładunków niebezpiecznych*, Technika Transportu Szynowego, z.1, s. 6-13, Warszawa, 2000
25. Horáček P. (Ed.): *16th IFAC World Congress Proceedings*. Praha, 2005
26. Jaźwiński J., Grabski F.: *Niektóre problemy modelowania systemów transportowych*. Instytut Technologii Eksploatacji. Radom, 2003
27. Jaźwiński J., Ważyńska-Fiok K.: *Bezpieczeństwo systemów*. PWN, Warszawa, 1993
28. Kaszyński R. (Ed): *Proceedings of IEEE Int. Conference MMAR 2003*, Technical University Szczecin, 2003
29. Kazimierzczak J. *Eksploatacja systemów technicznych*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2000
30. Kocerba A., Tekielak M.: *Application of FMECA causal-consecutive analysis with an example of IMS digital platform*. The International Journal of INGENIUM, vol. 4, p.531-536, Glasgow, 2005
31. Konieczny J.: *Wstęp do teorii eksploatacji urządzeń*. WNT, Warszawa, 1971
32. Konieczny J.: *Sterowanie eksploatacją urządzeń*. PWN, Warszawa, 1975
33. Kordecka D. (Ed): *Bezpieczeństwo pracy i ergonomia*. Tom 2, Centralny Instytut Ochrony Pracy, Warszawa, 1997
34. Korver W., Harrell L.: *Definition of European Transport Systems*, FANTASIE Deliverable 13, Delft, TNO-INRO, 1999
35. Kwaśniewski J.: *Dźwigi osobowe i towarowe. Budowa i eksploatacja*. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków, 2004
36. Lee J., Abujamra R., Jardine A.K.S., Lin D., Banjevic D.: *Integrated Platform for Diagnostics, Prognostics and Maintenance Optimization*. IMS 2004 Conference, Arles, France, July, 2004
37. Lewitowicz J.: *Strategia niezawodnościowa eksploatacji statków powietrznych z uwzględnieniem bezpieczeństwa i efektywności*. Problemy niezawodności systemów. XXXV Zimowa Szkoła Niezawodności, PAN, s. 330 - 335, Szczyrk, 2007
38. Linnik A.S., Gasponenko S.A.: *Przedłużenie okresu pracy kół jezdnych suwnic pomostowych przy zwiększeniu wysokości obrzeża*. Viestnik Masinostrojenija, nr 5/1976
39. Łachwa A.: *Rozmyty świat zbiorów, liczb, relacji, faktów, reguł i decyzji*. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa, 2001
40. Macha E.: *Niezawodność maszyn*. Skrypt nr 237, Politechnika Opolska, Opole, 2001
41. Materiały firmy ASTOR: *InTouch 7.0. Opis funkcji, pól i zmiennych systemowych*. Kraków, 1997
42. Mazurkiewicz A., Sitkowska R.: *Badanie stanu eksploatacji środków trwałych w gospodarce narodowej*. ITE, Radom, 1997-2000
43. Migdalski J. (red.): *Poradnik niezawodności, podstawy matematyczne*. Wydawnictwa Przemysłu Maszynowego „WEMA”, Warszawa, 1982
44. Moubray J.: *Reliability Centered Maintenance*. Butterworth-Heinemann, Oxford, 2002
45. Mrożek B., Mrożek Z.: *MATLAB i Simulink. Poradnik użytkownika..* Wydanie II, Helion, Gliwice, 2004
46. Mrożek B., Mrożek Z.: *MATLAB - uniwersalne środowisko do obliczeń naukowo-technicznych*. CCATIE, Kraków, 1995
47. Mueller J.: *Komputeryzacja łączności*. WKiŁ, Warszawa, 1983
48. Niziński S., Żółkowski B.: *Informatyczne systemy zarządzania eksploatacją obiektów technicznych*. Wydawnictwo MARKAR, Bydgoszcz-Sulejówek, 2002

49. Ochieng W. Y., Sauer K.: *Urban road transport navigation: performance of the global positioning system after selective availability*. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, v. 10, Issue 3, p. 171-187, June, 2002
50. Oziemski S. (red): *Człowiek w maszynie: podstawy antropocentrycznego projektowania stanowisk operatorów maszyn*. Instytut Technologii Eksploatacji, Radom-Warszawa, 2004
51. Prażewska M.: *Podstawy niezawodności*. Skrypt uczelniany, nr 180, Politechnika Świętokrzyska, Kielce, 1989.
52. Radziszewski W., Markowski R.: *Rola systemu GSM-R w procesie zapewnienia interoperacyjności i mobilności w polskim transporcie kolejowym*. Transport XXI wieku, s. 489 - 495, Warszawa, 2004
53. Romaszchenko V.A. (Ed): *Stiend dla issliedowanija effiektiwnosti riebord chodowych koles kranow*. Viestnik Masinostrojenija, nr 9/1981
54. Roliński Z.: *Tensometria oporowa. Podstawy teoretyczne i przykłady zastosowań*. WNT, Warszawa, 1991
55. Rutkowska D.: *Inteligentne systemy obliczeniowe. Algorytmy genetyczne sieci neuronowe w systemach rozmytych*. Akademicka Oficyna Wydawnicza PLJ, Warszawa 1997
56. Schilling K.: *Tele-maintenance of industrial transport robots*. Proceedings of 15th Triennial World Congress, Barcelona, Spain, IFAC, 2002
57. Siergiejczyk M.: *Wybrane zagadnienia jakości usług telematycznych w transporcie*. Problemy niezawodności systemów, XXXV Zimowa Szkoła Niezawodności, PAN, s. 421-4431, Szczyrk, 2007
58. Słomka I., Słomka A.: *Zarządzanie ryzykiem zawodowym*. Tabonus, Tarnobrzeg, 2002
59. Słowiński B.: *Podstawy badań i oceny niezawodności obiektów technicznych*. Wydawnictwa Wyższej Szkoły Inżynierskiej, Koszalin, 1992
60. Smalko Z.: *Analiza drzewa niezdatności, zagrożeń i zabezpieczeń*. Metody sieciowe w inżynierii niezawodności - XXVII Zimowa szkoła niezawodności, PAN, Szczyrk, 1999
61. Smith D.J.: *Reliability, Maintability and Risk*. Butterworth-Heinemann, 2001
62. Smoczek J.: *Zastosowanie logiki rozmytej w sterowaniu mechanizmami ruchu suwnicy pomostowej*, Praca doktorska, AGH, 2003
63. Stankiewicz R., Jajszczyk A.: *Sposoby zapewnienia gwarantowanej jakości usług w sieciach IP*. PTiWT, nr 2, 2002
64. Szpytko J.: *Badania eksploatacyjne mechanizmów jazdy suwnic pomostowych*. Zeszyty Naukowe AGH, Mechanika z. 13, s. 337-342, Kraków, 1988
65. Szpytko J.: *Exploitation control model of transportation devices with telematics use*. Proceedings of IEEE Int. Conference MMAR 2003, Kaszyński R.(Ed.), v.2, s.1439-1443, Technical University Szczecin, Szczecin, 2003
66. Szpytko J.: *Integrated decision making supporting the exploitation and control of transport devices*. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków, 2004
67. Szpytko J.: *Kształtowanie procesu eksploatacji środków transportu bliskiego*. Biblioteka Problemów Eksploatacji, ITE, Kraków - Radom, 2004
68. Szpytko J.: *Zintegrowany system nadzorowania wybranych parametrów eksploatacyjnych wielkogabarytowych szynowych urządzeń transportowych na przykładzie zautomatyzowanej suwnicy pomostowej*. UWND AGH, nr 46, Kraków, 1996
69. Szpytko J. (Ed.): *Inteligentny system sterowania ruchem mostu suwnicy pomostowej*. Projekt RobCrane, 2003
70. Szpytko J. (Ed.): *Journal of KONBIN*, vol.1, ITWL, Warszawa, 2006
71. Szpytko J. (Red.): *Reorganizacja technicznych procesów działania w przedsiębiorstwach w aspekcie globalizacji rynku*. Oficyna Cracovia, Kraków, 2000

72. Szpytko J., Kocerba A.: *Metodyka kształtowania niezawodności eksploatacyjnej środka transportu*. Problemy niezawodności systemów, XXXV Zimowa Szkoła Niezawodności, PAN, s. 483-492, Szczyrk, 2007
73. Szpytko J., Kocerba A.: *Możliwości zwiększenia potencjału eksploatacyjnego środka transportu*. Problemy w budowie i eksploatacji wybranych maszyn i urządzeń technologicznych, KUTiOS-AGH, KMiUPS-PB, PAN, Monografie, Zeszyt nr 23, s.199-203, Kraków, 2004
74. Szpytko J., Kocerba A.: *Przyczynowo-skutkowa metodyka oceny stanu technicznego środków transportu*. Metody badań przyczyn i skutków uszkodzeń, XXXIII Zimowa Szkoła Niezawodności, PAN, s. 520-526, Szczyrk, 2005
75. Szpytko J., Kocerba A.: *Teleinformatyka narzędziem wspomagającym bezpieczeństwo w transporcie*. Perspektywy rozwoju systemów transportowych. VIII Konferencja Okrętownictwo i Oceanotechnika, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Szczecińskiej, s.269-275, Międzyzdroje, 2006
76. Szpytko J., Kocerba A.: *Telematic in supervision of manufacture transport devices*. Transport Systems Telematics, 4th International Conference, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, z.55, nr 1657, s. 417-422, Gliwice, 2004
77. Szpytko J., Kocerba A.: *Telematyka narzędziem jakościowego kształtowania transportu*. Automatyzacja i eksploatacja systemów sterowania i łączności, Kitowski Z., Lisowski J. Eds., t.1, s. 169-176, AMW Gdynia, 2003
78. Szpytko J., Kocerba A.: *Wizyjne układy inspekcji w eksploatacji środków transportu*. Transport Zintegrowany, VII Konferencja Okrętownictwo i Oceanotechnika, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Szczecińskiej, s. 271-276, Międzyzdroje, 2004
79. Szpytko J., Kocerba A., Smoczek J.: *Możliwości identyfikacji położenia wózka na moście suwnicy pomostowej*. Perspektywy rozwoju systemów transportowych. VIII Konferencja Okrętownictwo i Oceanotechnika, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Szczecińskiej, s.261-267, Międzyzdroje, 2006
80. Szpytko J., Kocerba A., Smoczek J.: *Telematics support exploitation of transport devices*. Transport Systems Telematics, 5th International Conference, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, z.59, nr 1691, s. 443-451, Gliwice, 2005
81. Szpytko J., Kocerba A., Tekielak M.: *Badanie i analiza stanu psychofizycznego operatora suwnicy pomostowej*. Biuletyn WAT, Volume LIII, Nr 5 (621), s.137-147, Warszawa, 2004
82. Szpytko J., Kocerba A., Tekielak M.: *Komputerowo wspomagany system oceny trwałości i niezawodności obiektu technicznego*. Niekonwencjonalne metody oceny trwałości i niezawodności, XXXIV Zimowa Szkoła Niezawodności, PAN, s. 307-314, Szczyrk, 2006
83. Szpytko J., Kocerba A., Tekielak M.: *Metody zapewnienia niezawodności środków transportowych z nadmiarem*. Nadmiarowość w inżynierii niezawodności, XXXII Zimowa Szkoła Niezawodności, PAN, s. 344-350, Szczyrk, 2004
84. Szpytko J., Kocerba A., Tekielak M.: *System dozoru procesu eksploatacji środka transportu*. Zastosowania Teorii Systemów, Problemy Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, KUTiOS-AGH, KZSP-AGH, PAN, Monografie, Zeszyt nr 3, s.387-394, Kraków, 2005
85. Szpytko J., Michłowicz E., Drzymała Z., Kocerba A., Tekielak M.: *Badania wpływu otoczenia na fizjologię operatora suwnicy pomostowej*. DIAG'03 – V Krajowa Konferencja Diagnostyka Techniczna Urządzeń i Systemów, WAT, PTDT, ZDSPEKBM, s. 391 – 393, Ustroń, 2003

86. Szpytko J., Salamonowicz T., Żurek J.: *System wnioskowania decyzyjnego w zakresie obsługiwanego urządzenia*. Zagadnienia Eksploatacji Maszyn, PAN, z.2, Warszawa, 2003
87. Szpytko J., Tekielak M., Wasilewski A.: *System sterowania procesem obsługiwanego środków transportowych*. Problemy Inżynierii Mechanicznej i Robotyki. Monografie, AGH WIMiR, s.177-182, nr 12, Kraków, 2003
88. Sztarski M.: *Niezawodność i eksploatacja urządzeń elektronicznych*. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa, 1972
89. Świdorski M.: *Analiza LCC narzędziem wspomagającym ocenę projektów inwestycyjnych związanych z techniką pompową*. IX Forum Użytkowników Pomp, Szczyrk, 2003
90. Tadeusiewicz R.: *Sieci neuronowe*. Akademicka Oficyna Wydawnicza, Warszawa, 1993
91. Tomczyk J.: *System zbierania danych statystycznych pracy i obciążeń dźwigni w procesie eksploatacji*. X Konferencja „Problemy Rozwoju Maszyn Roboczych”, Zakopane, Styczeń, 1997
92. Trepka J.: *Konserwacja suwnic*. Wydawnictwo i Handel Książkami „KaBe”, Krosno, 2005
93. Ulatowski W., Masłowski A.: *Pojazdy sterowane automatycznie*. Pomiar Automatyka Robotyka, z.10, s.28-31, Warszawa, 2003
94. Ważyńska-Fiok K., Jaźwiński J.: *Niezawodność systemów technicznych*. PWN, Warszawa, 1990
95. Wawrzyński W.: *Telematyka transportu – tendencje rozwojowe i ograniczenia*. Transport XXI wieku, s. 523-529, Warszawa, 2004
96. Wendt H.J., Friedrich H.W.: *Poradnik dźwignicowego*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1973
97. Yoshikawa H., Kunimitsu S., Hoshina H.: *Development of Hoisting Load Position Sensor for Container Handling Cranes*. Mitsubishi Heavy Industries, Ltd., Technical Review Vol. 38 No.2 , pg. 67-72, June, 2001
98. Zadeh L. : *Fuzzy sets*. Information and Control. pp. 338-353, vol. 8, 1965
99. Zuylen H.J.: *Introduction to and overview of its for dynamic traffic management*. Report, ITS Training Center China, 2002

Inne dokumenty:

100. Dyrektywa 95/63/WE - dotyczy minimalnych wymagań bezpieczeństwa przy użytkowaniu maszyn mobilnych z napędem lub bez i maszyn do podnoszenia ładunków i ludzi
101. Dyrektywa 2001/45/WE - dotyczy minimalnych wymagań bezpieczeństwa przy pracach na wysokości z wykorzystaniem drabin, rusztowań i lin
102. ISO 8306, 1985. Cranes – Overhead traveling cranes and portal bridge
103. PN-EN 28402. Jakość – Terminologia, zastąpiona przez: ISO 8402, 1996
104. PN-IEC 812, 1994. Techniki analizy niezawodności systemów. Procedura analizy rodzajów i skutków uszkodzeń
105. PN-IEC 60300-3-9, 1999. Zarządzanie niezawodnością. Przewodnik zastosowań. Analiza ryzyka w systemach technicznych
106. PN-IEC 300-3-2, 1996. Zbieranie danych o niezawodności w warunkach eksploatacji (zarządzanie niezawodnością)
107. PN-77/B-060200. Dopuszczalne odchyłki parametrów geometrycznych nowych jezdni suwnicowych
108. PN-77/N-04005. Niezawodność w technice. Wskaźniki niezawodności. Nazwy, określenia i symbole
109. PN-77/N-04010. Niezawodność w technice. Wybór wskaźników niezawodności

110. PN-82/N-04001. Eksploatacja obiektów technicznych. Terminologia ogólna.
111. PN-90/M-45531. Dźwignice. Suwnice pomostowe i kolumnowe. Wymagania i badania
112. PN-91/M-45457. Dźwignice. Tory jezdne suwnic pomostowych. Wymagania
113. PN-93/N-50191. Słownik terminologiczny elektryki. Niezawodność, jakość usługi