

Dr inż. Mikołaj Moczarski

PODEJŚCIE SYSTEMOWE PRZY ROZWIĄZYWANIU PROBLEMÓW OBSŁUGIWANIA OBIEKTÓW TECHNICZNYCH

SPIS TREŚCI

1. Wstęp
2. Eksploatowanie obiektów technicznych
3. Elementy teorii systemów
4. Wykorzystanie teorii systemów w rozwiązywaniu problemów obsługiwania
5. Podsumowanie

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono propozycje dotyczące wykorzystania teorii i techniki systemów przy rozwiązywaniu problemów obsługiwania obiektów technicznych. Omówiono problematykę, podano definicje i określenia dotyczące eksploatacji obiektów, omówiono jej specyfikę i złożoność, a w tym problematykę obsługiwanego składnikiem eksploatacji. Przedstawiono elementy teorii i techniki systemów i na tej podstawie omówiono eksploatację i obsługiwane w ujęciu systemowym. Podano zasady eksploatacji i zasady obsługi oraz ich interpretację. Zwrócono uwagę na czynniki, które powinny być uwzględniane przy rozwiązywaniu problemów obsługiwanego w ujęciu systemowym.

1. WSTĘP

Racjonalne eksploatowanie obiektów technicznych, a w tym ich obsługiwane jest trudne i skomplikowane, zwłaszcza gdy mamy do czynienia z dużym zbiorem obiektów złożonych, kosztownych, długowiecznych i o znacznym zakresie wzajemnego oddziaływania z otoczeniem. Takimi obiektami są między innymi pojazdy szynowe. Stworzenie właściwego z technicznego, ekonomicznego i organizacyjnego punktu widzenia systemu obsługiwanego zbioru tego typu obiektów jest bardzo kłopotliwe z powodu dużej liczby różnorodnych czynników, które na to wpływają, a także dużej liczby występujących między nimi relacji, często trudno dostrzegalnych i trudnych do określenia ilościowego.

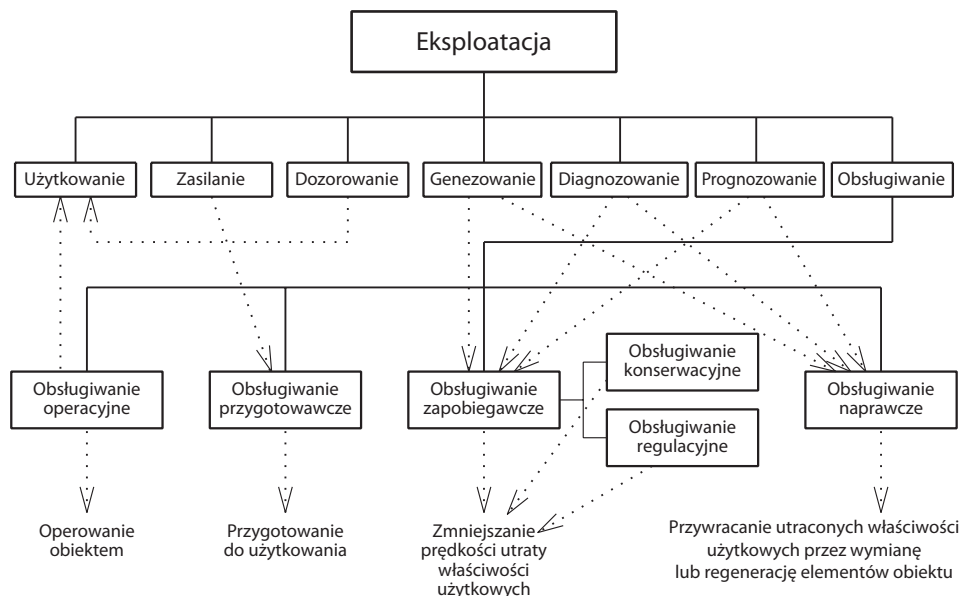
Znaczącą pomocą w rozwiązywaniu problemów z tego zakresu może być teoria systemów i oparta na niej technika systemów. Ta ostatnia dzięki swoim uporządkowanym zasadom postępowania ułatwia rozwiązywanie problemów we wszystkich sferach działalności człowieka. Niniejszy artykuł ma na celu przedstawienie elementów teorii i techniki systemów oraz zwrócenie uwagi na możliwości ich wykorzystania w pracach dotyczących obsługi pojazdów szynowych i w ogóle obiektów technicznych eksploatowanych przez ludzi.

2. EKSPLOATOWANIE OBIEKTÓW TECHNICZNYCH

Obsługiwanie obiektów technicznych jest składnikiem eksploatacji. W artykule podano krótkie informacje dotyczące eksploatacji i obsługi. Według Polskiej Normy [11] podaje się niektóre definicje i określenia dotyczące eksploatacji.

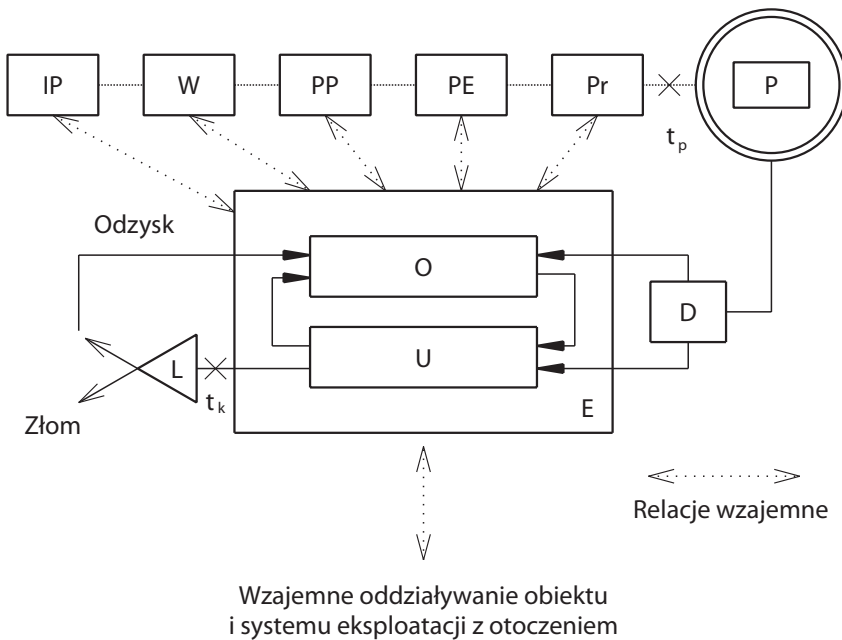
1. **Eksploatacja** (eksploatowanie): działania związane z obiektem od chwili wyprodukowania do chwili kasacji.
2. **Użytkowanie eksploatacyjne**: bezpośrednie lub pośrednie wykorzystywanie obiektu będącego w stanie zdatności.
3. **Zdatność użytkowa**: zdolność obiektu do realizacji zadań w sposób zgodny z wymaganiami lub zaleceniami określonymi w dokumentacji eksploatacyjnej.
4. **Zasilanie eksploatacyjne**: działania związane z obiektem polegające na dostarczaniu energii, materiałów i ludzi, warunkujących użytkowanie i obsługiwane obiektu.
5. **Dozorowanie eksploatacyjne**: zbieranie w sposób ciągły lub doraźny informacji o bieżącej zmianie stanu obiektu z dostatecznie małą zwłoką.
6. **Diagnozowanie eksploatacyjne**: dokonywanie oceny stanu technicznego obiektu bez jego demontażu lub przy ograniczonym demontażu, nie naruszającym możliwości funkcjonowania obiektu, przy wykorzystaniu danych o parametrach będących kryterium stanu badanego obiektu.
7. **Genezowanie eksploatacyjne**: ustalanie przyczyn wywołujących bezpośrednio lub pośrednio zmianę stanu technicznego eksploatowanego obiektu lub wymuszających zmianę parametrów jego użytkowania.
8. **Prognozowanie eksploatacyjne**: przewidywanie stanu obiektu w przyszłości na podstawie informacji uzyskanych w procesie dozorowania, diagnozowania, genezowania oraz bezpośrednich oględzin i pomiarów, a także na podstawie znajomości przebiegu zmian właściwości użytkowych (parametrów) obiektu w czasie.
9. **Obsługiwanie eksploatacyjne**: działania mające na celu operowanie obiektem w procesie jego użytkowania (obsługiwanie operacyjne), przygotowanie obiektu do użytkowania (obsługiwanie przygotowawcze), zmniejszanie prędkości utraty właściwości użytkowych (obsługiwanie zapobiegawcze lub profilaktyka) i przywracanie obiektom utraconych właściwości użytkowych (obsługiwanie naprawcze lub naprawa).

Na rysunku 1 przedstawiono składniki eksploatacji obiektów technicznych i występujące ważniejsze relacje.



Rys. 1. Składniki eksploatacji i występujące ważniejsze relacje (liniami kropkowanymi zaznaczono ważniejsze relacje jakie występują w eksploatacji)

Pokazane związki sygnalizują dużą złożoność, a przez to i trudności we właściwym rozwiązywaniu problemów eksploatacyjnych zachodzących w dynamicznym otoczeniu. Wywołane to jest występowaniem różnych i złożonych relacji między eksploatacją a otoczeniem, którego potrzeby i właściwości determinują istnienie i „kształt” systemu eksploatacji obiektów technicznych. Eksploatuje się przy tym obiekty, które powstały w specyficznym i dość złożonym procesie, zwanym przemysłowym procesem realizacji [5]. Specyfika tego procesu (zasygnalizowana na rysunku 2) odbija się na właściwościach wytworzonych i następnie eksploatowanych obiektów oraz dodatkowo wpływa na ukształtowanie procesu ich eksploatacji. Właściwości obiektów i przebiegi ich zmian w czasie muszą bowiem być brane pod uwagę przy kształtowaniu i organizowaniu procesów ich użytkowania i obsługi. Proces powstawania obiektów technicznych i następnego ich eksploatacji oraz występujące relacje przedstawia rysunek 2 [5, 9].



Rys. 2. Schemat przemysłowego procesu realizacji i eksploatacji obiektów technicznych.

Oznaczenia:

- IP – identyfikacja potrzeb: prognozowanie ilościowego i jakościowego zapotrzebowania na obiekty,
- W – tworzenie zbioru wymagań technicznych, ekonomicznych i użytkowych określających cechy obiektu oraz wpływających na cechy procesu wytwarzania i eksploatacji obiektu,
- PP – przygotowanie produkcji obejmujące działania techniczne, ekonomiczne i organizacyjne poprzedzające rozpoczęcie produkcji, opracowanie dokumentacji konstrukcyjnej i technologicznej obiektu, budowę i badanie prototypu,
- PE – przygotowanie eksploatacji obejmujące działania techniczne, ekonomiczne i organizacyjne poprzedzające użytkowanie i obsługiwanie obiektu, opracowanie niezbędnej dokumentacji, prototypowe badania eksploatacyjne (próbną eksploatacją), przeszkolenie ludzi itp.
- Pr – produkowanie (wytwarzanie) obiektów,
- P – obiekt,
- t_p – moment powstania obiektu P,
- D – dystrybucja obiektu,
- E – eksploatacja obiektu to jest użytkowanie U i obsługiwanie O,

t_k – moment zakończenia eksploatacji obiektu,

L – likwidacja obiektu.

Obsługiwanie obiektów jest „zlokalizowane” w złożonym i dynamicznym systemie eksploatacji. Jest poddawane w sposób ciągły oddziaływaniu tego systemu (zwłaszcza podsystemu użytkownika) i jego otoczenia bezpośrednio, ale również pośrednio w wyniku reagowania systemu eksploatacji na oddziaływanie otoczenia, a także na skutek zachodzących w systemie eksploatacji w wyniku tego zmian. Właściwości nadawane obiektom w fazach IP, W, PP, PE i Pr także wpływają na kształtowanie i funkcjonowanie systemu obsługi.

Wszystko to skłania do wniosku, że system obsługi nie powinien być sztywny i sformalizowany; powinny cechować go duże zdolności adaptacyjne umożliwiające dostosowywanie się systemu do takiego różnorodnego i złożonego oddziaływania otoczenia, ale przy jednoczesnym przestrzeganiu zasad gwarantujących niezawodność obsługiwanych obiektów i efektywność ekonomiczną ich eksploatacji. Spełnienie tych wymagań nie jest łatwe, jest jednak konieczne z przyczyn podanych na rysunku 3. W zrozumieniu i rozwiązywaniu tych złożonych problemów mogą być pomocne teoria i technika systemów.

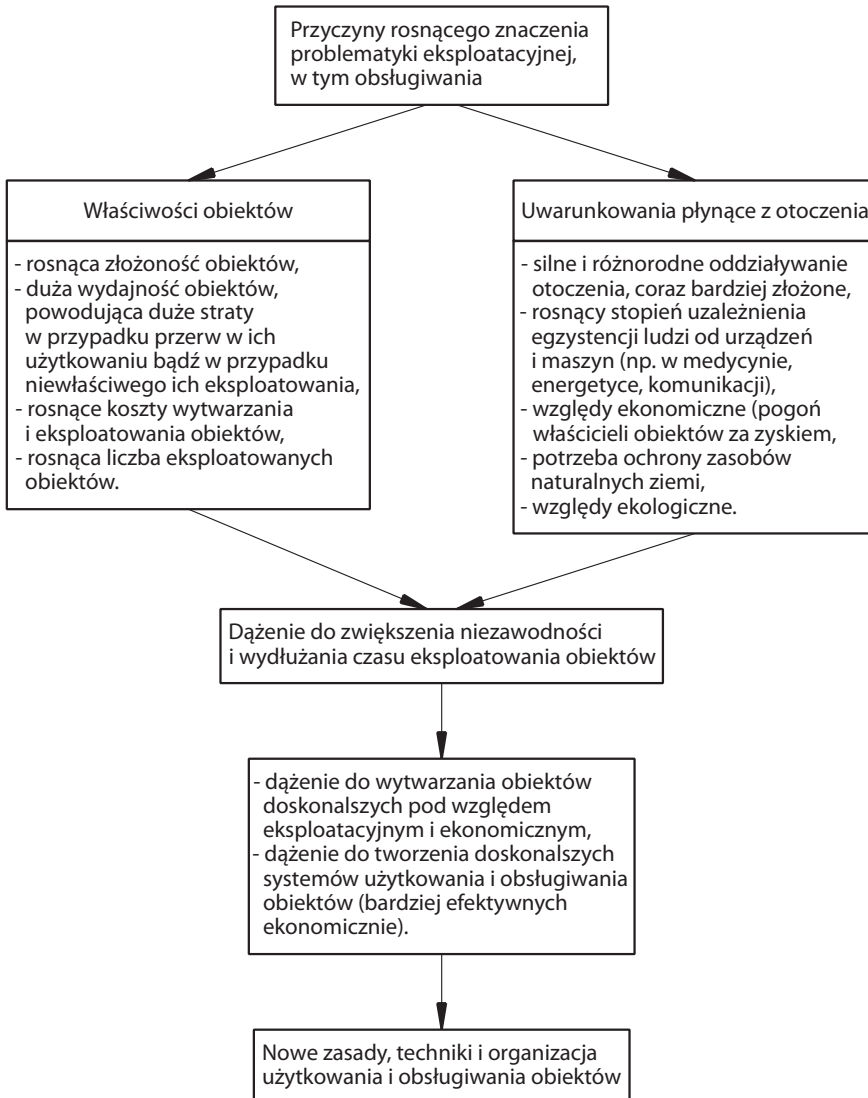
3. ELEMENTY TEORII SYSTEMÓW

3.1. Wstęp

Stosowanie pojęć „system” i „podejście systemowe” traktowane jako zasada porządkowania czy też sposób myślenia lub sposób rozwiązywania problemów wynikało z odczuwalnej potrzeby „wszechstronnego” spojrzenia na obiekty i zjawiska. Według [10] do okresu Odrodzenia, który łączy się z rewolucją naukową, świat pojmowano jako kosmos (porządek) teleologiczny. Badane zjawiska i fakty przedstawiano w opisowy sposób, sądząc że są one nierozpoznawalne rozumem i pozazmysłowe. Analizując i opisując otaczający świat, ludzie napotykali poważne trudności w wyjaśnianiu złożonych zjawisk, w których występowały silne związki między częściami złożonej całości. Zdawało sobie sprawę, że związki takie istnieją i że odgrywają istotną rolę, nie umiano jednak tego wyjaśnić i wyrazić.

Arystoteles pisał, że całość to więcej niż suma jej części. Mikołaj z Kuzy wprowadził pojęcie przeciwieństwa i walki między częściami całości przy jednoczesnym akceptowaniu tej całości jako jedności wyższego rzędu [10]. Nauka musiała przejść przez etap swojego rozwoju abstrahujący niejako od wyjaśniania całości przez związki między jej elementami, aby następnie powrócić do systemowego opisu i interpretacji otaczającej rzeczywistości. Wzjęcie świata jako kosmosu teleologicznego zastąpiono opisem zjawisk podlegających prawom przyczynowym i dającym się wyrazić w matematycznej postaci. Zjawiska wyjaśniano na podstawie szczegółowych badań faktów i przeprowadzanych

doświadczeń. Przedmiot badań traktowano jako zbiór izolowanych od siebie części, a obraz całości tworzono z sumy obrazów części składowych tej całości.



Rys. 3. Przyczyny rosnącego zainteresowania problematyką eksploatacyjną i zaostrejających się wymagań wobec eksploataowania obiektów technicznych, w tym ich obsługiwanie

Wkrótce jednak okazało się, że tą metodą można osiągnąć dobre rezultaty w sytuacji, gdy badane zjawiska lub procesy charakteryzują się bardzo ograniczoną liczbą relacji.

Metoda nie była natomiast skuteczna, gdy liczba relacji silnie rosła, zwłaszcza w przypadku zjawisk czy obiektów dynamicznych, to jest zmieniających się w czasie. Zwrócił na to uwagę biolog L.v. Bertalanffy [10] w latach dwudziestych ubiegłego stulecia. Dostrzegł on, że dotychczasowe metody badawcze nie umożliwiają wyjaśnienia zagadnień, w których występuje wiele zmiennych i gdy „organizacja” całości jest czymś znacznie szerszym niż zbiór części tej całości, rozpatrywanych we wzajemnej izolacji. Bertalanffy zaproponował wprowadzenie w badaniach podejścia systemowego oraz pojęcie system, rozumianego jako zorganizowana, dynamiczna całość o różnych poziomach hierarchicznych, mająca związki z otoczeniem.

3.2. Definicje i cechy charakterystyczne systemu

Definicje systemu:

Stosowane są m.in. następujące definicje systemu:

- Według L.v. Bertalanffy’ego [10]: system jest to zbiór elementów wzajemnie powiązanych ze sobą i z otoczeniem.
- Według G. J. Klira [10]: system jest to układ pewnych elementów powiązanych ze sobą wzajemnie tak, że tworzą całość.
- Według R.L. Ackoffa [10]: system to zestaw składników, między którymi zachodzą wzajemne oddziaływania.
- Według leksykonu [8]: system jest to uporządkowany wewnętrznie układ elementów, mający określoną strukturę.
- Według A.D. Halla [4]: system jest zbiorem obiektów wraz z relacjami istniejącymi między tymi obiektami i między ich właściwościami.
- M.D. Mesarovič w matematycznej teorii systemów ogólnych [10] rozpatruje system jako wzajemny związek obserwowanych cech w kontekście przetwarzania informacji i celowego działania. Przy zastosowaniu opisu systemu (opisu rozumianego jako sposób określania relacji) przez „wejście – wyjście”, definiuje on system jako relację określoną na zbiorach wejść i wyjść.

Układ elementów systemu rozpatrywany od wewnątrz jest zbiorem, rozpatrywany od zewnątrz – jest traktowany jako całość. Definicją A.D. Halla dogodnie jest posługiwać się w przypadku systemów rozpatrywanych od wewnątrz. Analiza systemu na podstawie definicji M.D. Mesaroviča pozwala charakteryzować system jako całość pod względem funkcjonalnym, określać jego zachowanie się przez wzajemne oddziaływania z otoczeniem. System może być w tym przypadku traktowany jako „czarna skrzynka” i charakteryzowany na podstawie wejść (bodźców) i wyjść (reakcji systemu) oraz występujących między nimi relacji. Oznacza to, że system jest analizowany pod względem jego zachowania się, w aspekcie wszystkich możliwych postaci występowania przedmiotu badania. Badającego nie interesuje przy tym przedmiot badań (system badany), ale przejawy jego istnienia, funkcjonowania i występujące przy tym zależności. Z systemem łączą się też inne następujące pojęcia i określenia.

Otoczenie systemu

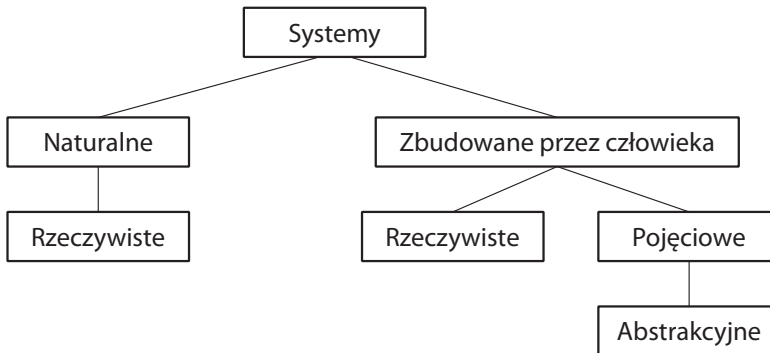
Jest to zbiór wszystkich obiektów nie należących do systemu, których właściwości oddziałują na system i zarazem ulegają zmianie pod wpływem działania systemu [4]. Podziału na system i otoczenie dokonuje się zależnie od analizowanego zagadnienia. Rozpatrując otoczenie w kontekście projektowania, eksploataowania (obsługiwanie) lub badania systemów technicznych, można je podzielić na otoczenie ogólne, występujące w przypadku każdego systemu technicznego i szczególne, specyficzne tylko dla danego systemu. W otoczeniu ogólnym można wyodrębnić [4]:

- stan nauki i techniki,
- warunki ekonomiczne,
- obowiązujące zasady postępowania administracyjnego,
- naturalne otoczenie (np. klimat, zanieczyszczenie środowiska),
- czynnik ludzki (najbardziej niestabilny i trudny do opanowania element otoczenia).

Tworzone systemy powinny być dopasowane do otoczenia; mówi się, że o jakości systemu decyduje stopień jego integracji z otoczeniem [4].

Rodzaje systemów

Systemy, na podstawie definicji L.v. Bertalanffy'ego [10], można ogólnie podzielić jak na rysunku 4.



Rys. 4. Podział rodzajowy systemów [10]

Systemy rzeczywiste to systemy postrzegane, istniejące niezależnie od obserwatora. Systemy pojęciowe są to twory symboliczne, np. logika, matematyka, muzyka. Systemy abstrakcyjne są podklasą systemów pojęciowych; są to systemy pojęciowe odpowiadające rzeczywistości, np. model matematyczny rzeczywistego zjawiska.

Podsystemy i struktura hierarchiczna systemów

Podsystemy są to składniki systemu. Podział systemu na podsystemy wynika z jego właściwości. Składniki jakiegoś podsystemu można traktować jako elementy otocze-

nia innego podsystemu. Zachowanie się podsystemu nie może być całkowicie analogiczne do zachowania się systemu, którego podsystem jest składnikiem. Podsystemy mogą być traktowane jako systemy niższego rzędu. Odbiciem podziału systemu na podsystemy jest struktura hierarchiczna systemu. Zarówno w systemach rzeczywistych, jak i pojęciowych powinna być sprawdzana zgodność zadań stawianych różnym poziomom hierarchicznym.

Właściwości i relacje

Właściwości są to cechy systemu. Mogą one być istotne, decydujące o specyfice danego systemu lub nieistotne. Są właściwości mające charakter ogólny, jak: spójność, niezależność, właściwość integracji i podziału progresywnego oraz centralizacja [4]. O systemie mówimy, że jest spójny (koherentny), jeżeli każdy jego składnik jest tak powiązany z innymi, że zmiana w pojedynczym składniku wywoła zmiany we wszystkich pozostałych. W przeciwnym wypadku o systemie mówimy że jest niezależny (addytywny). Każdy system jest w pewnym stopniu spójny i niezależny.

Właściwości integracji i podziału progresywnego charakteryzują systemy, które mogą zmieniać się w czasie. Konsekwencją zmian może być podział progresywny lub integracja progresywna systemu. Centralizacja oznacza, że w systemie jeden z podsystemów odgrywa główną rolę – niewielka zmiana w takim podsystemie powoduje duże zmiany w skali całego systemu. System taki nazywa się scentralizowanym. Przykładem takiego systemu może być człowiek, którego głównym podsystemem jest mózg. W systemie scentralizowanym, podsystem odgrywający główną rolę musi być szczególnie dobrze zabezpieczony.

W systemach technicznych właściwości systemu określa się [2] jako zespół cech mierzalnych (normatywnych) i niemierzalnych (deskryptywnych) wynikających z rozwiązania konstrukcyjnego, zaprojektowanych kształtów geometrycznych, przyjętej technologii wytwarzania oraz właściwości fizykochemicznych tworzyw konstrukcyjnych. Właściwości można podzielić na: stereometryczne, fizykochemiczne, techniczne, ekonomiczne, utylitarne, ekologiczne.

Relacje wiążą wzajemnie części systemu. Mogą być opisywane wielkościami liczbowymi; charakteryzują system [1]. Przykładem relacji w systemie technicznym może być luz między tłokiem i cylindrem; w systemach rozpatrywanych w ujęciu M.D. Mesaroviča – związki między wyjściami i wejściami, czy charakterystyka hierarchii w systemie. Można wyróżnić relacje wewnętrzne występujące w obrębie systemu i zewnętrzne, występujące między systemem a jego otoczeniem. Liczba występujących relacji jest zwykle bardzo duża, a sytuację komplikuje fakt, że zazwyczaj systemy jak i ich otoczenie są dynamiczne, przez co relacje zmieniają się w czasie.

Przy określaniu relacji należy podzielić je na istotne, ważne dla rozpatrywanego zagadnienia i nieistotne, które można pominąć. Jest to sprawa trudna zwłaszcza dlatego, że jesteśmy przyzwyczajeni do rozpatrywania zjawisk w kontekście jednorodnej przyczynowości, gdzie najchętniej przyjmujemy za oczywiste i słuszne najłatwiej do-

strzegane uzależnienia i związki. Ogólna teoria systemów, którą można podzielić na filozofię systemów, naukę o systemach i technikę systemów, umożliwia rozwiązywanie problemów w ujęciu systemowym.

4. WYKORZYSTANIE TEORII SYSTEMÓW W ROZWIĄZYWANIU PROBLEMÓW OBSŁUGIWANIA

4.1. Specyfika działalności obsługowej

Obsługiwanie obiektów technicznych, zwłaszcza takich, które są eksploatowane w dużych ilościach (np. tabor kolejowy), czy też mają istotny wpływ na życie i bezpieczeństwo ludzi (np. urządzenia energetyczne, obronne, urządzenia stosowane w medycynie), wiąże się z potrzebą uwzględniania bardzo wielu różnych, często kształtujących się w sposób losowy zjawisk, właściwości, związków i oddziaływań, wykraczających zwykle poza same obiekty poddawane obsłudze, a często i poza sferę ich działania. Występuje zatem konieczność uwzględniania w działalności obsługowej różnych złożonych czynników, wymagająca dysponowania metodami i narzędziami, które te czynniki pozwolą wykryć, „zlokalizować”, określić jakościowo i ilościowo, a także ustalić relacje między nimi i między ich otoczeniem. Nasuwa się pytanie z jakiego powodu takie problemy występują w obsłudze. Wpływa na to wiele następujących czynników.

1. Złożoność konstrukcyjna i technologiczna eksploatowanych, a więc i obsługiwanych obiektów technicznych.

Powoduje ona, że przebiegi zużywania się składników obiektu (zespołów, podzespołów, elementów), zwłaszcza w dynamicznych warunkach użytkowania, jak i ich odporność na zużywanie się i awarie spowodowane czynnikami otoczenia są różne i często bardzo trudne do prognozowania szczególnie podczas pracy w warunkach dynamicznie oddziałującego otoczenia. Złożoność konstrukcyjna i technologiczna obiektów i zróżnicowanie warunków pracy ich składników przyczyniają się pośrednio do występowania zjawiska „niezależnego życia”, powodującego że potrzeba wykonania obsługi dla poszczególnych składników obiektu występuje w różnym czasie. Należy też pamiętać o oddziaływaniu na siebie składników obiektu. Oddziaływania te oraz przebiegi procesów utraty właściwości użytkowych mogą być określane ilościowo w procesie badań niezawodnościowych i badań trwałości tylko dla zbioru obiektów. Skutki oddziaływania i momenty utraty właściwości użytkowych, które mogą być określane statystycznie dla badanej populacji, nie umożliwiają jednak określenia momentu ich wystąpienia w przypadku poszczególnych obiektów oddzielnie, ponieważ są zdarzeniami losowymi, indywidualnymi. Pomocą mogą tu być: dozоровanie, badania diagnostyczne, genozowanie i prognozowanie, oczywiście jeżeli istnieją opracowane metody i narzędzia do takich działań.

Utrudnia to poważnie podejmowanie decyzji o obsłudze i powoduje, że proces obsługi poszczególnych obiektów staje się bardzo zindywidualizowany, a zakres prac obsługowych dla poszczególnych obiektów zróżnicowany. Do tego dochodzi dodatkowe utrudnienie w postaci dość częstego nieprzystosowania konstrukcyjnego i technologicznego obiektów do wykonywania napraw. Przejawiać się to może w postaci niskiej podatności obsługowej, zbyt rzadkim stosowaniem konstrukcji modułowych w rozwiązaniach obiektów, niedostatecznym przystosowaniu do diagnozowania i do przeprowadzania pomiarów i badań przed, w trakcie i po wykonaniu obsługi i innych. Wynika to w dużej mierze z tego, że w fazie projektowania samego obiektu nie uwzględnia się potrzeby jednoczesnego zaprojektowania systemu, technologii i organizacji jego obsługi, mimo że systemowe podejście tego wymaga.

2. Drugim istotnym czynnikiem jest złożoność samego systemu eksploatacji (i jego otoczenia), w którym pracuje obiekt.

System użytkownika SU (składnik eksploatacji) jest nastawiony na osiągnięcie „swoich” celów i raczej niezbyt chętnie podporządkowuje się regułom i wymaganiom ustanowionym przez system obsługi SO, ponieważ w krótkiej perspektywie czasu może to utrudniać realizację zadań SU. To z kolei powoduje, że do SO nierzadko trafiają obiekty o większym niż dopuszczalny stopniu zużycia, przez co utrudniają realizację procesu obsługowego, zwiększają koszty obsługi i zwiększają czas przebywania obiektu w obsłudze pogarszając jego współczynnik gotowości. Ta ostatnia konsekwencja, w przypadku dużego zbioru obiektów, skutkuje silnym wzrostem kosztów eksploatacji na skutek konieczności zakupu obiektów rezerwowych, niezbędnych do wykonania ustalonych wcześniej zadań (np. przewozowych). Opisane zjawiska wywołują też utrudnienia organizacyjne w samym systemie SO, a przez to wywołują perturbacje w jego funkcjonowaniu.

Losowe oddziaływanie na eksploatowany obiekt otoczenia SU i SO dodatkowo komplikuje sytuację i utrudnia racjonalne prowadzenie obsługi obiektów. Oddziaływania te, to nie tylko destrukcyjne w sensie fizycznym oddziaływanie na obiekt, np. ludzi, warunków atmosferycznych, innych obiektów, ale też decyzje bądź błędy powodujące przeciążenia obiektu, współpraca ze zużytymi czy uszkodzonymi elementami otoczenia (np. szyny, jezdnia), błędy popełniane w sposobie użytkowania, a także zdarzenia losowe i błędy popełniane przez ludzi podczas obsługi, usterki występujące losowo w narzędziach i urządzeniach stosowanych w obsłudze i inne.

3. Każdy system eksploatacji, w którym są użytkowane i obsługiwane obiekty, istnieje w otoczeniu i jest podporządkowany określone systemowi hierarchicznie wyższemu, który ma do osiągnięcia swoje cele.

Na przykład kolejowy system transportowy, którego składnikami są systemy eksploatacji lokomotyw czy wagonów, może narzucać tym ostatnim zadania do wykonania istotne ze względu na rozwój gospodarczy kraju czy obronność i wówczas zarów-

no SU jak i SO wymienionych systemów, muszą się temu podporządkować. Tak więc ogromna różnorodność i zmienność właściwości i relacji dotyczących samego przedmiotu obsługiwanego oraz dotyczących systemów, w których te obiekty są użytkowane i obsługiwane, a także oddziaływanie szeroko pojętego otoczenia powodują, że w systemie obsługiwanym (i nie tylko) bardzo trzeba unikać rozpatrywania zjawisk w kontekście jednorodnej przyczynowości.

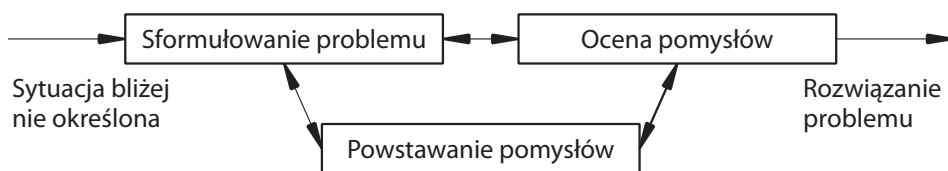
System obsługiwanego nie może być z założenia sztywny i sformalizowany (co najłatwiej zaprojektować i stosować), lecz przeciwnie, elastyczny, dostosowany i dostosowujący się do warunków jakie stwarzają właściwości konstrukcyjno-technologiczne obiektu oraz otoczenie, w którym istnieje i funkcjonuje. A stworzenie elastycznego, niezawodnego i efektywnego systemu obsługiwanego jest bardzo trudne. To wszystko rodzi potrzebę i konieczność uwzględniania tej ogromnej liczby różnorodnych czynników zaczynając już od etapu tworzenia założeń i konstruowania obiektu, a następnie w fazie kształtowania zasad technicznych i organizacyjnych obsługiwanego, zasad współpracy SO z SU oraz kształtowania i uwzględniania reguł obowiązujących w systemie eksploatacji SE. Pomoc w tym może stosowanie techniki systemów opartej na teorii systemów opisanej w rozdziale 3. Dzięki temu można osiągnąć w ostatecznym bilansie większą niezawodność systemu użytkowania SU i całego systemu SE, niższe koszty eksploatacji, większy stopień bezpieczeństwa, a także lepsze zaspokojenie potrzeb społecznych.

4.2. Elementy techniki systemów

Przy stosowaniu tzw. systemowego podejścia w rozwiązywaniu problemów wykorzystuje się technikę systemów, która jest przydatna w sferze badań, projektowania, budowy i eksploatacji systemów, a także w wypadku obiektów fizycznych (systemów technicznych), ich recyklingu po zakończeniu „życia”. Technika systemów [4] to najogólniej kompleks działań obejmujący wszystko co jest potrzebne do rozwiązania problemu. Pozwala przeprowadzić w uporządkowany, logiczny sposób analizę potrzeb odbiorców i określić sposób najlepszego zaspokojenia tych potrzeb. Rozwiązywanie problemu przy stosowaniu techniki systemów jest realizowane w następujących kolejnych fazach [4]:

- 1) przeprowadzenie badań wstępnych,
- 2) przyjęcie koncepcji dotyczącej sposobu rozwiązania problemu,
- 3) opracowanie planu i kosztorysu projektowania i budowy systemu,
- 4) prace projektowe i badania rozwiązania w trakcie jego fizycznej realizacji,
- 5) budowa ostatecznej wersji rozwiązania systemu,
- 6) modyfikacja zbudowanego systemu na podstawie doświadczenia eksploatacyjnego (faza „nadążania” lub faza „sprzężenia zwrotnego”).

Rozwiązywanie problemu można przedstawić graficznie jak na rysunku 5.



Rys. 5. Model graficzny rozwiązywania problemu

Poszczególne fazy rozwiązywania problemu przy stosowaniu techniki systemów zostały poniżej opisane bardziej szczegółowo.

Faza 1

Przeprowadza się badania istotnych dla planowanych zamierzeń czynników otoczenia, celem ukierunkowania i określenia programu całości prac oraz utworzenia bazy informacyjnej dotyczącej rozwiązywanego problemu. Zbierane są informacje o istniejących już koncepcjach i projektach rozwiązań, w tym także perspektywicznych i o fizycznie istniejących rozwiązaniach.

Faza 2

Składa się z czterech następujących etapów.

A. Sformułowanie problemu obejmujące:

- scharakteryzowanie ilościowe i jakościowe sytuacji istniejącej w otoczeniu („rozumienie otoczenia”), np. jakiego obsługiwanie wymaga nowa konstrukcja lokomotywy pracującej w określonych warunkach systemu SU,
- przegląd i krytyczny opis istniejących już rozwiązań,
- analizę sytuacji istniejącej w otoczeniu i w wyniku tego określenie tzw. „faktów problemu”, tj. czynników i uwarunkowań, które należy uwzględnić w rozwiązaniu, niezależnie od sposobu rozwiązywania problemu, np. specyfika rozwiązania konstrukcyjnego lokomotywy, fakt użytkowania lokomotywy w kraju i za granicą; można to określić jako ustalenie czego i w jakich okolicznościach chce od nas otoczenie,
- zrozumienie problemu,
- zaprojektowanie (określenie) zewnętrznych funkcji systemu, który będzie rozwiązaniem problemu.

B. Wybór zadania, które należy zrealizować aby rozwiązać problem

W procesie wyboru zadania występuje dualizm, którego sens jest następujący. Wybór zadania polega na określeniu co, jakiego rodzaju system powinniśmy zaprojektować, aby rozwiązać problem (np. system uwzględniający silnie zróżnicowaną niezawodność elementów lokomotywy). Ale wybór zadania powinien być

związany z określeniem systemu wartościowania (kryteriów oceny) dokonywanego wyboru. System wartościowania rozumie się przy tym jako zbiór pożądanych (wymaganych) wielkości wartości wejściowych i wyjściowych systemu, który ma rozwiązać problem, warunków ograniczających, potrzeb które system powinien zaspokoić oraz występujących związków między nimi (np. pożądany współczynnik gotowości lokomotyw). Projektowanie systemu wartościowania nazywa się „wybo-rem zadań”, a samo projektowanie systemu rozwiązującego problem – „syntezą i ana-lizą”. Należy pamiętać, że wybór właściwych zadań jest ważniejszy niż samo projek-towanie systemu rozwiązującego problem. Przyjęcie złych zadań do wykonania oznacza, że będziemy opracowywać niewłaściwy z punktu widzenia otoczenia system (idziemy w niewłaściwym kierunku). Natomiast niewłaściwie zaprojektowa-ny system będący rozwiązaniem oznacza nieoptymalne rozwiązanie problemu.

C. Synteza systemów

Jest to etap „ustalania pomysłu” na rozwiązanie. Określa się jaki system należy za-projektować, aby osiągnąć cel. Synteza jest działaniem kompilacyjnym. Oznacza tworzenie nowego rozwiązania, które albo będzie wynikać z połączenia (wykorzy-stania) już istniejących, sprawdzonych rozwiązań albo będzie nowym rozwiąza-niem opartym na już istniejących. Podczas opracowywania syntezy sporządza się zestawienie hipotetycznych rozwiązań, z których każde jest tak szczegółowo prze-myślane, że możliwa jest jego ocena z punktu widzenia zadań stawianych oczeki-wanemu rozwiązaniu.

D. Analiza systemów i wybór koncepcji rozwiązania

Przeprowadzana jest po to, aby przewidzieć wszystkie istotne następstwa wyboru i zastosowania w praktyce systemu uznanego za najkorzystniejszy. Analiza obej-muje przestudiowanie wariantów rozwiązań systemu w zakresie wykonywania za-dań jakie się przed nim stawia, porównanie ich ze sobą i wybór jednego z nich do dalszego szczegółowego opracowania. Alternatywą może być całkowita rezygna-cja z prac ze względu na to, że zadowalające rozwiązanie może być niemożliwe do osiągnięcia lub nieopłacalne. Porównanie wariantów rozwiązań może być dokona-ne przez:

- porównanie następstw stosowania różnych rozwiązań w odniesieniu do jednego zadania,
- porównanie zadań, które byłyby realizowane przez poszczególne rozwiązania i wyciągnięcie wniosków odnośnie skuteczności realizacji zadań.

Faza 3

Obejmuje opracowanie planu i kosztorysu projektowania oraz budowy systemu, w tym opracowanie harmonogramu prac, określenie priorytetów poszczególnych prac i inne.

Faza 4

Obejmuje prace projektowe oraz badania rozwiązania w trakcie jego fizycznej realizacji. W tej fazie formułuje się bardziej szczegółowe wymagania dotyczące projektowanego systemu (rozwiązania), opracowuje projekty, buduje modele i prototyp oraz przeprowadza ich badania i na tej podstawie wprowadza się ewentualne zmiany w rozwiązaniu. Dokonuje się też korekty planu działania opracowanego w fazie 3.

Faza 5

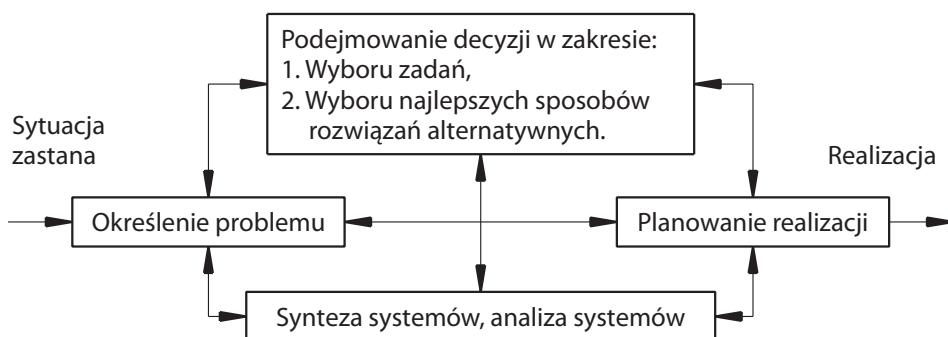
W tej fazie buduje się system w jego ostatecznej wersji rozwiązania, a po zbudowaniu – przekazuje się do eksploatacji.

Faza 6

W fazie tej dokonywana jest, na podstawie praktycznych doświadczeń eksploatacyjnych, modyfikacja zbudowanego systemu. Faza ta nazywana jest fazą modyfikacji, fazą nadążania lub fazą sprzężenia zwrotnego. Obejmuje ona następujące działania:

- zbieranie informacji o zachowaniu się systemu w eksploatacji,
- korygowanie błędów popełnionych podczas projektowania i budowy systemu,
- korygowanie ujawnionych w procesie eksploatacji wad systemu,
- dostosowywanie systemu do ewentualnych dodatkowych zadań, których nie przewidywano w fazie jego projektowania,
- dostosowywanie właściwości systemu do zmian zachodzących w jego dynamicznym otoczeniu.

Omówiony tryb postępowania można w dużym uproszczeniu przedstawić jak na rysunku 6.



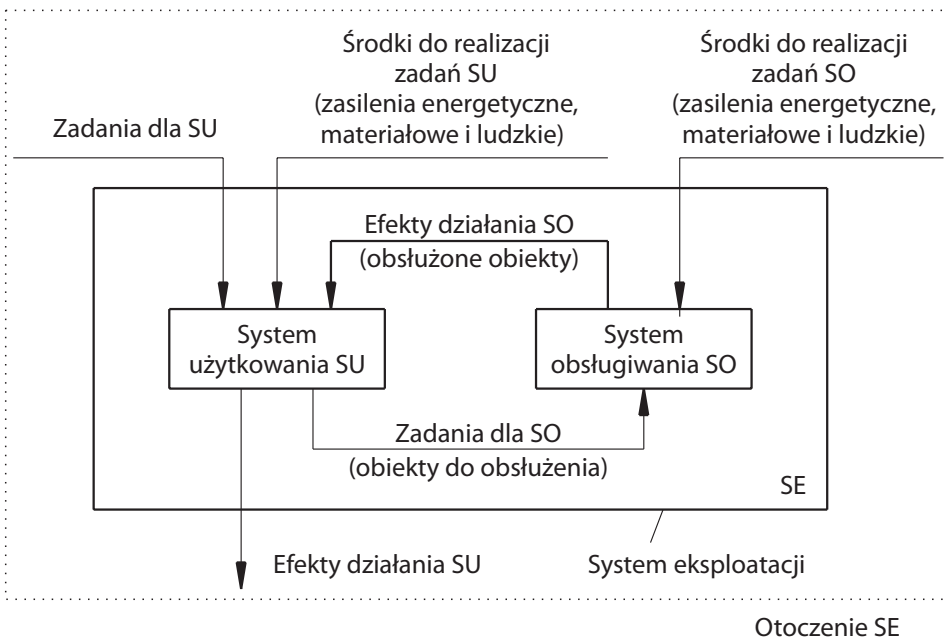
Rys. 6. Model graficzny rozwiązywania problemu w kolejnych fazach

4.3. Eksploatacja jako system

W kontekście tego, co zostało dotychczas przedstawione, popatrzmy na zagadnienie eksploatacji i obsługi z systemowego punktu widzenia.

4.3.1. System eksploatacji

Na podstawie definicji A.D. Halla [4] lub R.L. Ackoffa [10], system eksploatacji można traktować jako zbiór występujących w procesach użytkowania i obsługiwanie maszyn, urządzeń, narzędzi, przyrządów, budynków, budowli oraz zasileń materiałowych, energetycznych, informacyjnych i ludzi wraz z relacjami istniejącymi między tymi składnikami i między ich właściwościami. Jeżeli eksploatację będziemy rozpatrywać nie jako twór fizyczny, ale jako system pojęciowy określający kompleksowo metody działania z obiektem w procesie użytkowania i obsługiwanie, to system eksploatacji można traktować jako zbiór zasad użytkowania i obsługiwanie („reguł gry”), miar oceny tych działań i relacji występujących między nimi. W uproszczeniu, graficznie, model fizycznego systemu eksploatacji można przedstawić jak na rysunku 7.



Rys. 7. Model systemu eksploatacji

System eksploatacji, zarówno podczas jego tworzenia jak i funkcjonowania należy rozpatrywać także jako system działania, tj. system, w którym poza obiektami fizycznymi i relacjami występują procesy. Takie podejście powoduje, że muszą być brane pod uwagę następujące czynniki [3]:

- cel tworzenia i istnienia systemu, przyczyny dla których system został stworzony i istnieje,
- zadania systemu,

- wyjścia systemu, tj. rezultaty jego działania,
- proces rozumiany jako metoda albo sekwencja czynności niezbędnych do tego, aby powstały wyjścia,
- wejścia, tj. reguły postępowania, informacje, energia, materiały, usługi itp.,
- wyposażenie, tj. budynki, budowle, maszyny, urządzenia, narzędzia itp., biorące udział w procesach, ale nie będące przedmiotem przetwarzania,
- ludzie należący do systemu, posługujący się jego wyposażeniem i realizujący proces przekształcania zasileń wejściowych na wytwory wyjściowe (rezultaty działania systemu),
- otoczenie obejmujące warunki, a także czynniki wpływające na przebieg działania systemu.

Taki sposób rozpatrywania systemu pozwala nie tylko lepiej zrozumieć jego istotę, ale ułatwia jego zaprojektowanie, budowę i praktyczne wykorzystywanie. Aby eksploatacja obiektu technicznego w systemie było właściwe, niezbędne jest określenie pewnych ogólnych zasad; ich przestrzeganie warunkuje prawidłowe działanie człowieka z obiektem w procesie eksploatacji i uzyskiwanie efektów ekonomicznych w tej działalności. Zasady te są następujące [6]:

1. Zasada podmiotowości

Każdy obiekt eksploatacji jest bezpośrednio lub pośrednio eksploatowany przez człowieka lub zespół ludzki. Użytkownikiem i obsługownikiem obiektu może być tylko człowiek lub zespół ludzki; mechanizacja i automatyzacja działania nigdy nie zastąpią człowieka w roli podmiotu.

2. Zasada celu zewnętrznego

Celem eksploatacji każdego obiektu nie jest eksploatacja tego obiektu. Eksploatowanie obiektu umożliwia osiągnięcie celu za pomocą tego obiektu. Eksploatowanie obiektu stwarza warunki do osiągnięcia celu pozaeksploatacyjnego i z tego punktu widzenia powinno być oceniane.

3. Zasada dwóch stanów

Każdy obiekt eksploatacji jest co najmniej dwustanowy: zdalny lub niezdalny. Nie istnieje taki obiekt eksploatacji, którego nie można byłoby użyć; nie istnieje taki obiekt eksploatacji, którego nie należałoby obsługiwać.

4. Zasada systemowości

Każdy obiekt eksploatacji eksploatowany jest w systemie. Nie istnieją właściwości eksploatacyjne obiektu, które nie zależałyby od właściwości jego systemu eksploatacji. Nie można badać i oceniać „czystego” obiektu eksploatacji, lecz w systemie i poprzez system; nie można projektować „czystego” obiektu eksploatacji, trzeba również zaprojektować jego system eksploatacji.

5. Zasada skończonej trwałości

Każdy obiekt eksploatacji ma skończoną trwałość. Nie ma obiektów niezniszczalnych; w celu podtrzymywania właściwości użytkowych obiektu w jego systemie eksploatacji, musi on być obsługiwany lub wymieniany w systemie.

4.3.2. System obsługiwan

System obsługiwan jest podsystemem w systemie eksploatacji, pokazano to na rysunku 7. Jak już wspomniano, pod pojęciem obsługiwan rozumie się najogólniej działania zmniejszające prędkość utraty właściwości użytkowych oraz działania przywracające obiektom właściwości już utracone. Wymienione działania nie są jednak celem. Obiekty techniczne tracą swoje właściwości użytkowe (wyczerpują resurs) podczas użytkowania; użytkowanie obiektów jest z kolei prowadzone po to, aby osiągnąć określone cele pozaużytkowe, uzyskać korzyści (efekty) mające znaczenie dla właściciela obiektu.

Podchodząc do sprawy systemowo można powiedzieć, że celem obsługiwan jest umożliwienie użytkowania obiektu w systemie użytkowania, a przez to umożliwienie osiągnięcia za pomocą obsługiwan obiektów celów systemu użytkowania lub nadrzędnego. Takie rozumienie obsługiwan wywołuje następujące konsekwencje. System obsługiwan, który realizuje działania zapobiegawcze i naprawcze na obiektach, musi to robić biorąc pod uwagę cele i zadania systemu użytkowania; powinien być kształtowany i powinien funkcjonować w symbiozie z tym systemem. Konsekwencją tego jest tworzenie systemu eksploatacji obiektów, którego głównymi podsystemami są właśnie systemy użytkowania i obsługiwan.

Na podstawie definicji systemu podanej przez A.D. Halla, system obsługiwan można zdefiniować jako zbiór obiektów, tj. maszyn, urządzeń, obrabiarek, przyrządów, narzędzi, budynków i budowli, za pomocą których są wykonywane operacje zmniejszające prędkość utraty właściwości użytkowych i przywracające obiektom właściwości już utracone. Poza wymienionymi elementami systemu są też i inne, takie jak technologia obsługiwan, organizacja obsługiwan i organizacja funkcjonowania systemu jako całości, a także zbiór relacji występujących między wymienionymi elementami (obektami) i ich właściwościami. Nie są to jednak wszystkie elementy systemu. Zgodnie z definicją M.D. Mesaroviča muszą występować relacje określone na zbiorach wejść i wyjść, które można określić mianem „reguł gry” (zasady obsługiwan) ustalających sposób postępowania z obiektem (z punktu widzenia obsługiwan) w procesie użytkowania i w procesie obsługiwan. Chodzi tu o zasady, które pozwolą na podstawie uzyskiwanych informacji podejmować decyzje o tym, co w określonej sytuacji w systemie użytkowania i przy określonym stanie obiektu zrobić z obiektem oraz ustalać techniczne i organizacyjne procedury postępowania z obsługiwanym obiektem.

Można ogólnie powiedzieć, że zasady obsługiwan pozwalają uzyskać w dowolnym momencie odpowiedź na pytanie: czy i jak obsługiwan obiekt. Określenie „system obsługiwan” może być zatem używane w dwojakim znaczeniu:

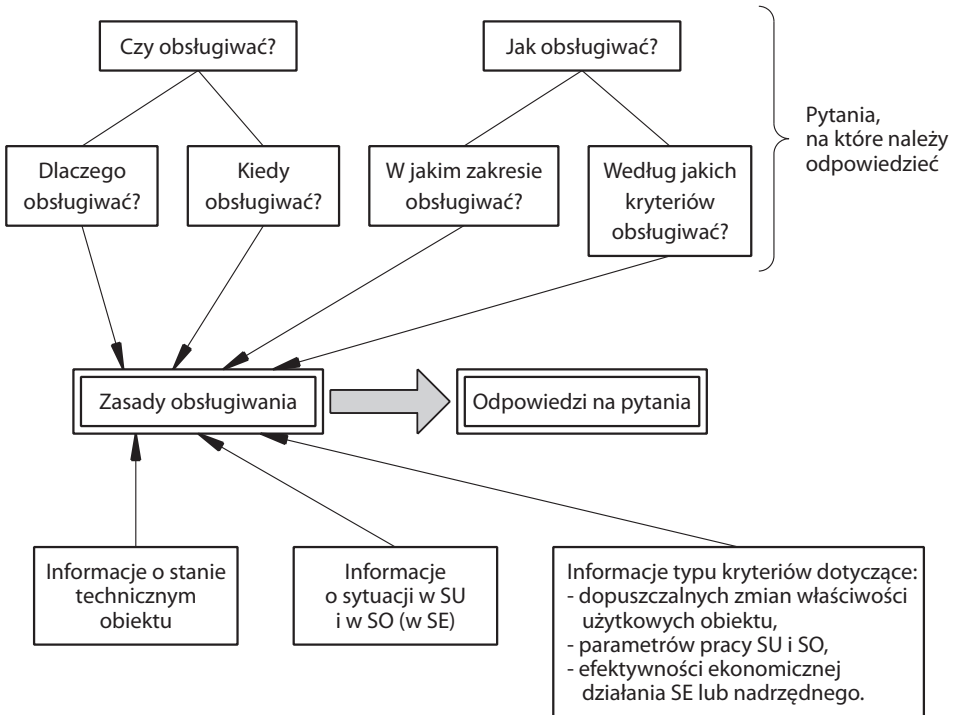
- jako system techniczny, ukształtowany fizycznie na podstawie przyjętych zasad (reguł gry) oraz na podstawie właściwości obsługiwan obiektów i właściwości systemu użytkowania,

- jako zbiór zasad (reguł gry) i występujących relacji między nimi, pozwalających podejmować decyzje o obsłudze obiektów (prowadzić „politykę obsługową”) i narzucających metody postępowania z obiektem z punktu widzenia jego obsługi z uwzględnieniem potrzeb użytkownika.

„Polityka obsługowa” ma istotny wpływ na efektywność ekonomiczną eksploatacji obiektów, niezawodność obiektów i systemu ich użytkowania oraz na bezpieczeństwo użytkowników i otoczenia. Aby można było podejmować decyzje o skierowaniu obiektu do obsługi i przeprowadzić takie obsługowanie, należy móc odpowiedzieć na dwa pytania:

- czy obsługiwać obiekt?
- jak obsługiwać obiekt?

To drugie pytanie nie dotyczy technologii i organizacji obsługi, lecz zakresu obsługi oraz kryteriów, na podstawie których podejmujemy decyzję o dokonaniu obsługi. Na rysunku 8 przedstawiono procedurę pozwalającą odpowiedzieć na wymienione pytania.



Rys. 8. Kiedy i jak obsługiwać objekty

Zasady obsługiwania i ich interpretację podano poniżej.

1. Zasada celu pozaobsługowego

Celem działalności obsługowej nie jest zmiana stanu technicznego przedmiotu obsługiwania, lecz umożliwienie osiągnięcia za pomocą obsługiwanych obiektów celów systemu użytkującego obiekty, lub celów systemu nadrzędnego.

2. Zasada globalnych efektów

Efektywności obsługiwania nie należy określać w skali systemu obsługowego, lecz poprzez efektywność osiągania celu pozaeksploatacyjnego przez system użytkujący obsługiwane obiekty, lub system nadrzędny.

3. Zasada spójności

System obsługiwania nie może być kształtowany, a działalność obsługowa nie może być sterowana w oderwaniu od przedmiotu obsługiwania oraz systemu, z którym system obsługiwania współpracuje, lub którego jest składnikiem.

4. Zasada dynamicznego działania

Działalność obsługowa nie może być sztywna i sformalizowana. System obsługiwania powinien umożliwiać reagowanie na zmiany występujące w obsługiwanych obiektach i w systemach, z którymi współpracuje lub których jest składnikiem w sposób niesprzeczny z intencjami zmian. Powinien też sam inspirować zmiany w obsługiwanych obiektach i systemach z którymi współpracuje.

5. Zasada udokumentowanego działania

Decyzje o obsługiwaniu dowolnego obiektu należy podejmować na podstawie informacji (bieżących i prognoz) o stanie obiektu, sytuacji w systemie użytkowania i nadrzędnym oraz na podstawie przyjętych kryteriów technicznych i ekonomicznych.

Przestrzeganie wymienionych wyżej zasad pozwoli na właściwe, z punktu widzenia systemu eksploatacji, ukształtowanie systemu obsługiwania oraz na prawidłową jego późniejszą pracę.

5. PODSUMOWANIE

Omówiona w artykule problematyka systemowego podejścia do rozwiązywania problemów oraz pewne ogólne propozycje dotyczące zastosowania takiego podejścia w obsługiwaniu obiektów technicznych, wynikają z następujących przyczyn:

- z możliwości i korzyści, jakie daje takie podejście w rozwiązywaniu problemów,
- z uświadomienia sobie przez zainteresowanych właścicieli eksploatowanych obiektów technicznych, konieczności zmiany podejścia przy rozwiązywaniu problemów obsługiwania. Okazało się bowiem, że problematyka obsługiwania jest dziś znacznie bardziej złożona i trudna do właściwego rozwiązania niż dotychczas sądzono.

Obserwowane zmiany w tym zakresie można scharakteryzować następująco:

1. Daje się zauważyć docenianie znaczenia obsługi jako dziedziny mającej istotny wpływ na koszty i efekty działalności przedsiębiorstwa. Jest to szczególnie dostrzegalne w sytuacji, gdy użytkowane obiekty są złożone, kosztowne, wydajne i coraz silniej uzależniające ludzi od właściwego ich funkcjonowania (np. obiekty komunikacji, energetyki, w służbie medycznej, bankowości).
2. Dąży się do prowadzenia obsługi na podstawie informacji o stanie obiektu i sytuacji w systemie użytkowania, zgodnie z zasadą że „tyle możemy ile wiemy”. Prowadzi to do powstawania dużych strumieni różnorodnych informacji, które trzeba uporządkować i umieć wykorzystać w procesie podejmowania decyzji o obsłudze.
3. Jako kierunek działania w obsłudze przyjmuje się zapobieganie i niedopuszczanie do wystąpienia awarii. Powoduje to silne zwiększenie losowo powstających decyzji o przeprowadzeniu obsługi co wymaga zorganizowanego opanowania sytuacji w praktyce.
4. Dąży się do rozwiązywania problemów obsługi we wszystkich fazach powstawania i „życia” obiektu oraz we wszystkich sferach działania przedsiębiorstwa użytkującego obiekty, tj. technicznej, organizacyjnej, ekonomicznej, zarządzania i kierowania. Obsługa przestaje być działalnością „uboczną”, a staje się zorganizowaną, złożoną i kosztowną procedurą przemysłową.
5. W praktyce zaczynają dominować poglądy, że działalność obsługowa powinna być podporządkowana wymogom i potrzebom systemu użytkowania, który posługuje się obsługiwanymi obiektami. Prowadzi to do występowania złożonych relacji między systemem użytkowania, a obsługą. Liczba relacji rośnie ze wzrostem liczby użytkowanych obiektów i zasięgu oddziaływania systemu użytkowania.
6. Zwraca uwagę coraz szersze stosowanie w obsłudze urządzeń diagnostycznych i komputerów oraz wykorzystywanie wyników badań niezawodnościowych i analiz ekonomicznych w tej sferze działalności. Ułatwia to wybór właściwych metod postępowania obsługowego, ale komplikuje realizację procesów sterowania i podejmowania decyzji w sferze obsługi i użytkowania.
7. Obsługa w przedsiębiorstwach zaczyna być traktowane podobnie jak działalność produkcyjna i poddawane odpowiednim rygorom organizacji, zarządzania i finansowym. Ułatwia to racjonalne prowadzenie obsługi, ale zmusza do poszukiwania rozwiązań usprawniających prowadzenie tej działalności.

Ponieważ problematyka obsługi obiektów technicznych, zwłaszcza złożonych, kosztownych i mających duży wpływ na życie ludzi jest skomplikowana technicznie i organizacyjnie oraz kosztowna, to stosowanie systemowego podejścia, które

bardzo ułatwia wniknięcie w istotę problemu i jego rozwiązanie jest ze wszech miar pożądane. Jest to tym bardziej ważne, że jak podaje [9], według danych z roku 1980, roczne koszty eksploatacji pojazdów, maszyn i urządzeń technicznych naszym kraju, kształtowały się w stosunku do nakładów na inwestycje, jak 800 mld do 590 mld zł. Nie można oczywiście odnosić tych danych wprost do dzisiejszych warunków gospodarczych, tym nie mniej porównywane rzędy wielkości nakładów są bardzo wymowne i nie pozwalają przejść obojętnie nad problematyką obsługiwaną.

BIBLIOGRAFIA

1. Dietrych J.: *System i konstrukcja*. Warszawa, WNT, 1968.
2. *Fizyczne aspekty trwałości i niezawodności obiektów technicznych*. Red. naukowy S. Ziemia. Warszawa–Poznań, Polska Akademia nauk. Instytut Podstawowych Problemów Techniki, 1976.
3. Gackowski Z.: *Metodologiczne aspekty systemowego projektowania rozwiązań organizacyjnych*. Warszawa, Ministerstwo Komunikacji. Resortowy Ośrodek Organizacji i Normowania Pracy, 1972.
4. Hall A.D.: *Podstawy techniki systemów*. Warszawa, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, 1968.
5. Kiliński A.: *Przemysłowe procesy realizacji. Podstawy teorii*. Warszawa, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 1976.
6. Konieczny J.: *Elementy teorii eksploatacji*. Referat na 9 kursokonferencję naukową Towarzystwo Naukowe Organizacji i Kierownictwa, Bydgoszcz, 1978.
7. Konieczny J., Olearczuk E., Żelazowski W.: *Elementy nauki o eksploatacji*. Warszawa, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 1980.
8. *Leksykon PWN*. Warszawa, 1972.
9. Moczarski M.: *Podstawy organizacji i techniki obsługiwaną pojazdów szynowych*. Warszawa, Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, 1986.
10. *Ogólna teoria systemów*. Red. naukowa G.J. Klira. Warszawa, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 1976.
11. Polska Norma PN-82 / N-04001. *Eksploatacja obiektów technicznych. Terminologia ogólna*.