

PODSTAWY EKSPLOATACJI MASZYN

Wykład 1

Wprowadzenie do problematyki eksploatacji

dr inż. Radosław Gościński

Akademia Techniczno-Artystyczna Nauk Stosowanych w Warszawie

Wykład opracowany na podstawie książki „Inżynieria eksploatacji maszyn” Bronisława Słowińskiego



Plan wykładów

W1

Wprowadzenie do
problematyki
eksploatacji

W2

Działanie ze
środkami
technicznymi

W3

Systemowe ujęcie
eksploatacji

W4

Utrzymanie ruchu
maszyn

W5

Trwałość i zużycie
maszyn

W6

Elementy
diagnostyki
maszyn

W7

Podstawy badań
eksploatacyjnych

W8

Elementy teorii
niezawodności

W9

Prognozowanie
niezawodności

W10

Metody poprawy
niezawodności

W11

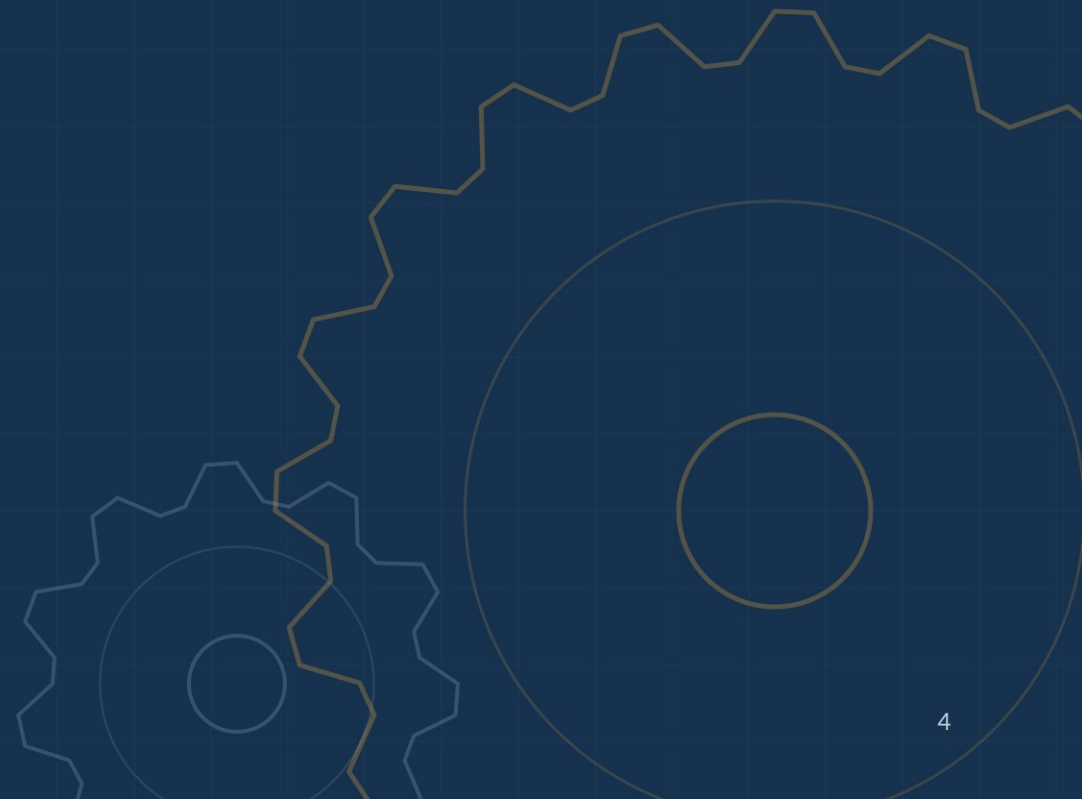
Procesy obsługi
technicznej

Dzisiaj: W1. Wprowadzenie do problematyki eksploatacji

01

Przemysłowy proces realizacji

Od potrzeby klienta, przez projekt i wytwarzanie, do eksploatacji



Działalność gospodarcza jako proces realizacji

Człowiek jest istotą społeczną – żyje i przejawia życiową aktywność wśród innych ludzi. Współdziałanie ludzi doprowadziło do powstania organizacji społecznych, a wśród nich takich, które prowadzą działalność gospodarczą. Działalność ta polega na **realizacji określonych procesów wytwarzania produktów lub świadczeniu usług i prowadzona jest w celach zarobkowych.**

Procesem realizacji określa się więc splot działań, których celem jest zaspokojenie czyichś potrzeb. **Każdy powtarzalny proces, w wyniku którego powstaje produkt na sprzedaż przy użyciu maszyn lub innych urządzeń oraz z podziałem pracy pomiędzy różnych uczestników, nazywa się przemysłowym procesem realizacji.**

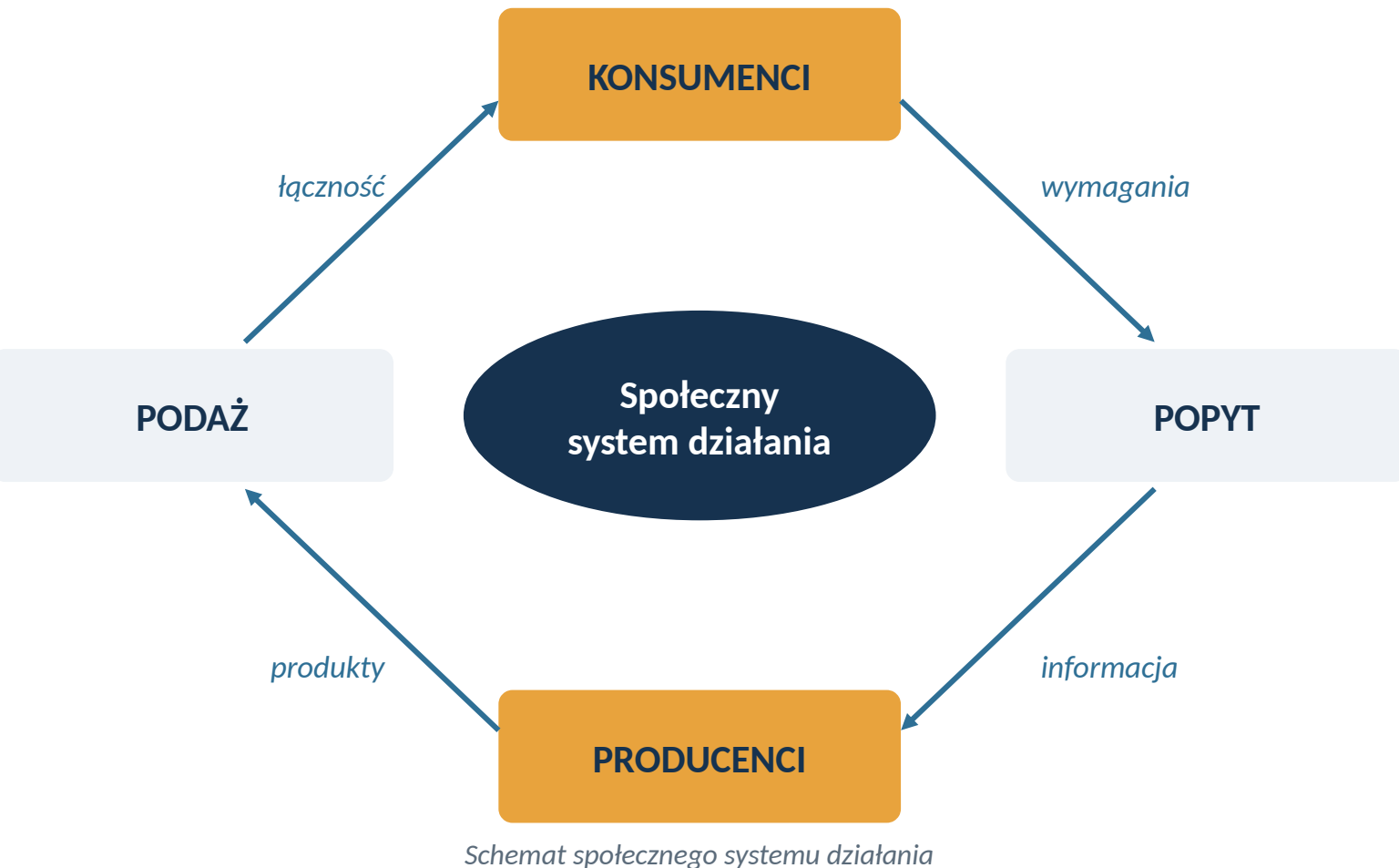
W ramach przemysłowych procesów realizacji najbardziej rozpowszechnione są procesy produkcyjne, które polegają na przetwarzaniu zasobów na użyteczne produkty. Produkcja ma charakter społeczny, bo ludzie współpracują ze sobą.



KLUCZOWA MYŚL

Przemysłowy proces realizacji to **powtarzalny proces**, w którym przy użyciu maszyn i z podziałem pracy powstaje **produkt na sprzedaż.**

Społeczny system działania



Główną siłą napędzającą rozwój procesów przemysłowych jest i będzie nadal branża produkcyjna. Jej domeną działania są procesy produkcyjne. Proces produkcyjny przebiega w środowisku systemu produkcyjnego, czyli przedsiębiorstwa.

Trzy cechy organiczne procesu przemysłowego

Niezależnie od rodzaju prowadzonej działalności, czy też wielkości przedsiębiorstwa, każdy proces przemysłowy opisują trzy cechy.



Podział pracy

Seria zadań lub czynności wykonywanych w podziale na wyodrębnione operacje i stanowiska pracy.



Wyposażenie stanowisk

Stanowiska pracy wyposażone są w maszyny lub inne urządzenia zwiększające wydajność.



Organizacja współpracy

Współpraca ludzi i maszyn jest odpowiednio zorganizowana w ramach procesu technologicznego.

Zintegrowane działanie trzech grup

Odbiorcą wyrobów jest, jako wiadomo, rynek tworzony przez konsumentów. W systemie gospodarki rynkowej jemu podporządkowany jest całokształt filozofii produkcji. Przemysłowy proces realizacji nie stanowi zatem celu sam w sobie, to środek wiodący do celu, jakim jest dostarczenie dobra lub usługi o oczekiwanej przez klienta wartości po akceptowanej cenie. Aby to nastąpiło, wymagane jest zintegrowane działanie trzech grup działań:



Marketingu

identyfikacja i rozpoznanie potrzeb klienta,



Projektowania

obmyślanie produktu o pożądanых cechach,



Wytwarzania

seria operacji materializujących koncepcje projektantów.

Przetwarzanie: sfera abstrakcji i sfera konkretna

Ideowo produkcja to proces materializacji energii, a nadawanie materii określonej, wymaganej formy, to przetwarzanie. „Przetwarzanie” to, w przemysłowym procesie realizacji, jest pojęciem szerszym i obejmuje dwie sfery: **abstrakcji (obmyślenia)** i **konkretna (wytwarzania)**.

Czynności sfery abstrakcji obejmują fazę analizowanie potrzeb, przewidywanie warunków eksploatacji i przyjęcie miar niezawodności oraz konceptowanie, czyli obmyślenie co „to” ma być. W wyniku tego działania powstaje utwór myślowy, w postaci pomysłu.

Czynności sfery konkretna związane są z zapisem pomysłu w postaci rysunku, przetworzeniem go w materialny wyrób oraz jego eksploatację.



KLUCZOWA MYŚL

Najpierw powstaje **utwór myślowy** (pomysł), potem **wytwór materialny** – a jego ostatnim etapem jest eksploatacja.

Dwie komplementarne sfery procesu realizacji

SFERA ABSTRAKCJI



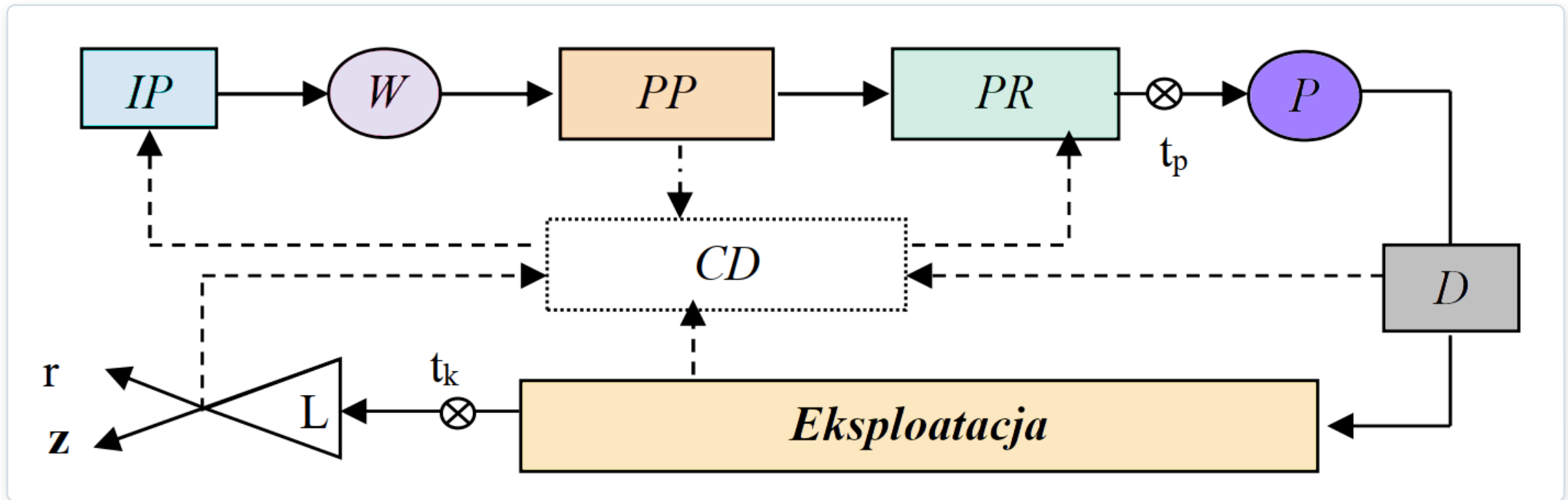
SFERA KONKRETU



Dwie komplementarne sfery przemysłowego procesu realizacji (porządek: od potrzeby do utworu oraz od projektu do eksploatacji)

Etapy cyklu życia produktu przemysłowego

Konkretyzacja tych dwóch sfer następuje w ramach cyklu życia wyrobu. Poszczególne etapy tego cyklu przedstawiono poniżej



Etapy cyklu życia produktu przemysłowego

Cykl życia wyrobu – od identyfikacji potrzeb do likwidacji

Proces rozpoczyna się od identyfikacji potrzeb (**IP**), której wynikiem jest zbiór wymagań (**W**), określający m.in. żadaną jakość wyrobów. Kierując się wymaganiami przystępuje się do przygotowania produkcji (**PP**), a następnie uruchomienie produkcji (**PR**). W pewnej chwili **tp** otrzymuje się produkt (**P**), który poprzez kanały dystrybucji (**D**) trafia do użytkownika w celu eksploatacji.

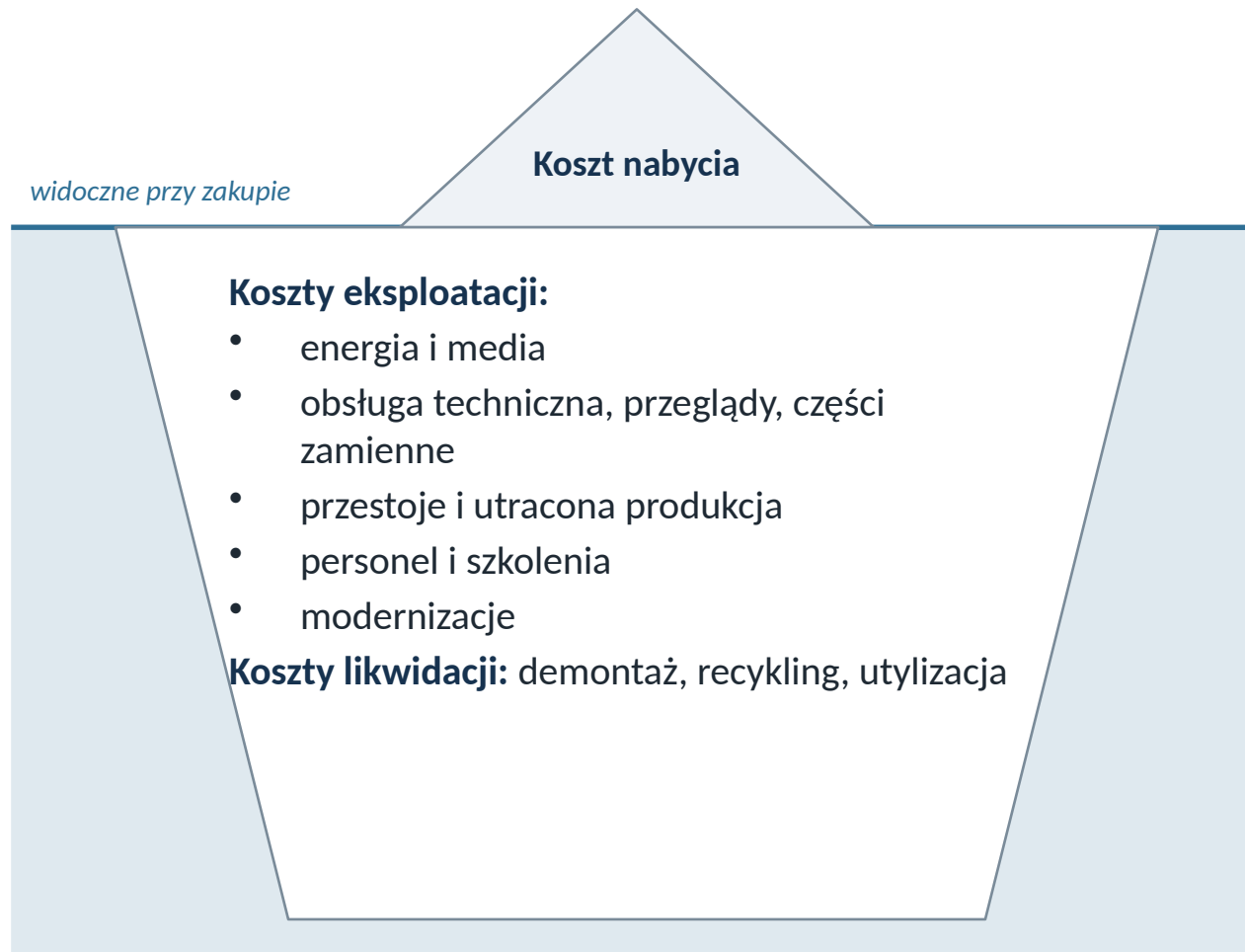
Okres eksploatacji, mimo że najdłuższy w całym cyklu życia wyrobu, kończy się w jakiejś chwili **tk**, po czym następuje likwidacja (**L**) tego wyrobu przez złomowanie (**z**) lub recykling (**r**). Informacje z poszczególnych etapów zbierane są w centrum decyzyjnym (**CD**), gdzie realizowane są procesy zarządcze i logistyczne. Każdy zatem obiekt techniczny jest wytwarzany po to, aby go eksploatować. Wyrób wprowadzony do eksploatacji i wypełniający swoje zadania zgodnie z założeniami staje się środkiem technicznym. Utrzymanie tych środków technicznych w ruchu jest zadaniem inżynierii eksploatacji maszyn.



KLUCZOWA MYŚL

Każdy obiekt techniczny wytwarza się po to, aby go **eksploatować** – faza eksploatacji jest najdłuższa w całym cyklu życia.

Koszt cyklu życia (LCC) – co kryje się pod powierzchnią



LCC (Life Cycle Cost) – suma wszystkich kosztów ponoszonych w całym cyklu życia obiektu: od koncepcji, przez nabycie i eksploatację, aż do likwidacji.

Cena zakupu jest zwykle tylko „wierzchołkiem góry lodowej” – dominującą część kosztów generuje **faza eksploatacji**.

Metodykę analiz LCC opisuje norma **IEC 60300-3-3**.

02

Istota i cechy eksploatacji

Czym jest eksploatacja i jakie obiekty obejmuje



Eksploatacja – pojęcie interdyscyplinarne

Eksploatacja jest pojęciem interdyscyplinarnym i zależnie od rodzaju wykonywanego zawodu może być różnie pojmowana, przykładowo wg:



Wg inżyniera

eksploatacja to użytkowanie (wraz z naprawami, konserwacją itp.) maszyn, urządzeń lub różnych innych systemów technicznych,



Wg ekonomisty

eksploatacja to wykorzystywanie złóż mineralnych, np. węgla, lub sposób gospodarowania środkami trwałymi w przedsiębiorstwie,



Wg polityka

eksploatacja to wykorzystywanie siły roboczej i wyzysk klasowy

Wspólny rdzeń znaczeniowy pojęcia eksploatacji

Zjawiska eksploatacyjne są elementem każdego ludzkiego działania. Jak wiemy, ostatecznym celem każdej działalności człowieka jest zmiana otaczającej go rzeczywistości w kierunku dla niego najkorzystniejszym, przy możliwie małym nakładzie pracy, stąd w tych ujęciach występuje wspólny rdzeń znaczeniowy, który wskazuje, że:



Działalność długotrwała

jest to długotrwała
działalność a nie
jednorazowe
przedsięwzięcie,



Długotrwałe korzyści

działalność ta ma umożliwić
uzyskiwanie długotrwałych
korzyści,



Środek, nie cel

eksploatacja nie jest celem
działalności, ale ma
umożliwić osiągnięcie celu.

Definicje wg normy PN-82/N-04001

Całościowe ujmowanie eksploatacji rozwija również środowisko naukowe w Polsce, co znalazło potwierdzenie w dotychczasowym dorobku tego środowiska, oraz normie terminologicznej PN-82/N-04001, z której wynika, że:



Eksploatacja

to zespół celowych działań organizacyjno-technicznych i ekonomicznych ludzi z obiektem mechanicznym oraz wzajemne relacje występujące pomiędzy nim od chwili przejęcia do użytkowania zgodnie z przeznaczeniem, aż do likwidacji,



Zarządzanie eksploatacją

to działanie obejmujące planowanie i podejmowanie decyzji, organizowanie, kierowanie i kontrolowanie, skierowane na zasoby systemu eksploatacji (ludzkie, finansowe, rzeczowe i informacyjne), wykonywane z zamiarem osiągnięcia: racjonalnego wykorzystania obiektów mechanicznych i utrzymania ich w stanie zdolności funkcjonalnej.

Terminologia dziś – aktualne normy

Norma PN-82/N-04001 ma dziś przede wszystkim znaczenie historyczne i dydaktyczne. W praktyce przemysłowej terminologię porządkują obecnie normy europejskie i międzynarodowe:



PN-EN 13306:2018

Obsługa (maintenance) – połączenie wszystkich działań technicznych, administracyjnych i zarządczych w cyklu życia obiektu, mających na celu utrzymanie go w stanie lub przywrócenie do stanu, w którym może wypełniać wymaganą funkcję.



ISO 55000:2024

Zarządzanie aktywami (asset management) – skoordynowane działania organizacji służące realizacji wartości z aktywów, w tym z parku maszynowego, w całym cyklu ich życia.



IEC 60050-192:2015

Słownik **niezawodności (dependability)**: gotowość, nieuszkodzalność, obsługiwalność, zapewnienie środków obsługi – pojęcia wykorzystywane w kolejnych wykładach.

Maszyna i obiekt techniczny

Inżynierię eksploatacji należy utożsamiać zatem z poglądem, że jest to ogół czynności związanych z racjonalnym wykorzystaniem maszyn lub obiektów technicznych, przy czym:



Maszyna

To sztuczne urządzenie przeznaczone do częściowego lub całkowitego zastąpienia funkcji energetycznych, fizjologicznych lub intelektualnych człowieka,



Obiekt techniczny

Dowolne urządzenie, charakteryzujące się tym, że:

- ma określone przeznaczenie (zbiór zastosowań),
- ulega uszkodzeniom i wymaga obsługiwań,
- może być ulepszane,
- może szkodzić człowiekowi i środowisku,
- przechodzi w swym istnieniu przez różne fazy (etapy życia).

Dwa aspekty eksploatacji maszyn

Eksploatacja maszyn obejmuje dwa różne aspekty:



Działanie

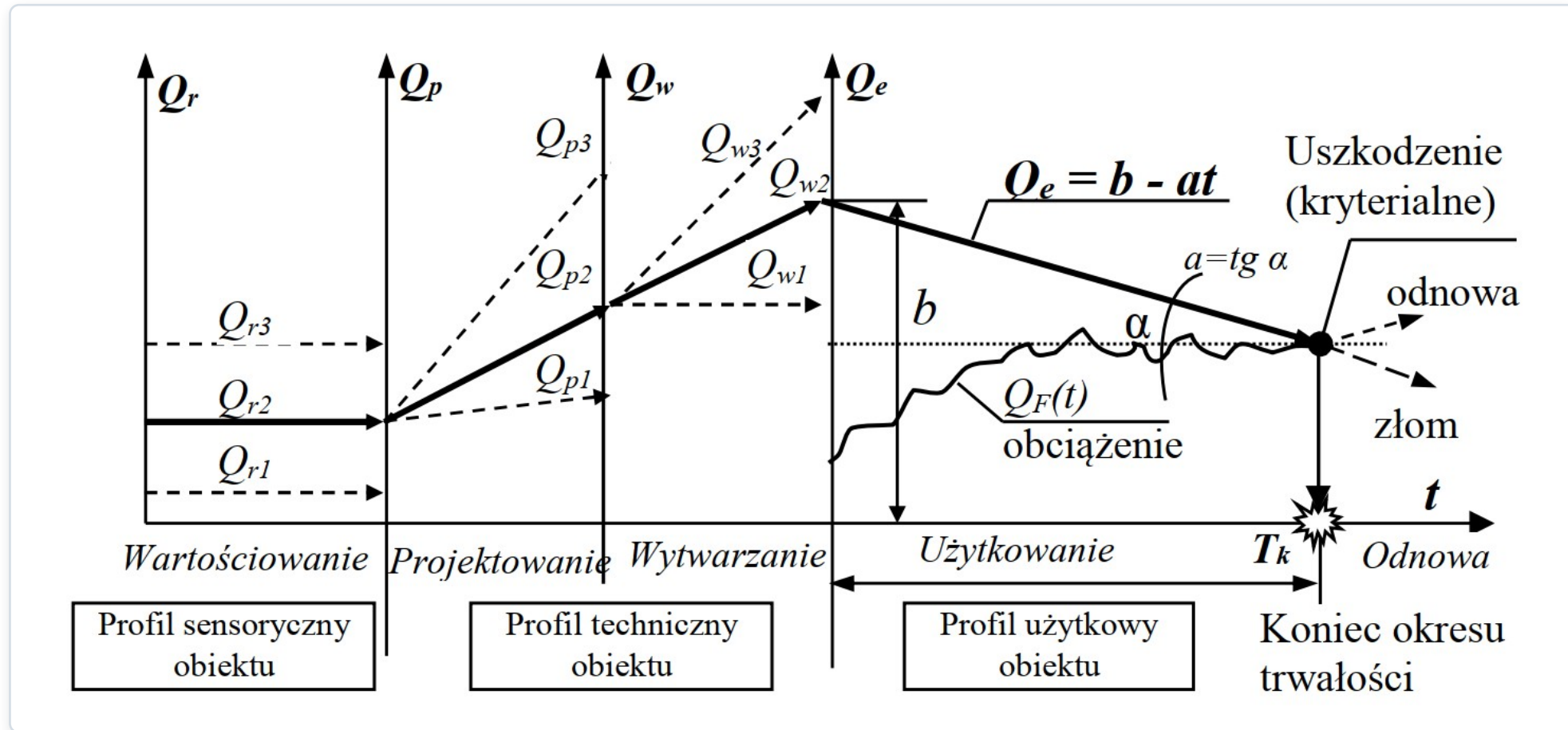
znamiennie tym, że występuje ona w dwu rolach: jako podmiot działania (wówczas jest użytkowana) i jako przedmiot działania (wówczas jest obsługiwana),



Zbiór stanów

pogrupowanych w fazy jej istnienia i określanych ogólnie jako stany jakościowe: jakości rynkowej Q_r , projektowej Q_p , wytwarzania Q_w i eksploatacyjnej Q_e

Zmiana stanów jakościowych maszyny



Schemat zmiany stanów jakościowych maszyny

Trwałość maszyny jako zmienna losowa

Przejście maszyny na kolejny etap realizacyjny transformuje jej cechy jakościowe. Na każdym z tych etapów jej życia występuje oddziaływanie czynników losowych, które powodują zróżnicowanie tych cech, np. Q_{p1} , Q_{p2} , Q_{p2} , ... Q_{pn} . Stąd linia opisująca zmiany stanów (stan – to wszystko to, co się dzieje z obiektem w danej chwili czasu t) jest zmienną losową, np.: od Q_{p1} do Q_{pn} . Efektem tego jest, że okres trwałości maszyny T_k jest także zmienną losową i może być jedynie wyznaczony w sposób przybliżony, opisując przebieg zużycia (wynikającego z obciążeń Q_F , które też są zmienne) modelem liniowym o postaci:

MODEL LINIOWY ZUŻYCIA

$$Q_e = b - a \cdot t$$

gdzie:

b – stała zależna od jakości technicznej ($Q_p + Q_w$),

a – stała określająca intensywność procesów zużycia w danej maszynie.

03

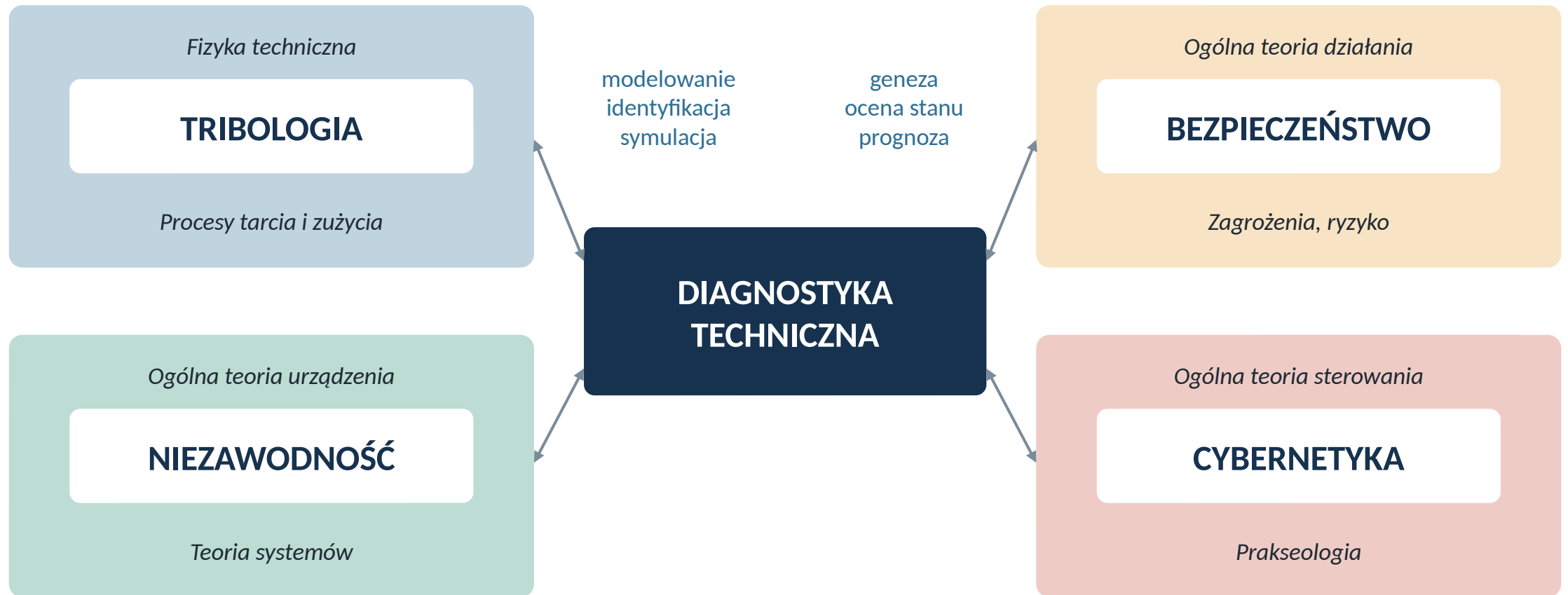
Cele i struktura nauk o eksploatacji

Dziedziny wiedzy, na których opiera się inżynieria eksploatacji



Główne dziedziny wiedzy eksploatacyjnej

Główne dziedziny wiedzy eksploatacyjnej obrazuje poniższy schemat



◀ Nauki podstawowe

Schemat powiązania nauk eksploatacyjnych z naukami podstawowymi

Nauki eksploatacyjne ▶

Nauki eksploatacyjne w budowie maszyn

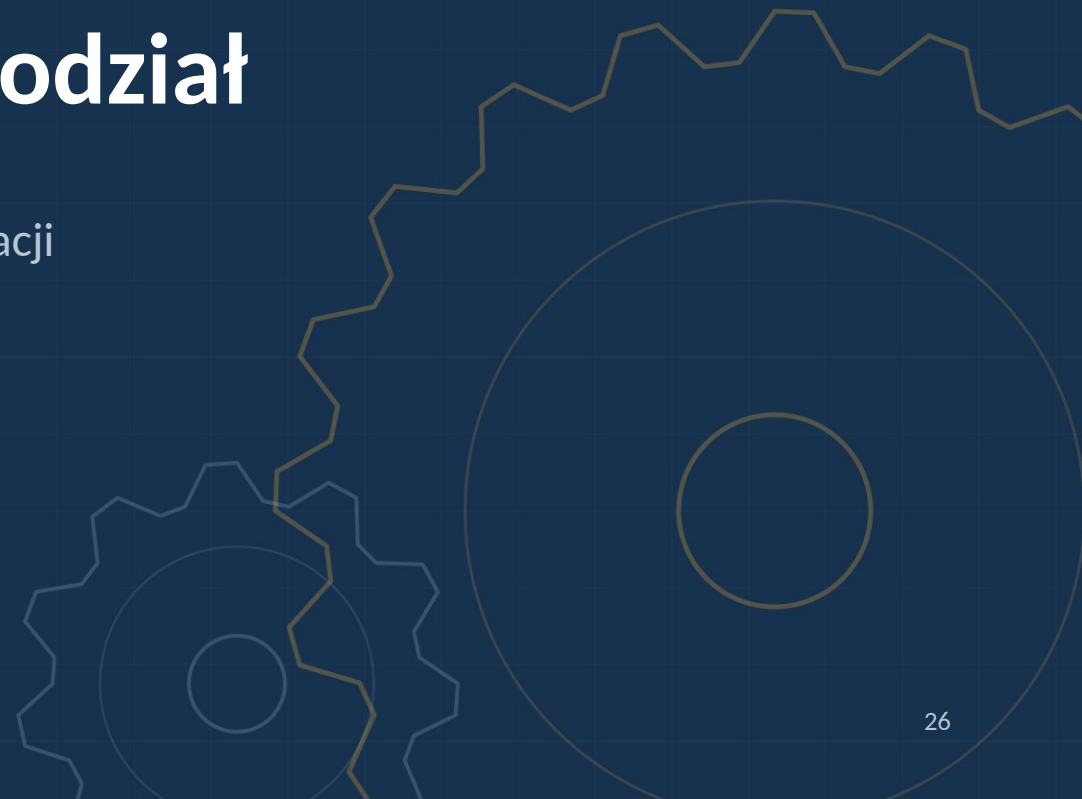
Wśród nauk eksploatacyjnych, stosowanych w budowie maszyn, wyróżnia się dwie komplementarne grupy: podstawową i stosowaną. Każda z tych grup obejmuje różne zestawy wiedzy (teorie)



04

Problemy eksploatacyjne i ich podział

Jak klasyfikować i rozwiązywać problemy pojawiające się w eksploatacji



Czym jest problem eksploatacyjny?

Podczas użytkowania maszyn i innych urządzeń technicznych występują różne nieprzewidziane zdarzenia, które ogólnie nazywamy **problemami**. **Problem** jest to zadanie, którego nie możemy rozwiązać za pomocą znanych wzorców (posiadanej wiedzy).

Należy tu zaznaczyć, że tylko niektóre zdarzenia (na pewno nie wszystkie, które zachodzą w eksploatacji) mogą stwarzać problemy. Np. uszkodzenie maszyny jest niewątpliwie problemem, ale jej uruchomienie nie powinno być problemem chyba, że brakuje zasilania, bądź użytkownik nie umie jej uruchomić, zaś w przypadku silnika spalinowego jego uruchomienie może być niemożliwe, np. jeżeli akumulator ulegnie rozładowaniu.

Punktem wyjścia do znalezienia rozwiązania jest zwykle dobre umiejscowienie (**klasyfikacja problemu**). Przykład kryteriów podziału i klasyfikację problemów eksploatacyjnych ze względu na te kryteria podano w tablicy.



KLUCZOWA MYŚL

Problem to zadanie, którego **nie da się rozwiązać** za pomocą znanych wzorców. Pierwszym krokiem do rozwiązania jest jego **klasyfikacja**.

Podział problematyki eksploatacyjnej

Klasyfikacja problemu – przykładowe kryteria podziału i odpowiadające im grupy problemów eksploatacyjnych:

KRYTERIUM	PROBLEMY EKSPLOATACYJNE
Funkcja urządzenia	urządzenia I rodzaju (podstawowe) · urządzenia II rodzaju (pomocnicze)
Złożoność urządzenia	urządzenia proste (np. narzędzia) · urządzenia złożone (np. obrabiarki, pojazdy itp.)
Liczba urządzeń	urządzenia pojedyncze · grupy urządzeń
Miejsce człowieka w działaniu z urządzeniem	działania bezpośrednie · działania pośrednie (problemy kierownicze)
Rola urządzenia eksploatowanego	urządzenia użytkowe · urządzenia obsługiwane
Instytucja zainteresowana urządzeniem	instytucje badawcze (projektanci urządzeń i ich systemów) · instytucje szkoleniowe (nauczyciele kadr eksploatacyjnych) · instytucje realizujące (producenci i służby ruchu)
Rodzaj podsystemu eksploatacji	system zaopatrzenia · system remontu · system obsługi bieżącej · system zbierania i przetwarzania informacji · system użytkowania

Klasyfikacja problemów i sposoby ich badania

Problemy można też klasyfikować wg sposobu ich rozpoznawania.

TECHNICZNE

1 Kształtowanie i rozpoznawanie cech eksploatacyjnych
Analiza uszkodzeń

2 Zużywanie i odtwarzanie zasobów funkcjonalnych
Analiza strat

3 Dobór technologii i technicznych środków eksploatacji
Analiza bezpieczeństwa

ORGANIZACYJNE

4 Organizowanie i poprawianie struktur eksploatacyjnych
Analiza relacji

5 Harmonizowanie obowiązków, uprawnień i odpowiedzialności
Analiza konfliktów

6 Określanie zakresu i zasad obiegu informacji eksploatacyjnej
Analiza zdarzeń

ZARZĄDCZE

7 Identyfikowanie obiektu jako przedmiotu eksploatacji
Analiza zjawisk

8 Dobór wskaźników i charakterystyk eksploatacyjnych
Analiza zmienności

9 Oceny i decyzje eksploatacyjne
Analiza wartości

10 Rozpoznawanie ryzyka i kosztów eksploatacji – *Analiza niezawodności*

Inżynierski podział problemów

Z punktu widzenia inżynierskiego ważny jest podział problemów na



Dewiacyjne

w systemie pojawia się defekt, a jego przyczyna jest nieznana,



Optymalizacyjne

pojawia się konieczność szukania ekstremum jakiejś funkcji,



Innowacyjne

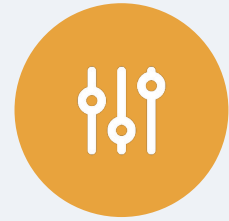
występuje potrzeba dokonania przebudowy systemu.

Problemy optymalizacji właściwości eksploatacyjnych

Kryteriami optymalizacji (bądź też warunkami ograniczającymi) w przypadku eksploatacyjnych problemów utrzymania ruchu mogą być, np.: koszt, czas, mobilność, ciągłość zabezpieczenia realizacji stawianych zadań itp. W zakresie tej problematyki można wyróżnić:

problemy optymalizacji właściwości eksploatacyjnych urządzenia; jako przykłady konkretnych problemów można tu wymienić:

- jak ustalać zakresy prac obsługowych i normy międzyobsługowe?,
- jak wdrażać nowe urządzenie do eksploatacji?,
- kiedy wycofać urządzenie z eksploatacji?,
- jakich przedsięwzięć wymaga przedłużenie eksploatacyjnej żywotności urządzenia?,
- jakie są w danych warunkach optymalne intensywności użytkowania urządzenia?



KLUCZOWA MYŚL

Typowe kryteria optymalizacji: **koszt, czas, mobilność, ciągłość** realizacji zadań.

Problemy optymalizacji organizacji systemu eksploatacji

problemy optymalizacji organizacji systemu eksploatacji; przykładowo:

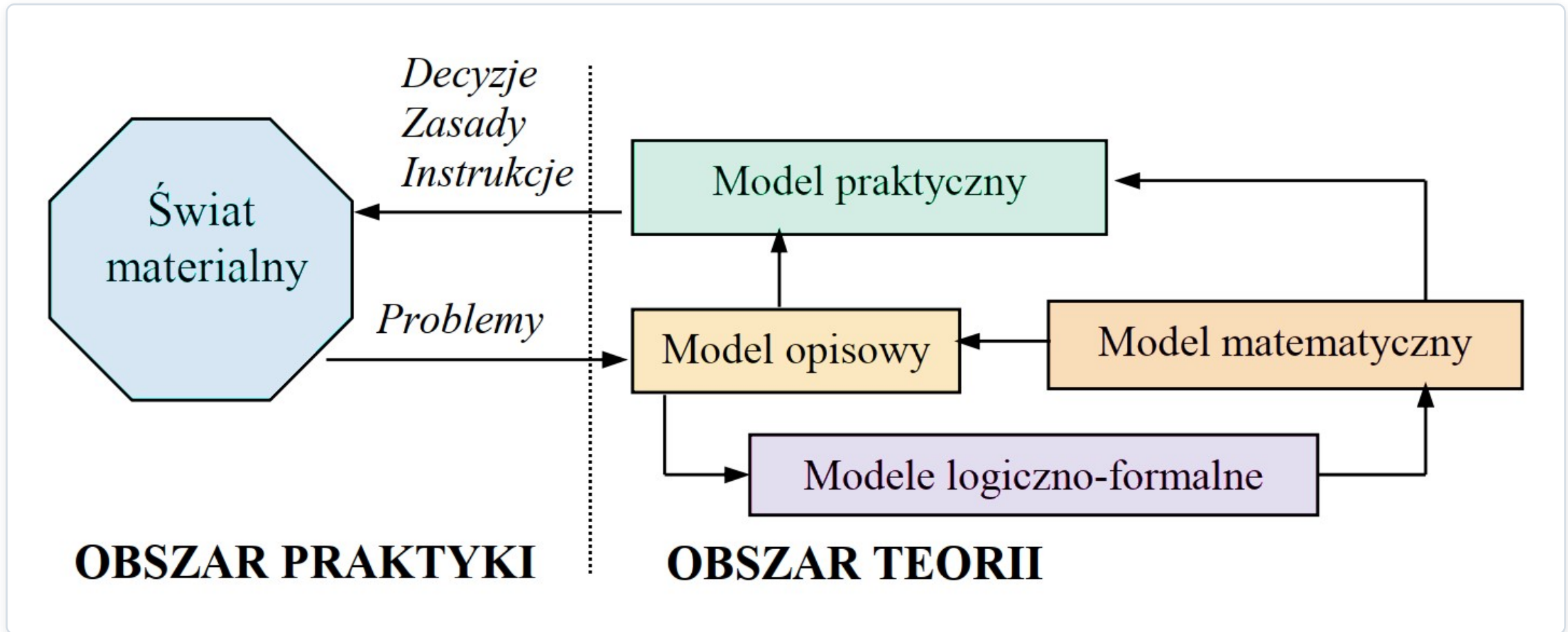
- jaka jest wielkość jednostek zabezpieczających eksploatację?,
- jaka powinna być struktura terytorialna systemu eksploatacji?,
- jak organizować przechowywanie i transport urządzeń w systemie eksploatacji?,
- jakie powinno być wyposażenie techniczne jednostek obsługi?



KLUCZOWA MYŚL

Istotą rozwiązywania problemów jest znalezienie **uogólnionego wzorca postępowania** słusznego dla całej klasy problemów.

Modelowanie w rozwiązywaniu problemów eksploatacyjnych



Wykorzystywanie modelowania do rozwiązywania problemów eksploatacyjnych

Eksploatacja maszyn dziś – kierunki rozwoju



Czujniki i IIoT

Ciągłe zbieranie danych o stanie maszyn (drgania, temperatura, prąd) – podstawa diagnostyki (W6).



Systemy CMMS / EAM

Cyfrowa ewidencja obiektów, zleceń, awarii i części – zarządzanie utrzymaniem ruchu (W4).



Analityka predykcyjna

Statystyka i uczenie maszynowe do prognozowania uszkodzeń i pozostałego czasu życia – RUL (W8–W9).



Cyfrowy bliźniak

Wirtualny model obiektu zasilany danymi z eksploatacji – symulacja skutków decyzji.



Gospodarka o obiegu zamkniętym

Regeneracja, remanufacturing, recykling – dłuższe życie wyrobów, mniej odpadów.



Bezpieczeństwo i cyberbezpieczeństwo

Nowe wymagania dla maszyn połączonych z siecią (Rozporządzenie UE 2023/1230 – W2).

Pytania kontrolne



1. Zdefiniuj przemysłowy proces realizacji i wymień jego trzy cechy organiczne.
2. Omów etapy cyklu życia produktu przemysłowego. Dlaczego faza eksploatacji jest kluczowa?
3. Podaj definicję eksploatacji i zarządzania eksploatacją (PN-82/N-04001) oraz definicję obsługi wg PN-EN 13306.
4. Czym różni się maszyna od obiektu technicznego? Wymień cechy obiektu technicznego.
5. Wyjaśnij model $Q_e = b - at$. Co oznaczają stałe a i b ?
6. Scharakteryzuj problemy dewiacyjne, optymalizacyjne i innowacyjne – podaj przykłady.

Dziękuję za uwagę

Następny wykład: W2. Działania ze środkiem technicznym

dr inż. Radosław Gościński

