

Article citation info:

IDZIASZEK Z. Method of analysis of productivity with an innovative model of the working capability of the object in the body (C) for the new resource allocation on inherent and non-inherent. *Eksploracja i Niezawodność – Maintenance and Reliability* 2018; 20 (4):671–681, <http://dx.doi.org/10.17531/ein.2018.4.18>.

Zdzisław IDZIASZEK

METODA ANALIZY PRODUKTYWNOŚCI Z INNOWACYJNYM MODELEM POTENCJAŁU ROBOCZEGO OBIEKTU W CIELE C DLA NOWEGO PODZIAŁU ZASOBÓW NA INHERENTNE I NIEINHERENTNE

Celem artykułu jest opracowanie nowej metody analizy, szacowania i optymalnego doboru ilościowego zasobów (wg nowego podziału na inherentne i nieinherentne) w planowaniu efektu produktowego w określonych warunkach środowiskowych. Realizacja celu wymagała iteracyjnego podejścia przy budowie modelu matematycznego i analizie możliwych jego zastosowań praktycznych oraz poszukiwaniu sposobu ilustracji tych możliwości. Jako metoda badawcza została zastosowana metoda intuicyjna, pozwalająca wykorzystać doświadczenie eksperckie z realizowanych analiz możliwości pełnego wykorzystania trwałości obiektów i dostosowywania do tego ich procesów eksploatacji. Wyniki zostały zaprezentowane w postaci modeli matematycznych w zbiorze liczb zespolonych i graficznie na płaszczyźnie liczb zespolonych. Metoda umożliwia szacowanie zmian inherentnych i nieinherentnych zasobów obiektów (maszyn, systemów, organizacji) na ich produktywność (P_o). W metodzie wykorzystano autorski, innowacyjny, model potencjału roboczego obiektu (P_rO) w postaci liczby zespolonej wiążącej liczbowo inherentne (Z_iO) i nieinherentne ($Z_{ni}O$) zasoby obiektu. Wyznaczanie wartości P_o zaproponowano z modułu P_rO . Wartości Z_iO i $Z_{ni}O$ przyjęto jako dwa niezależne od siebie zasoby stanowiące całość zasobów w realizacji danej produkcji lub usługi. Metodę oceny P_o zilustrowano dla zasobów obiektu opisanych modelem $R_o = |P_rO = f(Z_pO, Z_oO)|$, gdzie Z_iO opisano zasobem pracy obiektu (Z_pO), $Z_{ni}O$ opisano wyodrębnionym z eksploatacji zasobem obsługi (Z_oO) a zdolności wytwórcze obiektu P_o opisano za pomocą wskaźnika nazwanego resem produkcyjnym obiektu (R_o). Zilustrowane na płaszczyźnie zespolonej wyniki analiz i uzyskane wyniki z obliczeń P_rO i R_o , dla umownych wartości Z_pO i Z_oO , wskazują na duże możliwości aplikacyjne opracowanej metody. Metoda umożliwia bardzo czytelny opis zmian produktywności obiektów\procesów\organizacji, w kontekście doboru struktury zasobów wytwórczych, dzięki zastosowaniu praktyczniejszego w modelowaniu matematycznym, sposobowi podziału zasobów wpływającemu na te zmiany. Metodę można adaptować na potrzeby optymalizacji kosztów produkcji\usług poprzez zmiany projektowe obiektu technicznego i/lub zmiany projektowe procesu jego eksploatacji. Opracowana metoda wnosi nowe możliwości teoretyczne oraz aplikacyjne w powiązaniu nauk technicznych i ekonomicznych.

Słowa kluczowe: produktywność, trwałość, niezawodność, eksploatacja, utrzymanie w ruchu maszyn, resurs, zasoby wytwórcze, P_rO , Z_iO , $Z_{ni}O$

1. Wprowadzenie

Nowe wyzwania dla organizacji wytwórczych (duża konkurencyjność i złożoność procesów wytwórczych) wymagają nowoczesnych zmian w zarządzaniu środowiskiem pracy [15]. Niezbędne są do tego nowatorskie metody zbierania, porządkowania, analizy i przetwarzania danych. Liczy się tu przede wszystkim czas reakcji na pojawiające się zmiany uwarunkowań wewnętrznych (fluktuacja jakości obsługi, dostosowania do starzejącego się parku maszynowego), jak i zewnętrznych (zmiany oczekiwań konsumenckich, warunków norm

środowiskowych) [10, 35]. Wpisuje się w to światowa tendencja do poprawy konkurencyjności poprzez wzrost produktywności (P_o) [17,21]. To z kolei generuje zapotrzebowanie na nowoczesne metody\modele umożliwiające optymalizację dystrybucji posiadanych zasobów (materialnych, ludzkich, finansowych, informacyjnych, zarządczych) celem ich efektywnego wykorzystania [17, 19, 26, 30]. Jest wiele publikacji poświęconych pomiarom P_o oraz opisującym wskaźniki P_o w ocenie procesów produkcyjnych, które omówiono szczegółowo w pracy [17]. Dużo opracowań literaturowych jest również na temat sposobów poprawy P_o jak np. stosowania filozofii LP [22, 29, 32]. Istnieje wiele publikacji w których porusza się problemy pełnego [18, 22] i bezpiecznego [3, 6, 7] wykorzystania zasobów technicznych oraz poprawy organizacji obsługi [3, 4, 11, 12, 23], a także optymalizacji dystrybucji zasobów [27]. W zakresie utrzymania maszyn w ruchu rozwinęło się wiele sposobów kontroli procesu produkcyjnego i optymalizacji wykorzystywanych w nim zasobów materialnych, ludzkich i finansowych np. TPM, 5S itp. [24], czy wskaźniki OEE [1, 14]. Mają one swoje zastosowanie w monitorowaniu efektywności wykorzystania konkretnego systemu produkcyjnego, lecz nie stanowią tak ogólnego wskaźnika jak produktywność [17].

Wraz ze wzrostem złożoności i doskonałości technicznej obiektów w utrzymaniu właściwego P_o coraz większe znaczenie mają zasoby ludzkie. Utrzymanie zaplanowanej jakości realizacji prac obsługowych oraz czynności realizowanych przez operatorów [4, 7, 9, 18, 23, 25], wymaga nie tylko odpowiedniego zarządzania tymi zasobami, ale także dla posiadanych zasobów dostosowania projektowego obiektów technicznych. Zasoby ludzkie utożsamiane są w głównej mierze z nieinherentnymi zasobami procesu produkcyjnego. W tym znaczeniu optimum produktywności można uzyskać tylko wtedy, gdy zasoby obiektowe (inherentne) będą odpowiednio dostosowane do istniejących w danym środowisku zasobów ludzkich (nieinherentnych).

Można mierzyć wpływ zasobów nieinherentnych na wartość końcowej produkcji, jednak ważniejsze jest, jak optymalizować ich dobór w kontekście posiadanych zasobów inherentnych do uzyskania optimum wskaźnika P_o lub odwrotnie, jak do zasobów ludzkich (środowiskowych, eksploatacyjnych) dobrać zasoby obiektowe.

Bazując na własnej wiedzy eksperckiej i na wynikach dokonanej analizy literatury oraz wykorzystując metodę intuicyjną uznano, że do analizy wskaźnika P_o zasadnym będzie dokonanie podziału zasobów produkcyjnych obiektu/organizacji na inherentne zasoby produkcyjne (związane z technicznymi, technologicznymi, niezawodnościowymi i trwałościowymi możliwościami obiektów) i nieinherentne zasoby produkcyjne (wynikające głównie z decyzji ludzkich takich jak polityka rentowności, organizacja pracy, strategie eksploatacji, działania projakościowe oraz dobór warunków środowiskowych tj. istniejący potencjał ludzki, szkoleniowy, naukowy, kulturowy itp.). Wstępne omówienie tego problemu zostało zarysowane przez autora w pracy [11]. Stąd wywodzi się pomysł powiązania w jednym modelu matematycznym produktywności (P_o) wszystkich zasobów [1, 8, 14, 17, 23], przy zaproponowanym podziale na inherentne i nieinherentne [11], potrzebnych do uzyskania efektu produkcyjnego lub usługowego w postaci liczby/ilości produktu.

W literaturze światowej i krajowej autorowi nieznany jest, dla takiego podziału zasobów (w procesie eksploatacji/utrzymania maszyn w ruchu obiektu/organizacji) model matematyczny P_o . Wspomina się tylko (we wskazanych wcześniej publikacjach), że ich właściwy dobór oraz zachowanie założonej jakości determinują efekt P_o . W publikacjach tych, zasoby inherentne i nieinherentne zwykle analizuje się oddzielnie lub w ogóle nie stosuje się tak jednoznacznego podziału. Istotnym jest, że w proponowanej metodzie oceny wpływu grup zasobów (inherentnych i nieinherentnych – traktowanych jako niezależne np. kosztowo względem siebie) na wartość P_o obiektu uwzględnia się, w jednym modelu matematycznym, całość zasobów dla danego typu produkcji (usługi).

Zaproponowana w artykule metoda wpisuje się w budowę teorii opisującej podejście zasobowe w ocenie P_o obiektu/organizacji, która zastępuje zarządzanie tradycyjne, w którym dominowało podejście ewolucyjne. Przede wszystkim zaproponowana w tej pracy metoda umożliwia analizę i dobór optymalnego przypisania zasobów inherentnych do zasobów nieinherentnych lub na odwrót (zależy co łatwiej dopasować) by uzyskać optymalną wartość P_o tj. wskaźnika zysku z wyprodukowanych produktów w stosunku do zainwestowanych w produkcję środków finansowych. Oznacza to, że trzeba wiedzieć, w które zasoby i ile należy przeznaczyć środków finansowych by uzyskać optymalną produktywność (P_o).

W literaturze angielskiej brak jednoznacznego odniesienia niektórych terminów i symboli używanych w literaturze polskiej a niezbędnych do zrozumienia modeli opisanych w tym artykule. Dlatego w niniejszym artykule przedstawiono zdefiniowanie zastosowanych czternastu istotnych znaczeń słów oraz symboli. Pierwszym z nich jest P_o - produktywność obiektu technicznego, procesu produkcyjnego, organizacji produkcyjnej lub organizacji usługowej. Drugim jest Z_iO - inherentne zasoby techniczne obiektu (procesu produkcyjnego lub szerzej organizacji produkcyjnej). Trzecim jest $Z_{ni}O$ - nieinherentne zasoby techniczne obiektu (procesu produkcyjnego lub szerzej organizacji produkcyjnej). Czwartym jest P_rO - potencjał roboczy obiektu (procesu produkcyjnego lub szerzej organizacji produkcyjnej) wynikający z posiadanych zasobów inherentnych i nieinherentnych. Piątym jest *obiekt* - obiekt techniczny lub proces produkcyjny lub organizacja produkcyjna (urządzenia i maszyny, zakład produkcyjny, linia montażowa, przemysłowe organizacje itp.); wszystko to, co produkuje wyroby\produkty lub produkty usługowe. Szóstym jest pojęcie *eksploatacja* [3, 4, 11] – (brak odnośnika w literaturze angielskojęzycznej w stosunku do obiektów technicznych): termin ten zawiera naukowe metody (metodyki, wytyczne, strategie) opracowywania i doboru procesów obsługi oraz użytkowania obiektów w danym środowisku w celu umożliwienia racjonalnego sposobu wykorzystania posiadanego (lub określenie wymaganego) potencjału technicznego obiektu (procesu produkcji lub organizacji produkcyjnej) oraz optymalizacji niezbędnych zasobów ludzkich dla przyjętych kryteriów np. produktywności, wydajności, trwałości, niezawodności, bezpieczeństwa, itp. Siódmym jest *eksploatacja obiektu* – pojęcie to definiuje nam wszystkie zaplanowane i przyjęte przez producenta (lub użytkownika\właściciela obiektów) czynności realizowane na obiekcie (obsługowe, użytkowe) dla przyjętych kryteriów, norm użycia oraz zastosowanej strategii obsługowej takie jak: konserwacja, diagnostyka, kontrola i szkolenie personelu obsługującego i operatorów, zarządzanie ciągłą zdolnością do produkcji, prognozowanie trwałości i niezawodności procesu itd. Ósmym jest R - (w Polsce - resurs [3, 4, 11]): zatwierdzony limit czasu pracy (lub zatwierdzona liczba cykli pracy) obiektu technicznego (lub liczba wytworzonych produktów, usług, czas do wymian profilaktycznych itd.) gwarantujący założony wskaźnik bezpieczeństwa i efektywności działania obiektu (lub procesu produkcyjnego czy organizacji produkcyjnej). Dziewiąty to R_o – resurs produktywności obiektu - opisuje szacowaną zdolność produktywności obiektu technicznego (lub zdolności produkcyjnej zakładu produkcyjnego czy też produktywność organizacji produkcyjnej lub usługowej). Dziesiątym jest Z_pO – zasób pracy obiektu (wynikający z posiadanych inherentnych zasobów - Z_iO). Jedenastym jest Z_oO - doskonałość obsługowa obiektu (wynikająca z nieinherentnych zasobów - $Z_{ni}O$). Dwunastym jest uZ_pO - wartość Z_pO dla przyjętych jednostek umownych – u . Trzynastym jest uZ_oO - wartość Z_oO dla przyjętych jednostek umownych – u . Czternastym jest $j.u.$ - umowne jednostki wartości zasobów (np. tysiące złotych): przyjęte w zależności od typu zasobów zakwalifikowanych do procesu oszacowania produktywności i sposobu ich opisu.

1.1. Podział zasobów stosowanych w P_o

Na podstawie przeglądu literatury stwierdzono, że na najwyższym poziomie ogólności podział zasobów (potrzebnych do uzyskania P_o) został dokonany w pracy [9]. Są to zasoby

ludzkie (umiejętności, wiedza, zdolności oraz predyspozycje wszystkich osób zatrudnionych w przedsiębiorstwie), finansowe (kapitał finansowy, który organizacja wykorzystuje do finansowania działań zarówno bieżących, jak i długoterminowych), rzeczowe (w skład, których wchodzi między innymi surowce, półprodukty, pomieszczenia biurowe i produkcyjne oraz wszelkiego rodzaju sprzęt) oraz informacyjne (wszelkiego rodzaju użyteczne dane potrzebne do skutecznego podejmowania decyzji.).

Analizując możliwości powiązania tych zasobów na potrzeby optymalizacji P_o napotkano na trudności wynikające z różnorodności sposobów opisu matematycznego tych zasobów. W zbiorze liczb rzeczywistych nie ma możliwości prostego powiązania tych typów zasobów w jeden model matematyczny. Nie mają one bowiem wspólnej przestrzeni matematycznej, w której ich wskaźniki mogłyby być opisane jedną zależnością matematyczną.

Uznano, że na potrzeby postawionego celu optymalizacji zasobów, wymagany jest ogólniejszy podział zasobów. Zaproponowano zatem podział zasobów (niezbędnych do realizacji przez obiekt P_o) nie na cztery [9], a na dwie niezależne od siebie (jednak stanowiące całość zasobów w danej produkcji i mogące być traktowane jako niezależne – w matematycznym i technicznym znaczeniu) grupy zasobów tj. Z_iO (inherentne) i $Z_{ni}O$ (nieinherentne) zasoby obiektu, jak zaproponowano to w pracy [11]. W stosunku do [11] w tym artykule opracowano ogólniejszy model matematyczny P_o , w ramach opracowanej metody analizy produktywności obiektu, który może dotyczyć szerszej klasy problemów wytwórczości tj. dla dowolnych produktów (maszyn, usług, paliw, finansowych, ludzkich np. szkolenia specjalistów itp.) umożliwiających zaspokojenie wszelkich potrzeb ludzkich.

Do zasobów inherentnych zaliczono wszystkie czynniki materialne związane ze stroną techniczną i technologiczną środków produkcji (maszyny, linie technologiczne, oprogramowanie, bazy danych i przypisane na ich wytworzenie zasoby finansowe), a do nieinherentnych wszystkie czynniki związane ze sposobem wykorzystania tych czynników inherentnych (zasoby ludzkie, procedury organizacyjne, procedury utrzymania w ruchu produkcji i przypisane na ich utrzymanie zasoby finansowe).

Celem głównym takiego ujęcia zasobów jest uzyskanie modelu umożliwiającego taką ich optymalizację, by uzyskać nie jak największy efekt produkcyjny, ale optymalny efekt produkcyjny odniesiony do poniesionych kosztów w danym środowisku wytwórczym. Jednym z celów modelowania jest minimalizacja planowanych kosztów na dany typ produkcji poprzez racjonalny dobór wielkości zasobów inherentnych i nieinherentnych niezbędnych w produkcji.

1.2. Charakterystyka inherentnych (Z_iO) i nieinherentnych ($Z_{ni}O$) zasobów obiektu

Wraz z rozwojem teorii niezawodności [22, 25, 28, 33], teorii utrzymania obiektów w ruchu [6, 13, 19], teorii eksploatacji [2, 3, 4, 12, 22, 25, 33, 34] oraz rozwojem teorii odnowy, coraz częściej zaczęto używać pojęć w postaci: zapasu trwałości [3, 12], zapasu eksploatacji [4], zasobu pracy [11], potencjału produkcyjnego [11, 123], zasobu techniki [3], zasobu informacyjnego [23]. W normie PN-EN ISO 9000:2006 (aktualna PN-EN ISO 9000:2015-10) pojawiło się pojęcie inherentności w definicji jakości jako „...stopień w jakim zbiór inherentnych własności obiektów spełnia wymagania”. Na tej podstawie, autor zaproponował w pracy [11] to pojęcie do opisu zasobów pracy obiektu (Z_pO), które w duchu powyższej definicji opisuje jakość obiektu technicznego. Na te zasoby inherentne składa się wszystko co wynika z inherentnych czynników występujących w procesie wytwarzania dóbr (produktów). Przykładem może być posiadany przez obiekt jego potencjał trwałościowy opisywany resem od zasobów inherentnych obiektu (R_{io}) [16, 20, 31, 32, 36], który nazwano w tej metodzie zasobami inherentnymi obiektu (Z_iO). Posiadana maksymalna wartość resemu obiektu ($R_{i(max)o}$) od zasobów inherentnych (Z_iO) limituje bowiem zdolności produkcyjne obiektu (jak również usługowe, czy też zdolność realizacji innych zadań [31] np. lotu bojowego [36], usuwanie kłesk żywiołowych itp.). Można ją uogólnić na zdolność do

wykonywania produktów w sensie ogólnym tj. zarówno materialnych, jak i usługowych (np. transportowych, bankowych). Lecz na wielkość stopnia wykorzystania zasobów inherentnych (a tym samym $R_{i(max)o}$) mają bardzo silny wpływ posiadane w organizacji (przypisane dla obiektu i wynikające też z zastosowanej strategii eksploatacji [25, 34]) rodzaje i wielkości zasobów nieinherentnych [7], które mogą być opisane resursem od zasobów nieinherentnych obiektu (R_{nio}) – wynikających z przypisanych mu zasobów z systemu jego eksploatacji (zarządzania obiektem). Sposób i jakość wykorzystania R_{nio} opisują (zdaniem autora) głównie czynniki nieinherentne nadane i zależne od tzw. czynnika ludzkiego, stąd nazwano je zasobami nieinherentnymi obiektu ($Z_{ni}O$). Dobór $Z_{ni}O$, w ramach eksploatacji (procesów utrzymania ruchu maszyn [13]), powinien umożliwiać optymalne wykorzystanie Z_iO z danego obiektu poprzez uwzględnienie optymalizacji kosztów globalnych związanych z wytwarzaniem produktów (opisywanego przez P_o), dla którego obiekt był przeznaczony. Trudno, a czasem niemożliwe jest sprecyzowanie/wyodrębnienie R_{io} i R_{nio} z rezerwu produkcyjnego\usługowego obiektu opisanego tu jako R_o w zależności (1). Znacznie łatwiej jest zdefiniować Z_iO i $Z_{ni}O$ oraz ocenić ich wpływ na wartość P_rO . Stąd zasoby inherentne i nieinherentne tworzą większy zasób, który nazwano potencjałem roboczym obiektu – P_rO i opisano zależnością (1),

$$R_o = f(R_{io}, R_{nio}); \quad P_rO = f(Z_iO, Z_{ni}O), \quad (1)$$

gdzie Z_iO może być opisany wskaźnikiem liczbowym R_{io} ($R_{io(max)}$), a $Z_{ni}O$ może być opisany wskaźnikiem liczbowym R_{nio} ($R_{nio(max)}$) stąd P_o może być opisany wskaźnikiem liczbowym R_o .

Wskaźnik R_o może opisywać tu liczbową wartość produktów/usług możliwych do uzyskania w obiekcie\procesie\organizacji przy użyciu przypisanych im inherentnych i nieinherentnych zasobów. Zdolności wykorzystania P_o zależą zatem funkcjonalnie od wartości P_rO opisanej zależnością (2),

$$P_o(R_o) = f(P_rO). \quad (2)$$

Zakłada się, że tą samą wartość P_rO można osiągnąć w wyniku zastosowania bardzo różnych konfiguracji ilościowych części składowych zasobów Z_iO i $Z_{ni}O$. Zatem uznaje się za celowe analizę ich optymalnego przydziału, w przyjętej strategii eksploatacji w ramach posiadanych zasobów w danym środowisku wytwórczym, nakierowanego na optymalizację zysków z realizowanej/założonej wielkości produkcji/usługi.

Uznaje się, że dopiero optymalny dobór Z_iO do $Z_{ni}O$ dla bieżących uwarunkowań eksploatacyjnych i założonych planów produkcyjnych/usługowych, umożliwi optymalne wykorzystanie posiadanego potencjału roboczego organizacji/obektu (P_rO). Wyznaczenie optymalnej wartości produktywności obiektu P_o może być wyrażone poprzez wskaźnik liczbowy R_o (rezerwu produktowy obiektu technicznego\organizacji produkcyjno-usługowej). Wyniki takich analiz mogą służyć np. do korygowania zbyt ambitnych planów produkcyjnych lub uzasadnienia przesunięcia nadmiernych zasobów do innych zadań.

2. Założenia do metody

Opracowana metoda powstała w wyniku intuicyjnego przetworzenia wiedzy eksperckiej autora, uzyskanej w trakcie analizy procesów eksploatacji w ramach wieloletnich badań nad możliwościami przechodzenia z strategii eksploatacji wg prac profilaktycznych (rezerwu) na strategię eksploatacji wg stanu technicznego dla złożonych systemów technicznych. Opracowania te (opublikowane głównie w materiałach do użytku służbowego) dotyczyły systemów uzbrojenia samolotów i śmigłowców, realizowanych ekspertyz w zakresie przyczyn uszkodzeń broni oraz realizowanych badań niezawodnościowo-trwałościowych działek lotniczych [31]. Dodatkowo nałożyło się na to wieloletnie doświadczenie w ramach analiz

niezawodnościowo-trwałościowych obiektów prowadzonych na wykładach, ćwiczeniach oraz projektach z przedmiotu „Niezawodność, trwałość i eksploatacja obiektów”. Celem podstawowym wszystkich tych badań było poszukiwanie odpowiedzi na pytanie, jak modelować wykorzystanie posiadanych zasobów obiektu w sytuacji umiejscowienia w innym systemie eksploatacji, niż zaplanował dla tych obiektów ich producent, tak by wykorzystał w pełni ich cały zasób pracy przy zachowaniu wymaganego poziomu niezawodności działania w trakcie okresów ich użytkowania [11, 12]. Podstawowe wnioski, jakie uzyskiwano z tych analiz to to, że wykorzystanie zasobów pracy obiektu zależy od przyjętych procedur eksploatacyjnych, a one z kolei zależą od przyjętych założeń sposobu wykorzystania obiektu. Ponadto to, że sposób projektowania obiektów technicznych jest silnie zależny od warunków eksploatacyjnych do jakich miał trafić obiekt. Następnym ważnym wnioskiem było, że porównywanie jakości obiektów nie ma sensu bez odniesienia do porównania założeń eksploatacyjnych, w których obiekt miał funkcjonować. Na bazie tego autor doszedł do wniosku, że optymalizacja efektywności użytkowej obiektu powinna być realizowana jednocześnie z optymalizacją efektywności obsługowej obiektu. Stąd już jeden krok do podziału zasobów biorących udział w produktywności na czynniki inherentne (opisujące zastosowane rozwiązania techniczne obiektu) i czynniki nieinherentne (opisujące zastosowane rozwiązania obsługowe w procesie eksploatacji). Konsekwencją tego było przejście do optymalizacji przydziału zasobów produkcyjnych dla obiektu, dla możliwych do pozyskania/przypisania mu zasobów obsługowych w jego systemie eksploatacji. Stąd podział zasobów niezbędnych do realizacji efektu produktywnego (z produkcji lub usługi) na inherentne i nieinherentne wymaga wskazania, które z nich należą do struktury produkcyjno-usługowej, a które do struktury obsługowej wyodrębnionej z systemu eksploatacji w którym są utrzymywane. Ogólna ilustracja tego podziału została przedstawiona na Rys. 1 i Rys. 2 oraz opisana w punkcie 2.1.

Zakłada się, że proponowana w artykule metoda jest na tyle uniwersalna, że nadawać się będzie zarówno do oceny produktywności pojedynczej maszyny/systemu mechatronicznego, jak i ciągu produkcyjnego oraz złożonej organizacji produkcyjno-usługowej. To co decyduje o dystrybucji inherentnych i nieinherentnych zasobów oraz jakości ich wykorzystania jest bezpośrednio związane z zastosowaną strategią eksploatacji lub w węższym zakresie zastosowaną strategią utrzymania maszyn w ruchu. Stąd zmiana uwarunkowań wpływająca na możliwość realizacji, przy założonym poziomie jakościowym danej strategii eksploatacji wpływa jednocześnie na zmianę P_o . Ponadto w zmienionych warunkach eksploatacyjnych często wymagany jest inny przydział inherentnych oraz nieinherentnych zasobów obiektu/organizacji wytwórczej.

Zaproponowany w punkcie 2.1 model ma umożliwić analizę optymalizacji inherentnych i nieinherentnych zasobów obiektu/organizacji wytwórczej w różnych uwarunkowaniach eksploatacyjnych dla różnych klas i wielkości obiektów/organizacji produkcyjnych.

Metoda opisana jest na bardzo dużym poziomie ogólności. Jednak nie ma ona ograniczeń ilości rozpatrywanych elementów składowych i typów zasobów pod warunkiem, że prawidłowo zakwalifikuje się zasoby do Z_iO lub $Z_{ni}O$ (3),

$$P_rO = f(\Sigma Z_iO, \Sigma Z_{ni}O) \quad (3)$$

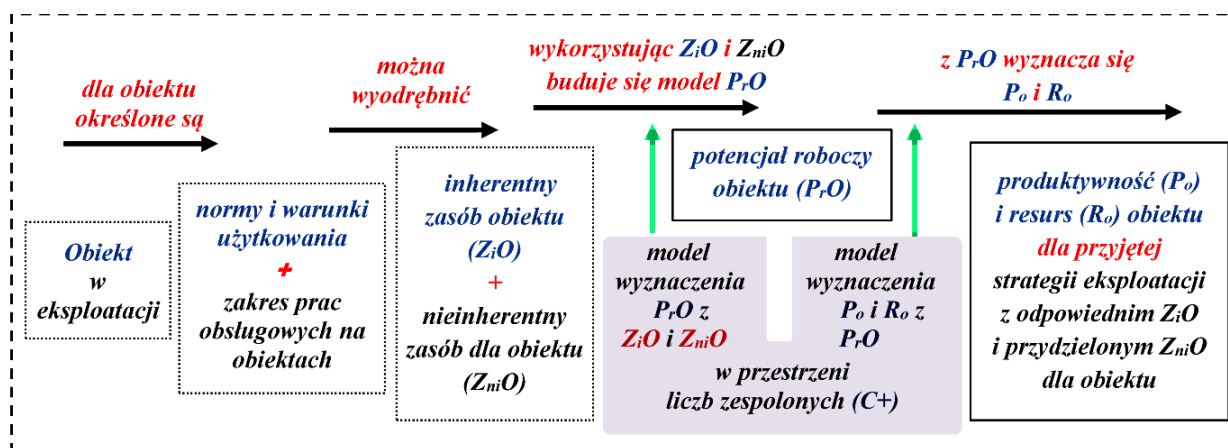
lub (4)

$$P_rO = \Sigma P_rO_j \quad (4)$$

gdzie j – składowe potencjały robocze np. dla takich samych wielu linii produkcyjnych.

2.1. Modelowanie relacji Z_iO i $Z_{ni}O$ z P_rO i P_o w systemie eksploatacji

W każdym systemie eksploatacji istnieje ograniczony nieinherentny zasób Z_{ni} zależny silnie od uwarunkowań środowiskowych (zwłaszcza poziomu wykształcenia i kultury technicznej potencjału ludzkiego – operatorów i obsługi technicznej obiektów). By obiekt mógł być w pełni obsłużony („zadbany” [22]) musi mieć przydzielony i utrzymany [24] właściwy $Z_{ni}O$. To determinuje zdolność wykorzystania Z_iO w eksploatacji. Na potrzeby opracowanego w artykule modelu P_rO przyjęto, że każdy obiekt w systemie eksploatacji posiada liczbowo określoną wartość Z_iO i przydzieloną mu liczbową wartość $Z_{ni}O$ na podstawie których określa się jego liczbową wartość P_rO . Z wartości P_rO wyznacza się dla obiektu P_o (R_o) (Rys.1).



Rys. 1. Ilustracja powiązania inherentnych zasobów pracy obiektu (Z_iO) i przypisanych mu nieinherentnych zasobów obsługi ($Z_{ni}O$) z procesu jego eksploatacji z jego produktywnością (P_o) i resursem (R_o) oraz ilustracja umiejscowienia proponowanego modelu wyznaczania P_rO z Z_iO i $Z_{ni}O$ oraz P_o i R_o z P_rO z wykorzystaniem przestrzeni liczb zespolonych (C^+)

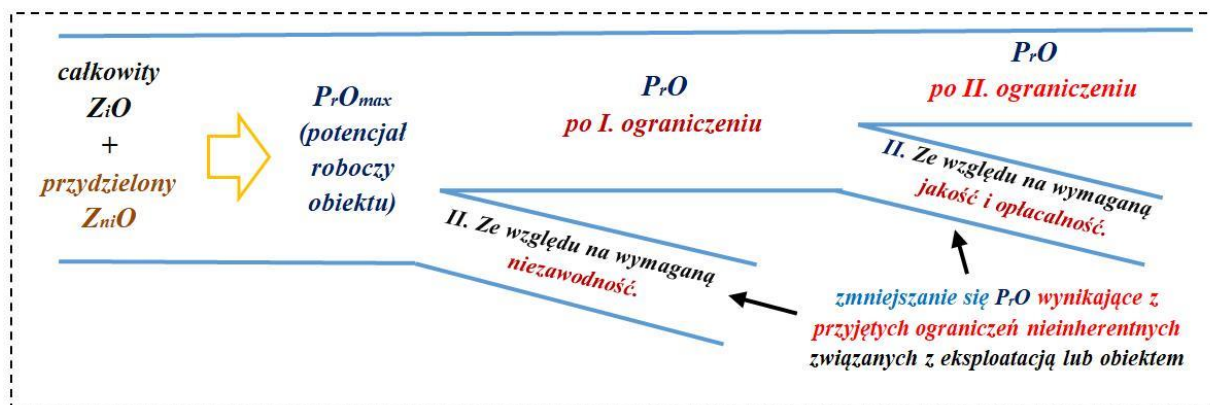
W procesie wytwórczym wartość P_o jest wyznaczona na podstawie posiadanego Z_iO dla konkretnie przydzielonych $Z_{ni}O$ z uwzględnieniem ograniczeń zilustrowanych na Rys. 2. W nowych warunkach eksploatacji należy sprawdzić, czy P_o przyjęte w dotychczasowej eksploatacji obiektu nie zmieni się ze względu na niemożliwość zabezpieczenia odpowiednich wartości $Z_{ni}O$.

Problem który należało rozwiązać przy budowie metody, to jak dopasować wzajemne powiązania liczbowe zasobów Z_iO i $Z_{ni}O$ z P_rO oraz P_o poprzez jedną zależność matematyczną, by było możliwe obliczanie z tej zależności wartości liczbowej mającej sensowną jednostkę miarową. Na Rys.1 odczytujemy, że potrzebne są dwa modele. Pierwszy to model wyznaczania P_rO z wartości liczbowych Z_iO i $Z_{ni}O$, a drugi to model wyznaczania $P_o(R_o)$ z P_rO .

Model wyznaczania $P_rO = f(Z_iO, Z_{ni}O)$ został zaproponowany w punkcie 2.2 tego artykułu. Zakłada się, że pełne wykorzystanie Z_iO i przydzielonego mu $Z_{ni}O$ jest równoznaczne z osiągnięciem maksymalnej wartości P_rO_{max} umożliwiającą osiągnięcie P_o_{max} (Rys.3). Ze względu jednak na inne ograniczenia (np. dopuszczalną liczbę napraw lub wskaźniki niezawodności, faktyczną jakość obsługi) wartość P_rO zwykle jest mniejsza od P_rO_{max} (Rys.2).

Dlatego przy wprowadzeniu obiektu do nowego systemu eksploatacji, przy wyznaczeniu nowej wartości jego P_o [5], należy odnieść się do początkowych wartości Z_iO i $Z_{ni}O$, a nie tylko do wyznaczonej przez poprzedniego użytkownika/zarządcy – użytkującego w innych warunkach wartości P_o . Gdyż w nowych warunkach eksploatacji (obsługiwania i/lub użytkowania) użyte przez producenta ograniczenia (na Rys 2 – I i II typu) mogą być inne. Dla typu I. to np. zwiększenie niezawodności działania obiektu, a dla typu II. to np. zmniejszenie kosztów eksploatacji, czy odniesienie opłacalności eksploatacji do czasu pojawienia się nowocześniejszych konstrukcji obiektów.

W dziedzinie zarządzania organizacją produkcyjną lub usługową rozpoznawanie czynników wpływających na procesy może być trudne do zidentyfikowania, gdy próbuje się rozpatrywać czynniki\zasoby wzajemnie sprzężone jako niezależne. Stąd w proponowanym w artykule modelu zakłada się taki podział czynników\zasobów (inherentne, nieinherentne), który opisuje prawidłowości eksploatacyjne i zmiany stanu obiektów\procesów wpływające w sposób niezależny od siebie na zdolności produkcyjne lub usługowe organizacji.



Rys. 2. Ilustracja relacji Z_iO i $Z_{ni}O$ z potencjałem roboczym obiektów (P_rO) oraz ilustracja zmniejszenia się P_rO w wyniku przyjmowania nieinherentnych ograniczeń (typu I. np. zwiększenie niezawodności działania obiektu lub II. – zmniejszenie kosztów eksploatacji, czy odniesienie opłacalności eksploatacji do czasu pojawienia się nowoczesniejszych konstrukcji obiektów)

Wykorzystana do tego modelowania przestrzeń liczb zespolonych łączy te niezależności bez skomplikowanych związków i wnosi nowe możliwości w analizach ich wpływu na wybrany parametr oceny organizacji\procesu\obektu, co stanowi nową jakość w formułowaniu modeli matematycznych opisujących jednoczesny wpływ środowiska i obiektu na zdolności wytwórcze organizacji dowolnego typu (np. produkcyjnego, usługowego).

Tego typu modelowanie upraszcza zwłaszcza analizę faktycznych przyczyn zmian procesów wytwórczych, kosztowych i jakościowych zachodzących w systemach technicznych (inherentnych - wymagających przeprojektowania obiektu i procesu lub nieinherentnych - wymagających uwzględniania wpływu jakości pracy, poziomu kultury\mentalności technicznej w danym kraju\regionie, odpowiedniej organizacji produkcji i obsługi).

Zawarty w pracy model ogólny potencjału roboczego obiektu (P_rO), po jego odpowiednich zmianach założeń może służyć do analiz resursowych, kosztowych, efektywnościowych itd., co autor zamierza przedstawić w kolejnych artykułach.

2.2. Model matematyczny P_rO w zbiorze liczb zespolonych

Matematyczna postać modelu P_rO przedstawiona w postaci zależności (5) została zilustrowana na Rys. 3. Taki model matematyczny wskaźnika liczbowego P_rO umożliwia powiązanie inherentnych i nieinherentnych zasobów obiektu oraz systemu jego eksploatacji dając w wyniku jedną wartość liczbową.

$$P_rO = z = a_i + i b_j = (Z_iO)_i + i(Z_{ni}O)_j \quad (5)$$

gdzie:

P_rO – potencjał roboczy obiektu,

Z_iO – inherentny zasób obiektu,

$Z_{ni}O$ – nieinherentny zasób obiektu,

i – zawiera się w przedziale $i_{min} \div i_{max}$,

j – zawiera się w przedziale $j_{min} \div j_{max}$,

$i_{min\backslash max}$ – minimalna\maksymalna (graniczna) wartość inherentnego zasobu obiektu,

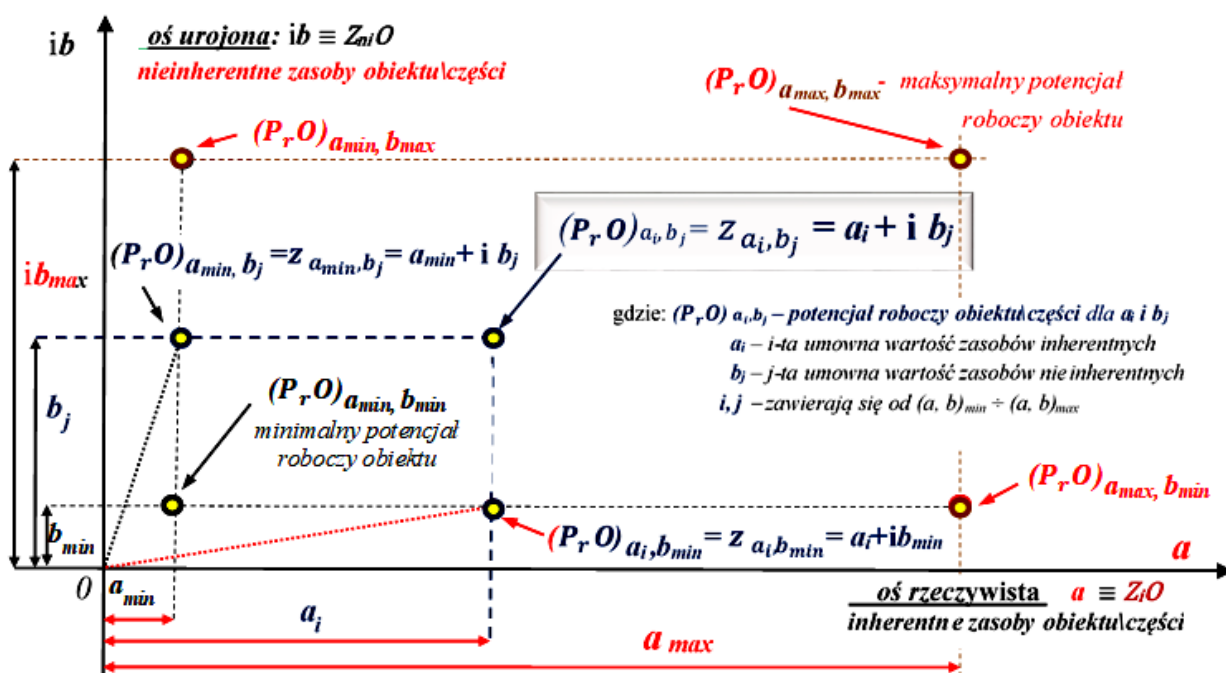
$j_{min\backslash max}$ – minimalna\maksymalna (graniczna) wartość nieinherentnego zasobu obiektu.

Potencjał roboczy obiektu (P_rO) opisany zależnością (5) bazuje na zapisie matematycznym liczby zespolonej $z = a_i + ib_i$, w której część rzeczywista opisuje inherentny zasób obiektu ($a_i = Z_iO$), a w część urojona nieinherentny zasób obiektu ($b_i = Z_{ni}O$). Na Rys. 3 przedstawiono położenie liczb zespolonych opisujących charakterystyczne wartości P_rO . Pokazano na nim ogólny przypadek liczbowej wartości P_rO opisany zależnością (6)

$$(P_rO)_{a_i, b_j} = (Z_iO)_{a_i} + i(Z_{ni}O)_{b_j} = z_{a_i, b_j} = a_i + i b_j, \quad (6)$$

a także charakterystyczne punkty położenia liczby zespolonej P_rO na płaszczyźnie zespolonej takie jak:

- $(P_rO)_{a_{max}, b_{max}}$ – dla przyjętych wartości maksymalnych: $(Z_iO)_{max}$ i $(Z_{ni}O)_{max}$,
- $(P_rO)_{a_{min}, b_{min}}$ – dla przyjętych wartości minimalnych: $(Z_iO)_{min}$ i $(Z_{ni}O)_{min}$,
- $(P_rO)_{a_{min}, b_j}$ – dla wartości: $(Z_iO)_{min}$ i $(Z_{ni}O)_{b_j}$,
- $(P_rO)_{a_i, b_{min}}$ – dla wartości: $(Z_{ni}O)_{min}$ i $(Z_iO)_{a_i}$.



Rys. 3. Model potencjału roboczego obiektu (P_rO) na I ćwiartce płaszczyzny liczb zespolonych. $(P_rO)_{a_i, b_j}$ – potencjał roboczy obiektu uzyskany na podstawie przyjętych a_i, b_j ; ib_{max} – maksymalna wartość zasobu nieinherentnego obiektu; a_{max} – maksymalna wartość zasobu inherentnego obiektu

Z ilustracji P_rO przedstawionych na Rys. 3 wnioskujemy, że przy zmianie wartości $b_i = Z_{ni}O$ lub zmianie wartości $a_i = Z_iO$ (lub zmianie ich obu naraz) zmienia się nam wartość P_rO . Oznacza to, że każda zmiana uwarunkowań eksploatacyjnych np. tempa zużywania (a – zmian norm użytkowania), czy zmiana jakości obsługi (ib) pociąga za sobą zmianę wartości P_rO , a tym samym zmianę miejsca położenia liczby zespolonej P_rO na płaszczyźnie

zespolonej. Porównanie (na zasadzie nierówności) dwóch P_rO reprezentowanych przez dwie liczby zespolone [29] nie jest możliwe, gdyż ciało \mathbb{C} (liczb zespolonych) jest ciałem nieuporządkowanym. Brak porządku w \mathbb{C} sprawia, że nierówności między liczbami zespolonymi, w rodzaju $z_1 > z_2$ (w naszym przypadku $P_rO_1 > P_rO_2$) nie mają sensu, o ile nie dotyczą liczb rzeczywistych. Wprawdzie istnieje relacja porządku dla dwu liczb zespolonych taka jak (7):

$$a_1 + ib_1 \geq a_2 + ib_2 \Leftrightarrow a_1 \geq a_2 \text{ lub } a_1 = a_2 \text{ i } b_1 \geq b_2, \quad (7)$$

jednak niełatwo połączyć ją z arytmetyką i uzyskać wartość liczbową, która miała by sens jednostki miarowej dla całej liczby zespolonej, a nie tylko dla jej składowych. Relacja ta opisuje, jak zmienia się miejsce liczby zespolonej reprezentowane przez opisywany przez nią punkt na płaszczyźnie liczb zespolonych. Na podstawie zmiany tego punktu na płaszczyźnie liczb zespolonych można ocenić tylko, który z podstawowych typów zasobów należy zmienić lub zmienił się od ostatniego wyznaczania wartości P_rO .

Jednakże opracowany model powiązania P_rO z zasobami Z_iO , $Z_{ni}O$ w przestrzeni liczb zespolonych zawiera w sobie jeszcze jedną, bardzo przydatną informację liczbową, w postaci modułu liczby P_rO . Intuicyjnie założono, że wartość modułu z liczby P_rO może być uznana aksjomatycznie jako wartość produktywności (P_o). Po wielu przemyśleniach w poszukiwaniu nieadekwatności takiego podejścia uznano, że jednak ma ono sens i może być praktycznie zaimplementowane. Model wyznaczania P_o z P_rO przedstawiono w p.2.2.

2.3. Model matematyczny P_o w zbiorze liczb zespolonych

Wprawdzie wartość liczby zespolonej P_rO nie spełnia wymogu arytmetyki, ale jej moduł już tak. Moduł ten aksjomatycznie przypisano (w zaproponowanej metodzie) jako wartość P_o . Zgodnie z [27] wyrażenie $|z_1| > |z_2|$ (w naszym przypadku $|P_rO_1| > |P_rO_2|$) jest całkowicie wykonalne, ponieważ (8),

$$|Z_1|, |Z_2| \in \mathbb{R}; |P_rO_1| > |P_rO_2| \in \mathbb{R} \quad (8)$$

a liczby rzeczywiste są ciałem uporządkowanym.

Interpretacja geometryczna modułu P_rO na płaszczyźnie zespolonej, to odległość punktu liczby zespolonej (reprezentującego ten P_rO) od początku układu. Stąd moduł, czy też inaczej wartość bezwzględna liczby $z \in \mathbb{C}$ zapisujemy jako (9),

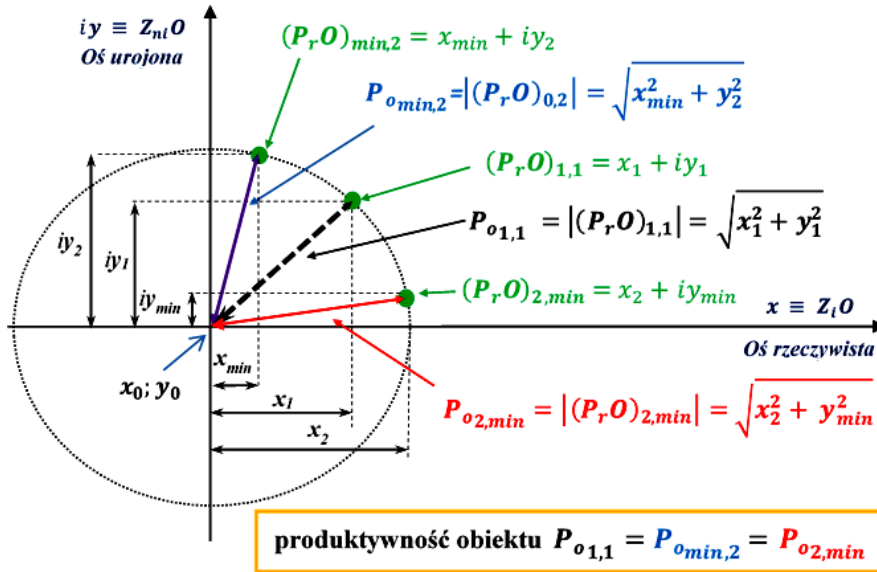
$$|z| = |a_i + ib_i| = \sqrt{a_i^2 + b_i^2} \quad \text{to} \quad P_o = |P_rO| = \sqrt{(Z_iO)^2 + (Z_{ni}O)^2}. \quad (9)$$

Na Rys.4 zilustrowano trzy przypadki charakterystycznych par wartości Z_iO , $Z_{ni}O$ dla których wyznaczono $(P_rO)_{1,1}$; $(P_rO)_{2,min}$; $(P_rO)_{min,2}$ dających taką samą wartość P_o tj. $P_{o1,1} = P_{o2,min} = P_{o min,2}$ co zostało opisane zestawem równań (10)

$$P_{o min,2} = |(P_rO)_{min,2}| = \sqrt{x_{min}^2 + y_2^2}; \quad P_{o1,1} = |(P_rO)_{1,1}| = \sqrt{x_1^2 + y_1^2} \quad (10)$$

$$P_{o2,min} = |(P_rO)_{2,min}| = \sqrt{x_2^2 + y_{min}^2}; \quad P_{o1,1} = P_{o min,2} = P_{o2,min}$$

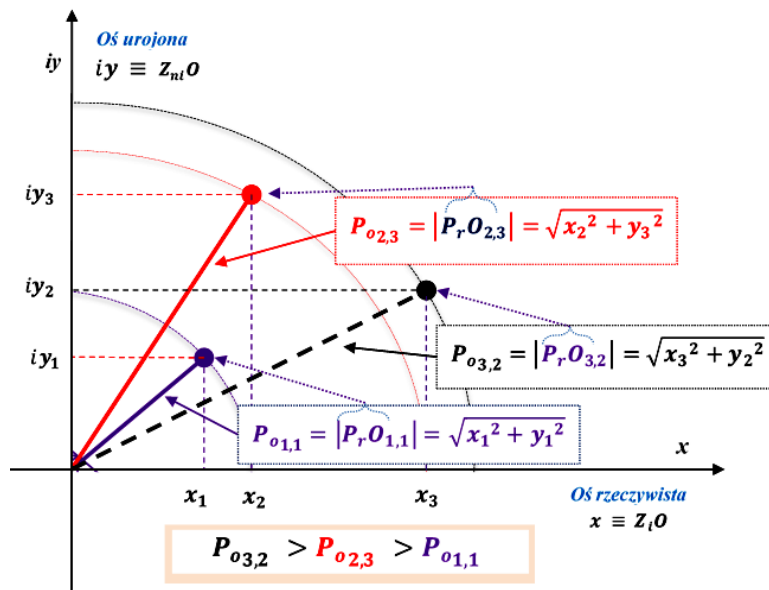
Natomiast na Rys. 5 zilustrowano trzy przypadki charakterystycznych wartości Z_iO , $Z_{ni}O$ z których wyznaczono $(P_rO)_{1,1}$; $(P_rO)_{2,3}$; $(P_rO)_{3,2}$ dających różne wartości P_o .



Rys. 4. Model wyznaczania P_o z P_rO zilustrowany na I ćwiartce płaszczyzny liczb zespolonych: $(P_rO)_{1,1}$ – potencjał roboczy obiektu uzyskany z zasobów $Z_iO=x_1$ i $Z_{ni}O=y_1$; $(P_rO)_{2,min}$ – potencjał roboczy obiektu uzyskany z zasobów $Z_iO=x_2$ i $Z_{ni}O=y_{min}$; $(P_rO)_{min,2}$ – potencjał roboczy obiektu uzyskany z zasobów $Z_iO=x_{min}$ i $Z_{ni}O=y_2$

Wartości zasobów Z_iO , $Z_{ni}O$ zostały tak dobrane (Rys. 5), że uzyskano rosnące wartości produktywności obiektu tj. $P_{o3,2} > P_{o2,3} > P_{o1,1}$ co zostało opisane zestawem równań (11),

$$\begin{aligned}
 P_{o2,3} &= |P_rO_{2,3}| = \sqrt{x_2^2 + y_3^2}; & P_{o3,2} &= |P_rO_{3,2}| = \sqrt{x_3^2 + y_2^2} \\
 P_{o1,1} &= |P_rO_{1,1}| = \sqrt{x_1^2 + y_1^2}; & P_{o3,2} &> P_{o2,3} > P_{o1,1}.
 \end{aligned}
 \tag{11}$$



Rys. 5. Ilustracja zwiększenia P_o poprzez jednoczesną poprawę procedur eksploatacyjnych i jakości obsługi (zwiększanie $Z_{ni}O$; $y_1 < y_2 < y_3$) oraz udoskonalenie obiektu lub efektywniejsze wykorzystanie jego zasobu pracy (zwiększanie Z_iO ; $x_1 < x_2 < x_3$).

Analizując informacje, które zawiera w sobie wykres na Rys. 4 i Rys. 5, wnioskujemy, że możemy tak dopasowywać zmieniające się w czasie wartości zasobów by produktywność była stała (Rys. 4). Jednocześnie (Rys. 5) mamy proste zobrazowanie, że gdy, dla tej samej kategorii obiektów, ale o różnych ich doskonałościach i różnych możliwościach przypisania im zasobów obsługowych, ich produktywność (P_o) jest różna. Stąd uzyskując\posiadając wiedzę o zaistniałych/prognozowanych zmianach poziomu technicznego kadry eksploatacyjnej, ich kultury technicznej (opisanych w postaci zmian wartości $Z_{ni}O$) oraz możliwych modernizacjach norm użytkowania obiektów oraz zmianach warunków środowiskowych (opisanych w postaci zmian wartości Z_iO) możemy zapobiegawczo korygować nasze plany dotyczące oczekiwanej produktywności. Podsumowując, należy stwierdzić, że opracowane modele (P_rO i P_o) powinny być bardzo przydatne zwłaszcza do analiz predykcyjnych. Wykorzystując wnioski z takich analiz, można podejmować optymalne decyzje co do budowy harmonogramów przydziału posiadanych zasobów do danej aktywności produkcyjnej. Możemy też oceniać posiadane zasoby obsługowe w systemie eksploatacji oraz posiadane zasoby obiektowe w prognozie produktywności niezbędnej do podejmowania się kolejnych zadań produkcyjnych lub usługowych.

2.4. Model matematyczny R_o w zbiorze liczb zespolonych

Jeśli wartość P_o wyrazić za pomocą wskaźnika liczbowego, nazywanego tu resem produkcyjnym obiektu\organizacji (R_o) z ich procesu produkcyjnego (usługowego), to model $P_{o,1,1}$ na podstawie zależności (9, 10, 11) przyjmuje postać (12).

$$R_{a_i, b_j} = \sqrt{(a_i)^2 + (b_j)^2} \Big|_{i=1, j=1} = R_{o,1,1} = |(P_rO)_{1,1}| = \sqrt{(x_1)^2 + (y_1)^2} \quad (12)$$

gdzie:

- $R_{o,1,1}$ – resurs produkcyjny (usługowy) obiektu dla $(P_rO)_{1,1}$
- $(P_rO)_{1,1}$ – potencjał roboczy obiektu dla $uZ_pO = x_1$ i $uZ_oO = y_1$
- x_1 – wartość uZ_pO ,
- y_1 – wartość uZ_oO ,
- i – wynosi $i_{min} \div i_{max}$,
- j – wynosi $j_{min} \div j_{max}$.

Resurs obiektu (R_{a_i, b_j}) (12) opisany jest jako moduł liczby zespolonej $(P_rO)_{a_i, b_j}$ (9) której składnikami są umowny zasób pracy obiektu $(uZ_pO)_{a_i}$ o wartości a_i oraz umowny zasób obsługi obiektu $(uZ_oO)_{b_j}$ o wartości b_j . Pojęcie „umowny”, kryje w sobie wszystkie niezbędne dopasowania rodzajów i wielkości tych rodzajów zasobów w grupie oraz szczegółowe modele przypisywania im właściwych miar liczbowych.

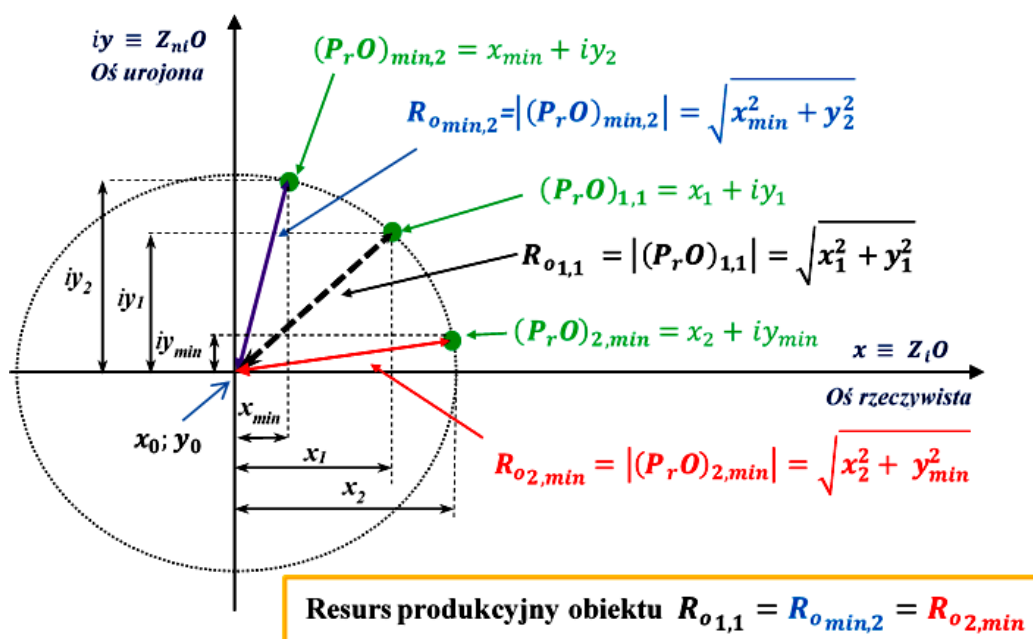
Rozpatrzmy szczególnie przypadek wartości $uZ_pO = x_1$ oraz $uZ_oO = y_1$ opisany liczbą zespoloną $(P_rO)_{1,1}$ i przedstawiony na Rys. 6. Wartość resursu obiektu $R_{o,1,1}$ jest tu modułem z liczby zespolonej $(P_rO)_{1,1}$ i jest wyznaczona zgodnie z wzorem (12). Na Rys. 6 pokazano też dwie charakterystyczne liczby zespolone tj. $(P_rO)_{min,2}$ i $(P_rO)_{2,min}$ oraz wyznaczone z nich wartości R_o :

a) $R_{o, min,2}$ – dla zerowej wartości $uZ_pO = x_{min}$ – opisane wyrażeniem (13)

$$(P_rO)_{min,2} = x_{min} + iy_2 \Rightarrow R_{o, min,2} = |(P_rO)_{min,2}|, \quad (13)$$

b) $R_{o2,min}$ – dla zerowej wartości $uZ_oO = y_{min}$ – opisane wyrażeniem (14)

$$(P_rO)_{2,min} = x_2 + iy_{min} \Rightarrow R_{o2,min} = |(P_rO)_{2,min}|. \quad (14)$$



Rys. 6. Model wyznaczania resursu produkcyjnego obiektu ($R_{o1,1}$) na I ćwiartce płaszczyzny liczb zespolonych: $(P_rO)_{1,1}$ – potencjał roboczy obiektu z zasobów $Z_iO=x_1$ i $Z_{niO}=y_1$; $(P_rO)_{2,min}$ – potencjał roboczy obiektu z zasobów $Z_iO=x_2$ i $Z_{niO}=y_{min}$; $(P_rO)_{min,2}$ – potencjał roboczy obiektu z zasobów $Z_iO=x_{min}$ i $Z_{niO}=y_2$

Zaznaczone na Rys. 6 dwa skrajne przypadki (13 i 14) mogą mieć następującą interpretację:

- kiedy $R_o \cong R_{o,min,2}$ (przy $R_{min,2} \rightarrow x_{min}$) oznacza to, że jest to obiekt o niewielkiej doskonałości poprodukcyjnej. Tylko w przypadku bardzo dobrej obsługi/sterowania może obiekt osiągnąć przyjętą wartość $R_o \cong R_{o2,min}$ (13). Taki typ przydziału zasobów preferujemy dla obiektów o zdecydowanie krótszym czasie pracy niż czas oczekiwania na pracę, przy dużym zasobie obsługowym dla tego obiektu (np. dla działek lotniczych).
- drugi przypadek, gdy $R_o \cong R_{o2,min}$ (przy $R_{o2,min} \rightarrow y_{min}$) oznacza, że obiekt jest prawie bezobsługowy, tzn. jest tak doskonały technicznie, że w zakresie przyjętej wartości R_o wymaga nieznacznego sterowania i obsługi (14). Taki typ preferujemy dla użyciu obiektu w ciągłym procesie produkcyjnym, gdzie chcemy minimalizować przerwy na obsługi lub gdy potencjalni użytkownicy mają niski poziom kultury technicznej.

W analizach procesu eksploatacji zilustrowanie przedstawione na Rys. 6 umożliwia dobrą wizualizację istniejących sprzężeń pomiędzy wartością przyjętego R_o , jakością poprodukcyjną obiektu (Z_pO) i doskonałością procedur eksploatacyjnych (Z_oO). Daje też duże możliwości do teoretycznego oszacowywania jakościowo/liczbowego zmian P_rO i R_o w wyniku zmian uZ_oO i/lub uZ_pO . Skrajne przypadki R_o (korzystając z wzorów 13 i 14) opisano wzorami (15) i (16). Na podstawie odpowiedniego doboru umownej wartości uZ_oO przy założeniu y_{min} wyznacza się wartość R_o wynikającą z możliwości i podatności obsługowej obiektu – $R_{o,min,2}$ (danej wzorem 15).

$$R_{o_{min,2}} = \sqrt{x_{min}^2 + y_2^2} \quad (15)$$

Na podstawie odpowiedniego doboru umownej wartości uZ_pO przy założeniu a_{min} wyznacza się umowną wartość R_o wynikającą z inherentnych możliwości realizacji pracy przez obiekt – $R_{o2,min}$ (danej wzorem 16).

$$R_{o2,min} = \sqrt{x_2^2 + y_{min}^2} \quad (16)$$

Ważną informacją jest to, że wszystkie obiekty mające taką samą wartość P_rO (lub obiekt dla różnych uwarunkowań eksploatacyjnych posiadający taką samą wartość P_rO) mają taką samą wartość modułu i tym samym uzyskują taką samą wartość R_o (17).

$$R_{o1,1} = R_{o_{min,2}} = R_{o2,min} \quad (17)$$

Oznacza to, że dobór wartości R_o obiektu, do wymaganego poziomu, możemy kształtować zarówno poprzez modyfikację jego doskonałości technicznej, jak i poprzez zmianę środowiska jego obsługi w sposób zachowujący oczekiwaną wartość R_o obiektu. Zależności (12, 15, 16) mogą być praktyczne zastosowane w systemie zbierania danych w komputerowym systemie zarządzania eksploatacją (utrzymania ruchu maszyn) [10, 29, 32, 33].

2.5. Ilustracja P_rO i R_o obiektu w funkcji Z_pO i Z_oO na płaszczyźnie liczb zespolonych

Dla zilustrowania potencjału optymalizacyjnego wynikającego z modelu P_rO i modelu wyznaczania z niego R_o pokazano na Rys. 7, Rys. 8, Rys. 9 charakterystyczne trzy przypadki sposobu uzyskiwania określonej wartości R_o poprzez dobór wartości Z_oO i/lub Z_pO :

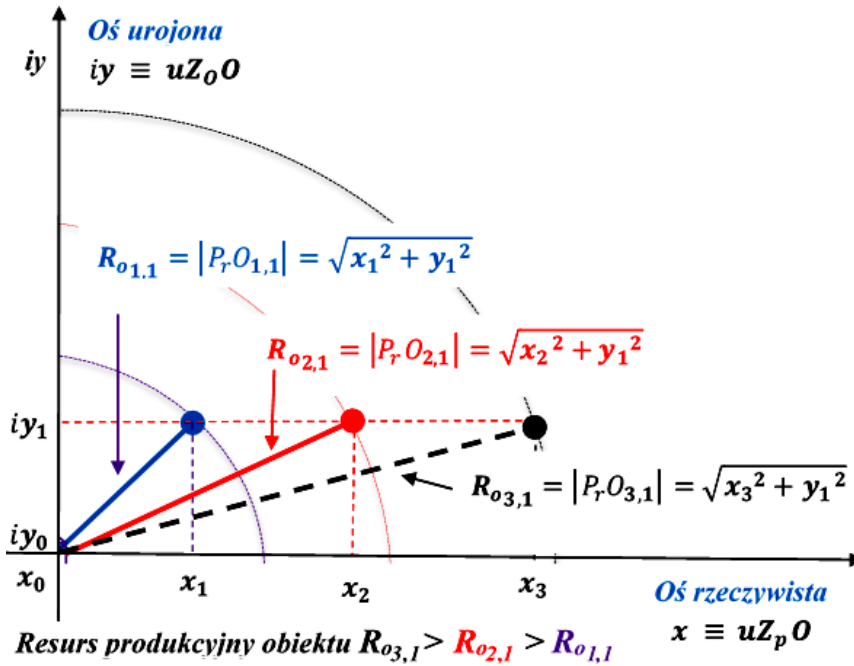
- 1) przypadek I. (Rys. 7) – stała wartość uZ_oO i trzy różne wartości uZ_pO ,
- 2) przypadek II. (Rys. 8) – trzy różne wartości uZ_oO i stała wartość uZ_pO ,
- 3) przypadek III. (Rys. 9) – trzy różne wartości uZ_oO i trzy różne wartości uZ_pO zapewniające stałą wartość R_o .

Przypadek I. (Rys. 7) Zwiększenie R_o uzyskano poprzez zwiększanie uZ_pO (np. poprzez udoskonalenie techniczne obiektu i/lub efektywniejsze wykorzystanie jego Z_pO lub/i poprzez zmianę norm użytkowania [31]) przy zachowaniu stałej wartości uZ_oO (stałość warunków środowiskowych, jakości obsługi i sterowania obiektu).

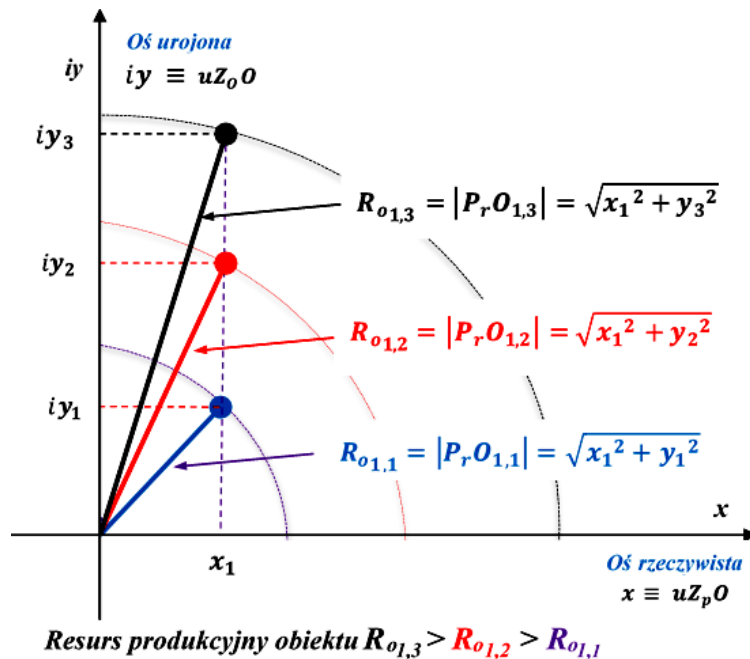
Widzimy na Rys. 7, że procedury eksploatacyjne i jakość obsługi przyjęto tu jako stałe ($uZ_oO = +iy_0$). Zwiększanie R_o , przy założeniu stałości cech nieinherentnych jest możliwe poprzez poprawę doskonałości technicznej obiektu lub zmniejszenie obciążeń roboczych obiektu (uZ_pO przyjmuje wartości $x_1 < x_2 < x_3$).

Punkty opisujące liczbę zespoloną P_rO układają się na prostej równoległej do osi rzeczywistej, a R_o przyjmuje wartości $R_{o3,1} > R_{o2,1} > R_{o1,1}$.

Przypadek II. (Rys. 8) Zwiększenie R_o uzyskano poprzez poprawę procedur eksploatacyjnych i poprawienie jakości obsługi (uZ_oO przyjmuje wartości $+iy_1 < +iy_2 < +iy_3$). Przy czym doskonałość techniczna obiektu (uZ_pO) jest stała i wynosi x_1 . Punkty opisujące liczbę zespoloną P_rO układają się na prostej równoległej do osi urojonej.

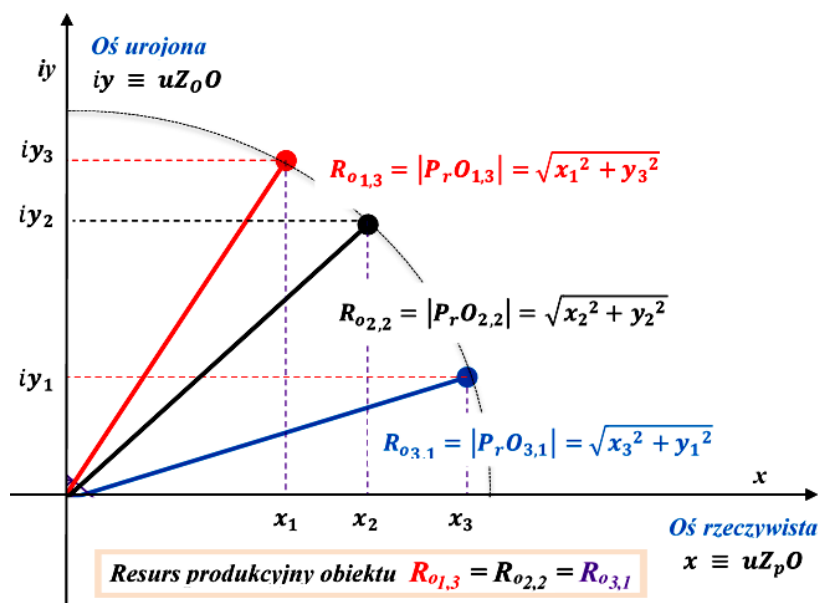


Rys. 7. (Przypadek I.) Ilustracja umownej wartości resursu $R_{o1,1}$, $R_{o2,1}$, $R_{o3,1}$ dla trzech wartości $uZ_p O$ ($x_1 < x_2 < x_3$) przy stałej wartości $uZ_o O$ wynoszącej y_1 .



Rys. 8. (Przypadek II.) Ilustracja resursów $R_{o1,1}$, $R_{o1,2}$, $R_{o1,3}$ dla trzech wartości $uZ_o O$ ($y_1 < y_2 < y_3$) przy stałej wartości $Z_p O$ wynoszącej x_1 . Wartość R_o rośnie, bo $uZ_o O \rightarrow$ rośnie przy $uZ_p O = constans$

Przypadek III. (Rys. 9) Oczekuje się stałej wartości R_o . Zachowanie założonej wartości R_o zilustrowano poprzez dobór trzech par wartości $uZ_o O$ i $uZ_p O$ ($y_1, x_3; y_2, x_2; y_3, x_1$). Widzimy, że zmniejszenie wartości $uZ_o O$ wymusza wzrost wartości $uZ_p O$ i na odwrót zmniejszenie wartości $uZ_p O$ wymusza wzrost wartości $uZ_o O$.



Rys. 9. (Przypadek III.) Ilustracja zwiększenia R_o uzyskuje się jednocześnie poprzez poprawę procedur eksploatacyjnych i poprawienie jakości obsługi (zwiększanie uZ_oO ; $y_1 < y_2 < y_3$) i udoskonalenie techniczne obiektu lub efektywniejsze wykorzystanie jego zasobu pracy (zwiększanie uZ_pO ; $x_1 < x_2 < x_3$).

Podsumowując (Rys. 7, Rys. 8) można wnioskować, że zwiększanie R_o jest możliwe poprzez zwiększanie uZ_pO (Rys. 7) oraz poprzez zwiększanie uZ_oO (Rys. 8). Oczywiście jest to możliwe w pewnych określonych granicach możliwości techniczno-technologicznych obiektu i obsługowo-organizacyjnych jego procesu eksploatacji.

2.6. Podsumowanie z ilustracji wartości P_rO i P_o (R_o) w funkcji zmian Z_pO i Z_oO

Głównym celem ilustracji P_o (R_o) (Rys. 3, Rys. 4, Rys. 5, Rys. 6, Rys. 7, Rys. 8, Rys.9) było pokazanie jak zmiany Z_iO (Z_pO) i $Z_{ni}O$ (Z_oO) wpływają na zmianę położenia P_rO na płaszczyźnie zespolonej oraz jak wyznacza się z P_rO wartość P_o (R_o). Punkty P_rO równo oddalone od początku układu wyznaczają tą samą wartość P_o (R_o) obiektu dla różnych kombinacji Z_pO i Z_oO . P_rO umieszczone na linii równoległej od osi urojonej wskazują na stałość Z_pO , a umieszczone na linii równoległej od osi rzeczywistej na stałość Z_oO . Oznacza to, że:

- 1) aby zachować wartość P_o (R_o) = constans, to przy zmianie a musi być zmienione ib i odwrotnie, przy zmianie ib musi być zmienione a ,
- 2) aby P_o (R_o) wzrósł, wymagany jest wzrost przynajmniej jednego czynnika a lub ib przy niemalejącej wartości drugiego (jednak najbardziej adekwatna ocena wzrostu jest wtedy, gdy suma geometryczna zmian a oraz ib jest dodatnia),
- 3) jeśli wartość ib maleje przy stałej wartości a , należy się liczyć ze zmniejszeniem P_o (R_o), czyli możliwością:
 - a) zwiększonej liczby uszkodzeń,
 - b) szybszego osiągnięcia stanów granicznych,
 - c) szybszego zużywania obiektu,
- 4) jeśli z badań eksploatacyjnych wynika pogorszenie ib to by zachować stałą wartość P_o (R_o) należy odpowiednio zwiększyć wartość a czyli:

- a) poprawić jakość/częstotliwość obsługi,
- b) zastosować nowe procedury obsługowe itp.

2.7. Przykładowe obliczenia R_o dla hipotetycznych wartości uZ_oO i uZ_pO

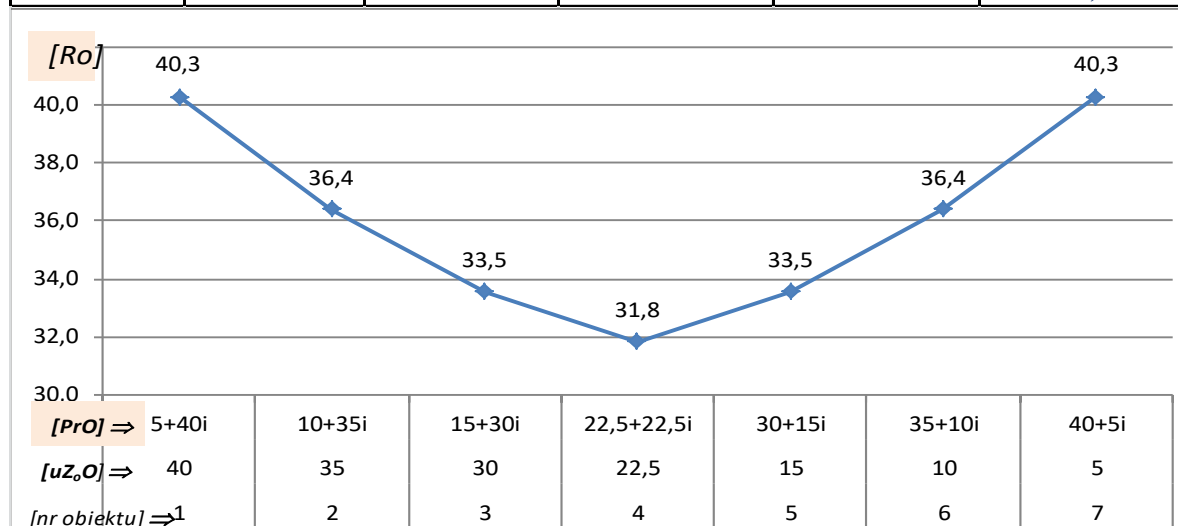
Dla zilustrowania sposobu wykorzystania opracowanych modeli do wyznaczania P_rO i $P_o(R_o)$ dla obiektów technicznych przedstawiono charakterystyczny przykład eksploatacyjnej analizy (Tabela 1 i Wykres 1.).

W Tabeli 1. podano, dla siedmiu obiektów, hipotetyczne wartości - $uZ_pO = (5, 10, 15, 22.5, 30, 35, 40)$ j.u.) z których każdy jest obsługiwany w innym systemie eksploatacji o numerach 1 do 7, w których przeznaczono dla obiektu odpowiednio wartości - $uZ_oO = (40, 35, 30, 22.5, 15, 10, 5)$ j.u.).

Dla tak przyjętych danych obliczono P_rO i $P_o(R_o)$ dla poszczególnych obiektów. Zestawienie danych i wyniki obliczeń przedstawiono w Tabeli 1 i na Wykres 1.

Tabela 1. Zestawienie danych hipotetycznych wartości uZ_oO i uZ_pO oraz wyników obliczeń P_rO i R_o

Obiekt techniczny	uZ_pO	Rodzaj systemu eksploatacji	uZ_oO	P_rO	R_o
nr obiektu	j.u.	nr systemu	j.u.	liczba zespolona	j.u.
1	5	1	40	5+40i	40,3
2	10	2	35	10+35i	36,4
3	15	3	30	15+30i	33,5
4	22,5	4	22,5	22,5+22,5i	31,8
5	30	5	15	30+15i	33,5
6	35	6	10	35+10i	36,4
7	40	7	5	40+5i	40,3



Wykres 1. Umowna wartość $P_o(R_o)$ dla obiektu w funkcji jednoczesnej zmiany $uZ_pO = (5; 10; 15; 22,5; 30; 35; 40)$ j.u.) i $uZ_oO = (40; 35; 30; 22,5; 15; 10; 5)$ j.u.) tak by została zachowana stała wartość kosztowa jednostek umownych (45 j.u.) w liczbie zespolonej P_rO .

Z przedstawionego przykładu (Tabela 1 i Wykres 1) wynika, że przy tej samej prostej arytmetycznej sumie jednostek uZ_pO i uZ_oO wynoszącej 45 j.u. wartość $P_o(R_o)$ obliczana z modułu różnych P_rO nie ma stałej wartości. Co ciekawe minimum $P_o(R_o)$ otrzymaliśmy stosując zrównoważony poziom zasobów Z_pO i Z_oO . Można to wytłumaczyć, że dla przeciętnej doskonałości system obsługi i przeciętnej doskonałości jakości obiektu, ryzyko przejścia w stan

niezdatności jest największe oraz największe jest ryzyko nieefektywnego wykorzystania tych zasobów. Dla obiektów o małej doskonałości technicznej (małej wartości Z_pO), ale w bardzo dobrym systemie eksploatacji (duża wartość Z_oO) jest większa szansa na całkowite wykorzystanie zasobu pracy obiektu (Z_pO). Natomiast dla obiektów o dużej niezawodności oraz trwałości (duża wartość Z_pO) w małym zasobie usług eksploatacyjnych (mała wartość Z_oO) mamy zminimalizowany wpływ od niskiej jakości zadań obsługowych. Dodatkowo takie systemy obsługują zazwyczaj specjaliści o wysokich kwalifikacjach obsługowych oraz korzysta się w nich z dedykowanych systemów diagnostycznych.

To co wydawałoby się naturalne, że należy równoważyć rozdział doskonałości na obiekt i jego system obsługowy, okazało się być przez zaprezentowany przykład obliczeniowy zakwestionowane.

Jednym ze sposobów interpretacji opisu umownych wartości jednostek może być opis kosztowy. Zakładamy, że obiekty 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 realizują tę samą produkcję. Za pomocą proponowanego modelu możemy dokonać analizy tego, kiedy opłaca nam się ponieść większe koszty, czy na etapie produkcji/zakupu obiektu czy na etapie jego eksploatacji. Np. dla wyprodukowania obiektu pierwszego musieliśmy przeznaczyć 5 j.u. kosztów. Ze względu na zastosowane oszczędności w jego wytworzeniu (w stosunku do obiektu 7 na wyprodukowanie którego zużyliśmy 40 j.u.) niezbędnym było zastosowanie droższych procedur jego eksploatacji (w wymiarze wykorzystania całego jego resursu) wycenionych na 40 j.u. kosztów. Jednostki umowne mogą być np. w tys złotych. Ponieważ P_rO opisano kosztami to wyznaczony z niego wykres R_o (Rys. 9.) pokazuje nam, jak dobrać koszty produkcji i eksploatacji by uzyskać maksymalny efekt R_o . Zakładając, że mamy ograniczenia przy podwyższaniu jakości produkcji (lub kupujemy obiekt np. 1) to by uzyskać określony resurs (np. 40,3 j.u.) musimy ponieść koszty eksploatacji w wymiarze 40 j.u. kosztów.

To nadal są jednak analizy tylko jakościowe ale pokazują nam, że do oceny resursu produktywności obiektu oraz jego resursu musimy prowadzić jednoczesną analizę kosztów zarówno produkcji/zakupu obiektów, jak i kosztów jego eksploatacji, które są niezbędne do poniesienia by daną produktywność (resurs produkcyjny obiektu) uzyskać. Oczywiście model ma wpisane ograniczenia co do min/max kosztów produkcji i max/min kosztów eksploatacji dla konkretnych obiektów w konkretnych warunkach ich eksploatacji.

3. Wnioski końcowe

Opracowana innowacyjna metoda analizy, szacowania i optymalnego doboru ilości zasobów inherentnych Z_iO (Z_pO) i nieinherentnych $Z_{ni}O$ (Z_oO) przy wyznaczaniu produktywności (P_o)\resursu produkcyjnego (R_o) obiektu\organizacji z wykorzystaniem autorskiego modelu potencjału roboczego obiektu (P_rO) zapisanego w przestrzeni liczb zespolonych (w *ciele* \mathbb{C}) wnosi nowe możliwości teoretyczne i aplikacyjne w powiązaniu dziedzin nauk technicznych i ekonomicznych. W dziedzinie nauk technicznych może służyć do optymalnego projektowania obiektu technicznego dla ustalonego systemu eksploatacji lub doboru zasobów obsługowych do danej doskonałości obiektu i planowanej intensywności jego wykorzystania. W dziedzinie ekonomii może służyć do optymalizowania produktywności dla posiadanych\planowanych (inherentnych i nieinherentnych) zasobów wytwórczych w aspekcie maksymalizowania\optymalizowania zysków.

Opracowany model P_rO daje duże możliwości pogładowego prowadzenia analizy oraz oszacowań (za pomocą jednego globalnego wskaźnika liczbowego) wpływu zmian doboru zasobów wytwórczych np. jakości obsługowych/operatorskich ($Z_{ni}O$, Z_oO) jak i/lub zmian jakości produkcyjnej obiektów (Z_iO , Z_pO). Natomiast opracowany model wykorzystania wartości P_rO do wyznaczania wartości P_o (R_o) umożliwia proste przejście z analizy potencjału roboczego na ocenę produktywności obiektu\procesu\organizacji.

Zatem metoda zawiera w sobie dwa etapy możliwej analizy: techniczno-technologiczną (konstrukcyjno-eksploatacyjną) związaną z doбором jakościowym obiektów do systemów eksploatacji (lub systemu obsługi do danego obiektu\procesu\organizacji) oraz zasobowo-ekonomiczną związaną z szacowaniem zdolności produkcyjnych oraz optymalizowaniem liczby produktów i zysków.

Opracowane modele można wykorzystać również (zwłaszcza po aplikacji modeli do systemu zbierania i przetwarzania danych) do monitorowania zmian procesu eksploatacji i stanu technicznego obiektu\procesu\organizacji na zmiany zdolności produkcyjnych badanego obiektu w danym środowisku eksploatacyjnym.

W zaprezentowanej w artykule postaci modele umożliwiają oszacowanie P_o (R_o) na dużym poziomie ogólności zależnym od sposobu doboru jednostek umownych (*j.u.*) dla Z_iO (Z_pO) i $Z_{ni}O$ (Z_oO). Pokazane w artykule zilustrowanie użyteczności zaproponowanych modeli P_rO w wyznaczaniu wartości P_o (R_o), dla szczególnych przypadków uZ_pO i uZ_oO , wskazuje na duże możliwości aplikacyjne opracowanej metody z opracowanymi dla niej modelami P_rO i P_o (R_o). Na podstawie tych przykładów można stwierdzić, że zaproponowany model P_rO umożliwia:

- bardzo dobre zilustrowanie wpływu zmian Z_pO i Z_oO na wartość P_rO ,
- proste wyznaczanie/oszacowanie z P_rO zmian P_o (R_o) obiektów\procesów\organizacji,
- szybkie wspomaganie bieżącej oceny możliwości produkcyjnych obiektów przy zmianach warunków eksploatacyjnych i/lub zmianach stanu technicznego obiektu bazującego na wartościach P_o (R_o) obiektów.

Pokazany w końcowej części artykułu (z wykorzystaniem metody eksperckiej) schemat szacowania wartości P_o (R_o) obiektów dla przyjętych wartości uZ_pO i uZ_oO dał interesujące wyniki. Minimum P_o (R_o) otrzymujemy przy zrównoważonym poziomie uZ_pO i uZ_oO obiektów. Czyli równoważenie nakładów finansowych ponoszonych na wzrost uZ_pO i uZ_oO nie daje optymalnej wartości P_o (R_o) obiektu. Uzyskane wyniki pokazują, że zaproponowane modele P_rO i P_o (R_o) dla obiektów wnoszą nową jakość w szybkiej ocenie adekwatności przyjmowanych zasobów Z_iO (Z_pO) i $Z_{ni}O$ (Z_oO). Wiedza ta powinna być szczególnie przydatna tym, którzy muszą zmieniać zastosowanie obiektów lub wprowadzają obiekt do innego systemu eksploatacji niż to zalecił producent lub chcą wskazać na możliwe kierunki modernizacji eksploatacji swoich obiektów.

Przedstawione w artykule przykładowe interpretacje ilustrują tylko obszary zastosowań i nie stanowią gotowych do zastosowania modeli dla konkretnych obiektów. Przede wszystkim należałoby powyższe analizy powiązać z kosztami uzyskania zwiększonego uZ_pO i kosztami uzyskania zwiększonego uZ_oO . Wyniki takiej analizy mogą pozwolić na wybór pomiędzy doskonaleniem obiektu a doskonaleniem systemu jego obsługi oraz wspomóc w określeniu optymalnych granic tych zmian.

Ogólność opracowanych modeli może być szczególnie przydatna przy automatyzacji procesu obliczania sumarycznych wartości posiadanych uZ_pO i uZ_oO , a z nich sumarycznej wartości P_o (R_o). Tym samym model P_rO może być użyteczny również jako wskaźnik efektywności produkcji oraz wskaźnik w monitorowaniu poziomu stabilności procesu eksploatacji/utrzymania obiektów w ruchu.

4. References

1. Bartkowiak T, Gessner A. Modeling performance of a production line and optimizing its efficiency by means of genetic algorithm. Paper presented at the ASME 2014 12th Biennial Conference on Engineering Systems Design and Analysis, ESDA 2014; 3 doi:10.1115/ESDA2014-20141.

2. Dhillon B S. *Maintainability, Maintenance, and Reliability for Engineers*. Boca Raton, London, New York: Taylor & Francis Group, 2006.
3. Downarowicz O. *System eksploatacji. Zarządzanie zasobami techniki*. Politechnika Gdańska: Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji, 1997.
4. Dwiliński L. *Podstawy eksploatacji obiektu technicznego*. Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2006.
5. EUR-Lex. Title and reference. Official Journal of the European Union June 2014; L 173 Volume 57: 12.
6. Fuqing Y, Barabadi A, Jinmei L. Reliability modelling on two-dimensional life data using bivariate weibull distribution: with case study of truck in mines. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability* 2017; 19 (4): 650–659.
7. Gabryelewicz I, Sadłowska-Wrzesińska J. *Tendencje zmian i rola czynnika ludzkiego w systemach zarządzania przedsiębiorstwem*. Częstochowa: Wydawnictwo Wydziału Inżynierii Produkcji i Technologii Materiałów Politechniki Częstochowskiej, 2014.
8. Gapp R, Fisher R, Kobayashi K. Implementing 5s within a Japanese context: An integrated management system. *Management Decision* 2008; 46(4), 565-579.
9. Griffin R W. *Podstawy zarządzania organizacjami*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, 2017.
10. Herterich M, Uebernickel F, Brenner W. The Impact of Cyber-Physical Systems on Industrial Services in Manufacturing. *Procedia CIRP* 2015; 30: 323-328.
11. Idziaszek Z, Grzesik N. Object characteristics deterioration effect on task realizability – outline method of estimation and prognosis. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability* 2014; 16 (3): 433-440.
12. Idziaszek Z, Olearczuk E. Alokacja obsłóg i zasobów w zarządzaniu trwałością obiektów technicznych. *Zagadnienia Eksploatacji Maszyn* 2005; Z.1: 115-124.
13. Jasiulewicz - Kaczmarek M. Współczesne koncepcje utrzymania ruchu infrastruktury technologicznej przedsiębiorstwa. *Wydawnictwo Instytutu Inżynierii Zarządzania Politechniki Poznańskiej* 2005: 127–134.
14. Jasiulewicz-Kaczmarek M, Bartkowiak T. Improving the performance of a filling line based on simulation. Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2016; 145(4) doi:10.1088/1757-899X/145/4/042024.
15. Jasiulewicz-Kaczmarek M, Drożyner P. Preventive and Pro-Active Ergonomics Influence on Maintenance Excellence Level, [in.] M.M. Robertson (eds.) *Ergonomics and Health Aspects, HCII 2011, LNCS 6779* Springer-Verlag Berlin Heidelberg, ISBN 978-3-642-21715-9 2011; 49-58.
16. Kałmucki W S. *Prognozowanie zasobów detali maszyn i elementów konstrukcji*. Kiszinev:1989.
17. Kosieradzka A. *Zarządzanie produktywnością w przedsiębiorstwie*. Warszawa: Wydawnictwo C.H. Beck, 2012.
18. Koźmiński A, Jemieliński D, Latusek-Jurczak D. *Zasady zarządzania*. Warszawa: Wolters Kluwer Polska, 2014.
19. Legutko S. Trendy rozwoju utrzymania ruchu urządzeń i maszyn. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability* 2009; 2(42): 8-16.
20. Liu T, Cheng L, Pan Z, Sun Q. Cycle life prediction of Lithium-ion cells under complex temperature profiles. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability* 2016; 18 (1): 25–31.

21. Martinez-Jurado P J, Moyano-Fuentes J, Jerez-Gomez P. Human resource management in Lean Production adoption and implementation processes: Success factors in the aeronautics industry. *BRQ Business Research Quarterly* 2014; 17 (1): 47-68.
22. Moubray J. et al. Maintenance management-a new paradigm. *Maintenance* 1996; 11: 1.
23. Mroczo F, Stańkowska M. Informacja jako kluczowy zasób współczesnych organizacji, [w:] Borowiecki R., Czekał J. (red.), *Zarządzanie zasobami informacyjnymi w warunkach nowej gospodarki*. Warszawa: Difin, 2010.
24. Nakajima S. *Introduction to TPM*. Portland: Productivity Press, 1988.
25. Piasecki S. *Elementy teorii niezawodności i eksploatacji obiektów o elementach wielostanowych*. Warszawa: Polska Akademia Nauk – Instytut Badan Systemowych, 1995.
26. Prokopenko J, North K. *Productivity and Quality Management: A modular programme*. International Labour Office, 1996.
27. Ronald Leandro Elizondo et al. *Beyond Productivity and Continuous Improvement: Fundamentals required for Lean Complex transformation*. *IFAC-PapersOnLine* 2016; 49-12: 467–472.
28. Shewhart W A, Wilks S S. *System Reliability theory*. New Jersey: John Wiley & Sons, 2004.
29. Stewart I, Tall D. *Podstawy matematyki*. Warszawa: Prószyński Media Sp. z.o.o., 2017.
30. Taylor A, Taylor M, McSweeney A. Towards greater understanding of success and survival of lean systems. *International Journal of Production Research* 2013; 51 (22): 6607-6630.
31. Tomaszek H, Idziaszek Z. Zarys metody oceny trwałości luf działek lotniczych. *Zagadnienia Eksploatacji Maszyn* 2004; Z.1: 99-110.
32. Trzeszczyński J, Gawron P, Murzynowski W. Wytyczne przedłużania eksploatacji zmodernizowanych bloków 100 MW – 360 MW. *Biuletyn Pro Novum* 2016; nr 2: 792-799.
33. Wang H, Pham H. *Reliability and Optimal Maintenance*, London: Springer-Verlag, 2006.
34. Woropay’a M. *Podstawy racjonalnej eksploatacji maszyn*. Bydgoszcz: Wydawnictwo Akademii Techniczno-Rolniczej, 1996.
35. Zio E. Reliability engineering: Old problems and new challenges *Reliability Engineering & System Safety* 2009; 94:125-41.
36. Żurek J. *Żywotność śmigłowców*. Warszawa: Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, 2006.

Zdzisław Idziaszek

Wydział Mechatroniki i Lotnictwa,
Wojskowa Akademia Techniczna im Jarosława Dąbrowskiego
ul. Gen. Witolda Urbanowicza 2, 00 - 908 Warszawa 46, Poland
E-mail: zdzislaw.idziaszek@wat.edu.pl
