



**POLYTECHNICA
STETINENSIS**

**HONORIS CAUSA
DOCTORIS**

**Ceslao
CEMPIEL**

Spis treści

Sylwetka prof. zw. dr. hab. Czesława Cempla	5
Słowo wstępne J. M. Rektora Politechniki Szczecińskiej prof. dr. hab. inż. Stefana Berczyńskiego	7
Laudacja promotora prof. zw. dr. hab. inż. Krzysztofa Marchelka	9
Wykład prof. zw. dr. hab. Czesława Cempla "Modele systemów przetwa- rzania energii w teorii i inżynierii systemów"	17

65926

CZ
232791

UROCZYSTA PROMOCJA

Prof. zw. dr. hab. Czesława CEMPLA
członka korespondenta PAN

na

DOKTORA HONORIS CAUSA
POLITECHNIKI SZCZECIŃSKIEJ



2 grudzień 1996

Rektor
Politechniki Szczecińskiej
prof. dr hab. inż. Stefan Berczyński



CZ. 65926

Promotor
prof. zw. dr hab. inż. Krzysztof Marchelek

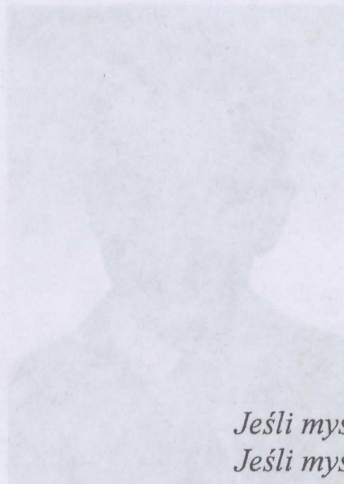
Dziekan
Wydziału Mechanicznego
Politechniki Szczecińskiej
dr hab. inż. Mieczysław Wysiecki, prof. ndzw. PS

Biblioteka Główna
Zachodniopomorskiego Uniwersytetu
Technologicznego w Szczecinie
CZ . 65926



001-065926-00-0

SYLWETKA
PROF. ZW. DR. HAB. CZESŁAWA CIMPLA



Czesław Cimpel, profesor zwyczajny Politechniki Poznańskiej, członek korespondent Polskiej Akademii Nauk jest wybitnym uczonym, specjalistą w dziedzinie, wzbudkującej i sterującej maszynami.

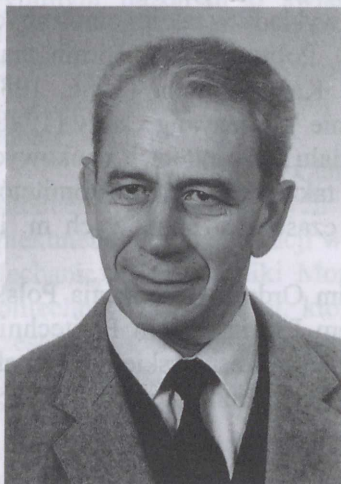
Urodził się 22 lipca 1938 roku w Biskupicach koło Ostrzyna Wielkopolskiego. Studia wyższe odbył na Wydziale Matematyki, Fizyki i Chemii Uniwersytetu Adama Mickiewicza w Poznaniu, uzyskując w roku 1962 dyplom magistra fizyki w zakresie Dynamiki i Akustyki. Po

*Jeśli myślisz rok naprzód, zasiej ziarno
Jeśli myślisz dziesięć lat naprzód, zasadź drzewo
Jeśli myślisz sto lat naprzód, kształć ludzi.*

*Zasiewając ziarno, raz zbierzesz plon
Sadząc drzewo, zbierasz plon dziesięciokrotny
Kształcąc ludzi (i siebie), zbierasz plon stukrotny.*

*(anonimowy poeta chiński,
VI wiek przed Chrystusem)*

SYLWETKA
PROF. ZW. DR. HAB. CZESŁAWA CEMPLA



Czesław Cempla, profesor zwyczajny Politechniki Poznańskiej, członek korespondent Polskiej Akademii Nauk jest wybitnym uczonym, specjalistą w dynamice, wibroakustyce i diagnostyce maszyn.

Urodził się 22 lipca 1938 roku w Biskupicach koło Ostrowa Wielkopolskiego. Studia wyższe odbył na Wydziale Matematyki, Fizyki i Chemii Uniwersytetu Adama Mickiewicza w Poznaniu, uzyskując w roku 1962 dyplom magistra fizyki w zakresie Drgania i Akustyka. Po ukończeniu studiów w latach 1962-64 pracował jako asystent prof. prof. M. Kwieka i E. Karaśkiewicza w Katedrze Akustyki i Teorii Drgań Uniwersytetu. Od

roku 1964 pracuje w Politechnice Poznańskiej na Wydziale Budowy Maszyn, na początku w Katedrze Mechaniki jako asystent prof. E. Karaśkiewicza, a po reorganizacji do chwili obecnej w Instytucie Mechaniki Stosowanej.

Stopień naukowy doktora nauk technicznych uzyskał na Wydziale Budowy Maszyn Politechniki Poznańskiej w 1968 roku. Stopień naukowy doktora habilitowanego nadała Mu Rada Wydziału Budowy Maszyn Politechniki Poznańskiej w 1971 r. W latach 1972-77 pracował na stanowisku docenta. W roku 1977 uzyskał tytuł naukowy profesora nadzwyczajnego a w roku 1985 - profesora zwyczajnego. Od roku 1994 jest członkiem korespondentem Polskiej Akademii Nauk. W roku 1991 został wybrany do Komitetu Badań Naukowych i ponownie na drugą kadencję w 1994 r.

Pełnił wiele odpowiedzialnych funkcji w Politechnice Poznańskiej i poza nią. Przez wiele kadencji był zastępcą dyrektora Instytutu Mechaniki Stosowanej, będąc również jego dyrektorem przez jedną kadencję. Od roku 1993 jest dziekanem Wydziału Budowy Maszyn.

Główną dziedziną zainteresowań naukowych prof. Czesława Cempla jest Wibroakustyka Maszyn i Systemów z głębokimi implikacjami i aplikacjami w

Dynamice i Eksploatacji Maszyn, Teorii i Analizy Sygnałów Wibroakustycznych, Diagnostyce Maszyn i Systemów Technicznych, Teorii i Inżynierii Systemów. Jest współtwórcą polskiej szkoły naukowej wibroakustyki i diagnostyki maszyn. Opublikował ponad 280 oryginalnych prac naukowych w czasopiśmie krajowych i zagranicznych oraz w sprawozdaniach z krajowych i zagranicznych konferencji naukowych. Jest autorem 8 monografii książkowych i 3 skryptów.

Profesor Czesław Cempel jest członkiem wielu krajowych i zagranicznych towarzystw naukowych. Bardzo aktywnie współpracuje z wieloma zagranicznymi ośrodkami naukowymi. Prowadził wykłady w tak renomowanych uczelniach jak np. RWTH-Aachen (1982 i 1983), Politechnika w Birmingham (1985), MIT - Cambridge (1987), Uniwersytet Kaiserslautern (1986, 1988, 1990), Uniwersytet Hanover (1986-1996, corocznie), Shenyang Chiny (1988), Uniwersytet Oulu (1992). Jest zapraszany do udziału w komitetach naukowych konferencji krajowych i zagranicznych jest także członkiem komitetów redakcyjnych wielu krajowych i zagranicznych czasopism naukowych m. in. "Mechanical Systems and Signals Processing".

Odnaczony m. in. Krzyżem Kawalerskim Orderu Odrodzenia Polski, Medalem Komisji Edukacji Narodowej, Medalem Pamiątkowym Politechniki Poznańskiej, Medalem Zasługi dla Politechniki Rzeszowskiej, Odznaką Honorową Akademii Górniczo-Hutniczej, Medalem Pamiątkowym 50-lecia Wydziału Mechanicznego Politechniki Szczecińskiej.

SŁOWO WSTĘPNE

Profesor Czesław Cempel, członek korespondent Polskiej Akademii Nauk, Dziekan Wydziału Budowy Maszyn Politechniki Poznańskiej jest wybitnym uczonym o światowym autorytecie w dziedzinie wibroakustyki maszyn i systemów, współtwórcą polskiej szkoły naukowej w tym zakresie. Jego dokonania naukowe znalazły międzynarodowe uznanie i stanowią trwałe i znaczący wkład w rozwój reprezentowanych przez Niego obszarów nauk technicznych.

Profesor Czesław Cempel ma również liczące się osiągnięcia w zakresie kształcenia kadr naukowych. Był promotorem w 14 przewodach doktorskich, opiekunem wielu habilitacji w swojej macierzystej uczelni i poza nią. Wydziały: Mechaniczny i Techniki Morskiej naszej uczelni są tymi jednostkami spoza Politechniki Poznańskiej, które dostały zaszczytu współpracy z Profesorem Czesławem Cemplem. Profesor nie szczędził swojej wiedzy i czasu na liczne dyskusje naukowe i konsultacje udzielane pracownikom naszej Politechniki, przygotowującym rozprawy doktorskie i habilitacyjne. Dzisiaj wielu z nich może się poszczycić tytułami naukowymi i stanowiskami profesorów. To, iż mogę zaliczyć do tej grupy także siebie, uważam za duże wyróżnienie. Profesor Czesław Cempel wywarł określony wpływ na przebieg i rozwój mojej kariery naukowej. Był najpierw recenzentem mojej rozprawy doktorskiej, a następnie habilitacyjnej. W trakcie dyskusji odbytych z Profesorem z tej okazji powstało wiele pomysłów, które potem zaowocowały efektywnymi rozwiązaniami, ważnymi dla rozwoju metod identyfikacji i modyfikacji właściwości dynamicznych obrabiarek, dziedziny, która jest moją specjalnością naukową. Jestem za to Profesorowi niezmiennie wdzięczny.

Z inicjatywy Profesora Czesława Cempla Instytut Technologii Mechanicznej oraz Katedra Mechaniki i Podstaw Konstrukcji Maszyn z Wydziału Mechanicznego nawiązały bardzo obiecującą i szybko rozwijającą się współpracę z Instytutem Curta Rischa i Instytutem Technik Wytwarzania i Obrabiarek Skrawających Uniwersytetu w Hanowerze. Współpraca ta przejawia się w organizowaniu warsztatów naukowych i wspólnej realizacji grantów naukowo-badawczych. Promocja i wyprowadzanie jednostek organizacyjnych naszej uczelni na szersze międzynarodowe "wody" naukowe ma dla ich rozwoju naukowego bardzo duże znaczenie.

Wpływ Profesora Cempla na rozwój naukowy zespołów badawczych naszej uczelni działających w obszarze dynamiki obrabiarek był i jest istotny.

Osobiste zaangażowanie, cechy charakteru i osobowość Profesora miały tutaj ogromne znaczenie.

Biorąc powyższe pod uwagę, Senat Akademicki Politechniki Szczecińskiej, przy jednoczesnym poparciu Senatów Akademickich Politechniki Warszawskiej, Politechniki Gdańskiej i Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, podjął uchwałę o nadaniu Profesorowi Czesławowi Cemplowi tytułu doktora honoris causa. Aktem tym honorujemy uczonego wielkiego formatu i zarazem wypróbowanego przyjaciela naszej uczelni. Jego obecność wśród nas przydaje splendoru naszej Politechnice.

Żywiąc niezłomną nadzieję, że nasza współpraca będzie owocnie kontynuowana przez długie lata.

Prof. dr hab. inż. Stefan Berczyński
Rektor Politechniki Szczecińskiej

Promotor prof. zw. dr hab. inż. Krzysztof Marchelek

Laudacja

poświęcona Panu Prof. zw. dr. hab. Czesławowi Cempłowi

Magnificencjo Rektorze!

Wysoki Senacie!

Szanowny Doktorze Honorowy!

Szanowni Państwo!

Przypadł mi w udziale wielki zaszczyt, a zarazem wielka przyjemność przedstawienia sylwetki oraz dokonań i zasług Profesora Czesława Cempla, Członka Korespondenta Polskiej Akademii Nauk, Dziekana Wydziału Budowy Maszyn Politechniki Poznańskiej.

Bardzo bogaty i znaczący w skali światowej jest dorobek naukowy prof. Czesława Cempla. Głównym obszarem Jego aktywności naukowej jest Wibroakustyka Maszyn i Systemów z głębokimi implikacjami i aplikacjami w Dynamice i Eksploatacji Maszyn, Teorii i Analizie Sygnałów Wibroakustycznych, Diagnostyce Maszyn i Systemów Technicznych, Teorii i Inżynierii Systemów.

Do najważniejszych Jego osiągnięć w zakresie Wibroakustyki Maszyn i Środowiska należy opracowanie korelacyjno-koherencyjnej metody identyfikacji hałasu i akustycznych własności pomieszczeń produkcyjnych. Zwieńczeniem badań w tym obszarze było opracowanie pierwszej krajowej monografii pt. "Wibroakustyka Stosowana", która doczekała się w PWN trzech wydań (1978, 1985, 1989), przy czym wydanie trzecie jest całkiem zmienione.

Powszechnie uważa się, że prof. Czesław Cempel wspólnie z prof. Zbigniewem Engelem z Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie są twórcami polskiej szkoły naukowej Wibroakustyki, a wspomniana uprzednio monografia była bardzo pomocna przy kreowaniu tej nowej dziedziny wiedzy technicznej.

Niemniej znaczące są dokonania i osiągnięcia prof. Czesława Cempla w zakresie Wibroakustyki Narzędzi Pneumatycznych. Pionierskie badania identyfikacyjne zagrożenia drganiowego związanego z użytkowaniem młotków pneumatycznych, źródeł choroby vibracyjnej, prowadzone wspólnie

z dr. M. Dobrym, miały charakter nie tylko poznawczy - opracowanie teorii narzędzia pneumatycznego, lecz także aplikacyjny - opracowanie oryginalnego nieliniowego wibroizolatora nie przenoszącego sił dynamicznych narzędzia z dokładnością do sił tarcia w jego konstrukcji, opatentowanego w wielu krajach świata. Młotek pneumatyczny z tym oryginalnym wibroizolatorem jest produkowany seryjnie i jest jedynym na świecie, który spełnia drganiowe normy bezpieczeństwa ISO.

W roku 1969 prof. Czesław Cempel w obszar swoich zainteresowań naukowych włączył zagadnienia dynamiki układów z uderzeniami. Owocem Jego aktywności naukowej w tym zakresie była rozprawa habilitacyjna pt. "Okresowe drgania z uderzeniami w dyskretnych układach mechanicznych". W dalszych pracach z tej dziedziny skoncentrował się na problemach wielomiarowych uderzeniowych eliminatorów drgań. Opracował efektywną i zgodną z eksperymentem koncepcję "siły równoważnej", reprezentującej ruch wielu mas w pojemniku wielomasowego eliminatora drgań.

Osiągnięcia prof. Czesława Cempla w obszarze Diagnostyki Wibroakustycznej Maszyn mają wymiar światowy. Powszechnie znane i bardzo wysoko oceniane są Jego dokonania w zakresie opracowania kilku nowych, łatwo mierzalnych, uszkodzeniowo-zorientowanych symptomów, które znalazły trwałe miejsce w diagnostyce wibroakustycznej.

Do obszaru Diagnostyki Wibroakustycznej Maszyn zaliczyć można także opracowaną przez prof. Czesława Cempla oryginalną komputerową procedurę dyskryminacji i klasyfikacji uszkodzeń, a także wyboru zbioru symptomów o minimalnej redundancji, opisujących stan maszyny. Klasyfikacja stanu maszyny to również konieczność znajomości i określenia stanu granicznego w przestrzeni symptomów stanu obiektu. Prof. Czesław Cempel zaproponował tu kilka metod będących obecnie w powszechnym użyciu w diagnostyce wibroakustycznej. Wprowadził także do zastosowań w diagnostyce wibroakustycznej pojęcie niezawodności symptomowej, które później wspólnie z prof. H. G. Natke (Universität Hannover) i prof. J. P. T. Yao (Texas AM University) zdefiniował matematycznie i wykazał jej związek z czasem awarii systemu.

Dwie monografie prof. Czesława Cempla: "Podstawy Wibroakustycznej Diagnostyki Maszyn" (WNT 1982) oraz "Wibroakustyczna Diagnostyka Maszyn" - (PWN 1989) tłumaczona także na języki: niemiecki, angielski i chiński zostały uznane w nauce jako podstawowe dla diagnostyki wibroakustycznej.

Najnowszym obszarem aktywności naukowej prof. Czesława Cempla jest Energetyczna Teoria Ewolucji Maszyn i Systemów. W trakcie prac nad modelem ewolucji stanu maszyn powstał w roku 1985 model tribowibroakustyczny, którego koncepcja polega na potraktowaniu rosnących uszkodzeń materiału i elementów maszyn jako zdyssypowanej energii zakumulowanej wewnętrznie i powiązaniu tej energii z drganiami obiektu. Współpracując w tym obszarze z prof. H. G. Natke i dr. P. Winiwarterm z Bordalier Institute

(Francja) stworzył, dzięki uogólnieniu modelu tribowibroakustycznego, teorię Procesora Energii. Koncepcja procesora energii doprowadziła do sformułowania pojęcia jego czasu życia i czasu awarii, jako miary zdyssypowanej wewnętrznie energii mierzonej od urodzenia systemu aż do jego śmierci. Na tej podstawie sformułowano Holistyczną Dynamikę Systemów Mechanicznych, ujmującą ewolucję własności systemów w czasie ich działania (życia). To nowoczesne podejście do holistycznej dynamiki systemów jest między innymi przedmiotem opracowywanej, wspólnie z prof. H. G. Natke, nowej książki pt. "Model-Aided Diagnosis of Mechanical Systems" (Springer Verlag - w druku).

Przedstawione, z konieczności w olbrzymim skrócie, osiągnięcia naukowe prof. Czesława Cempla stanowią znaczący i trwały wkład w rozwój nauki światowej. Prof. Czesław Cempel jest uznanym w kraju i za granicą wybitnym autorytetem naukowym w dziedzinie Wibroakustyki Maszyn i Systemów. Jego prace z tego zakresu są wielokrotnie cytowane jako podstawowe w publikacjach innych, bardzo często wybitnych uczonych.

Profesor Czesław Cempel bardzo aktywnie współpracuje naukowo i organizacyjnie z wieloma liczącymi się ośrodkami naukowymi w kraju i za granicą. Wymienię tylko najważniejsze z nich: na gruncie krajowym to przede wszystkim Instytut Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk w Warszawie (prof. R. Bogacz), były Instytut Mechaniki i Wibroakustyki Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie (prof. Z. Engel, prof. J. Giergiel), Politechnika Szczecińska (prof. K. Marchelek, prof. S. Berczyński), Politechnika Warszawska (zespół prof. Z. Osińskiego).

Bardzo owocna współpraca naukowa prof. Czesława Cempla z Politechniką Szczecińską, a w szczególności z obecnym Instytutem Technologii Mechanicznej Wydziału Mechanicznego datuje się co najmniej od roku 1970. Liczne prace naukowo-badawcze wykonane w Instytucie Technologii Mechanicznej z zakresu dynamiki obrabiarek były konsultowane przez prof. Cempla, co niewątpliwie wpłynęło na podniesienie ich poziomu. Prof. Cempel udostępnił forum swojego seminarium naukowego do prezentacji prac naukowych ośrodka szczecińskiego. Możliwość poddania tych prac obiektywnej krytyce naukowej uznanego w kraju gremium naukowego ma istotną wartość, której nie sposób przecenić. Profesor Cempel był jednym z inspiratorów rozwijanej w Instytucie Technologii Mechanicznej tematyki związanej z identyfikacją modeli struktur mechanicznych i analizą modalną, a ostatnio także w zakresie diagnostyki drganiowej maszyn. Profesor ma także znaczący udział w prowadzonych początkowo w Instytucie Technologii Mechanicznej, a obecnie w Katedrze Mechaniki i Podstaw Konstrukcji Maszyn, pracach w zakresie wibroizolacji maszyn i urządzeń mechanicznych oraz minimalizacji ich drgań przy użyciu eliminatorów i tłumików drgań.

Z inicjatywy prof. Czesława Cempla dwie jednostki Wydziału Mechanicznego Politechniki Szczecińskiej - Instytut Technologii Mechanicznej

oraz Katedra Mechaniki i Podstaw Konstrukcji Maszyn nawiązały współpracę naukową z Curt Risch Institut oraz Institut für Fertigungstechnik und Spanende Werkzeugmaschinen renomowanego Uniwersytetu w Hanowerze (Niemcy). Pracownicy Instytutu Technologii Mechanicznej oraz Katedry Mechaniki i Podstaw Konstrukcji Maszyn od lat uczestniczą we, współorganizowanych przez prof. Cempla w cyklu dwuletnim, Sympozjach nt. "Drgania w Układach Fizycznych".

Profesor również bardzo aktywnie działał na rzecz rozwoju kadr naukowych Wydziału Mechanicznego. Jego udział w tym procesie przejawiał się nie tylko w recenzowaniu rozpraw doktorskich i habilitacyjnych, lecz także w konsultowaniu i inspirowaniu kierunków poszukiwań naukowych dokonywanych w ramach tych rozpraw. Ostatnio prof. Czesław Cempel podjął współpracę także z Zakładem Wibroakustyki Okrętowej z Wydziału Techniki Morskiej. Rozwija się ona bardzo dynamicznie.

Równie efektywna jest współpraca prof. Czesława Cempla z naukowymi ośrodkami zagranicznymi zapoczątkowana od nawiązania roboczych kontaktów z prof. S. H. Crandalem z MIT (USA) oraz prof. R. H. Lyon'em z tej samej uczelni. Obecnie współpraca ta jest bardzo szeroka i obejmuje takie ośrodki jak Uniwersytet w Hanowerze (prof. H. G. Natke), Bordalier Institute (Francja - dr P. Winiwarter), Texas AM University (prof. J. P. T. Yao), Sheffield University (prof. G. R. Tomlinson), Technion Haifa (prof. S. Braun), Akademia Lotnicza w St. Petersburgu (prof. A. K. Yavlenski), Instytut Inżynierii Mechanicznej Rosyjskiej Akademii Nauk (prof. M. D. Gienkin i prof. A. Sokołowa), CETIM - Francja (dr M. Sidahmed).

Jeszcze liczniejsze są zaproszenia do udziału w komitetach naukowych, radach programowych konferencji naukowych i zagranicznych oraz w radach naukowych różnych instytucji naukowo-badawczych. Za swoje dokonania na polu naukowym, organizacyjnym i dydaktycznym prof. Czesław Cempel otrzymał liczne odznaczenia i honorowe wyróżnienia.

W uznaniu zasług prof. Czesława Cempla dla rozwoju nauk technicznych oraz szczególnych zasług, jakie położył dla naszej Uczelni, Senat Akademicki Politechniki Szczecińskiej przy poparciu Senatów Akademickich Politechniki Warszawskiej, Politechniki Gdańskiej i Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie podjął 24 czerwca 1996 roku uchwałę o nadaniu profesorowi Czesławowi Cempłowi godności i tytułu

Doktora Honoris Causa Politechniki Szczecińskiej

Fakt ten został udokumentowany dyplomem następującej treści:



W Imieniu Rzeczypospolitej Polskiej
My
Rektor i Senat Politechniki Szczecińskiej
oraz

Promotor prawnie ustanowiony
za wspólną zgodą Senatów
Politechniki Warszawskiej w Warszawie
Politechniki Gdańskiej w Gdańsku
Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie
nadaliśmy

Profesorowi zwyczajnemu doktorowi habilitowanemu

Czesławowi CEMPLOWI

wybitnemu uczonemu w dziedzinie dynamiki, wibroakustyki i diagnostyki maszyn i układów mechanicznych, współtwórcy polskiej szkoły naukowej wibroakustyki oraz diagnostyki maszyn, członkowi korespondentowi Polskiej Akademii Nauk, członkowi Komitetów: Budowy Maszyn, Akustyki i Mechaniki PAN, członkowi Komitetu Badań Naukowych, Dziekanowi Wydziału Budowy Maszyn Politechniki Poznańskiej oraz członkowi wielu towarzystw naukowych za granicą i w kraju
w uznaniu

Jego wybitnych zasług dla rozwoju i pogłębiania nauk technicznych a w szczególności za całokształt teoretycznych i doświadczalnych prac badawczych w obszarze wibroakustyki i diagnostyki maszyn oraz znaczący wkład w rozwój badań naukowych i kształcenia kadry naukowej z tego zakresu w Politechnice Szczecińskiej
zaszczytny tytuł

DOKTORA HONORIS CAUSA

oraz prawa i przywileje z nim związane i w dowód wiarygodności tego wydarzenia niniejszy dyplom, opatrzony w pieczęć Politechniki Szczecińskiej
wystawiliśmy

Szczecin dnia 2 grudnia 1996 roku

Dziekan

Mieczysław Wysiecki

Rektor

Stefan Berczyński

Promotor

Krzysztof Marchelek

Prof. zw. dr hab. Czesław CEMPEL

MODELE SYSTEMÓW PRZETWARZANIA ENERGII W TEORII I INŻYNIERII SYSTEMÓW

STRESZCZENIE

Wykład zawiera przegląd najnowszych wyników i zastosowań koncepcji Procesora Energii (PE) jako modelu systemów działaniowych (SD) występujących w inżynierii mechanicznej, budowlanej i inżynierii systemów w ogólności. Jest to koncepcja znacznie szersza, wyjaśniająca również zmianę stanu (ewolucję) systemów mechanicznych i zachowanie wielu systemów: fizycznych, antropotechnicznych i socjotechnicznych. Na podstawie tej koncepcji powstała niedawno holistyczna dynamika systemów mechanicznych jak i modelowo wsparta diagnostyka działaniowych systemów krytycznych.

1. WSTĘP

Akcja, każde działanie jest równoważone przez reakcję nie tylko w mechanice, lecz to wcale nie oznacza, że wystąpi efekt działania. Występuje on jedynie wtedy, gdy następuje przepływ energii poprzez rozważany obiekt modelowany jako system działaniowy. Zatem jest lepiej powiedzieć, że w wielu przypadkach akcja jest kompensowana przez reakcję. Wtedy, ponieważ nie mamy przepływu energii, to nie mamy też efektu działania. Bowiern ujęcie energetyczne zjawisk ma charakter całościowy holistyczny, taki, jaki zawsze stosujemy w najnowszej dziedzinie wiedzy i umiejętności - w teorii i w inżynierii systemów [1].

W teorii i w inżynierii drgań mechanicznych, gdzie stawiałem swe pierwsze kroki, zjawisko kompensacji lub eliminacji drgań jest szeroko znane i wykorzystywane przez aplikację tzw. eliminatorów dynamicznych, będących źródłem przeciwfazowej siły dynamicznej. Wykonawczo jest to bardzo proste, jeśli siła wymuszająca drgania jest harmoniczna, a nasz eliminator dołączony do układu głównego jest bezstratny.

Jednak w technice, zwłaszcza w systemach działaniowych inżynierii mechanicznej, procesy harmoniczne są rzadkością, podobnie jak nie istnieją bezstratne systemy mechaniczne. W efekcie mamy zatem procesy

szerokopasmowe, wielorezonansowe o skończonej gęstości widmowej mocy. Tutaj przy kompensacji drgań występuje przepływ i dyssypacja energii, a własności dynamiczne systemu najlepiej charakteryzować przez podatność szerokopasmową jako miarę energetyczną [7]. Zatem efektywność eliminacji drgań w układach rzeczywistych najlepiej charakteryzować również miarą energetyczną [8], [9]. Można to bardzo prosto zilustrować w ujęciu systemowym jak niżej. Definiując system S rekursywnie zgodnie z [2] dla przypadku eliminacji drgań będziemy mieli:

$$S = \{s, a, r\}, s = \{s_1, s_2\}, a = \{e_1, e_2\} \quad (1)$$

Tutaj s zbiór podsystemów tzn; s_1 - układ główny o niedopuszczalnych drganiach, s_2 - eliminator drgań, e_1 i e_2 odpowiednie energie jako atrybuty 'a' podsystemów, zaś 'r' jest relacją wiążącą podsystemy i otoczenie. Jeśli przez S_0 oznaczymy system mechaniczny bez eliminatora ($s_2 = 0$), zaś przez S_1 z eliminatorem, to energetyczną efektywność eliminacji drgań możemy obliczać jak niżej:

$$E_{elim} = \frac{e_{1|S_0}}{e_{1|S_1}} = \frac{\text{energia układu głównego bez eliminatora}}{\text{energia układu głównego z eliminatorem}} \quad (2)$$

Wzór ten dla wymuszenia harmonicznego daje znaną efektywność w postaci ilorazu amplitud systemów 'bez' i 'z' eliminatorem. Ta energetyczna definicja eliminacji jest niezwykle użyteczna w systemach działaniowych inżynierii mechanicznej, a nawet inżynierii systemów w ogóle. Lecz wychylając się poza mechanikę i fizykę w stronę inżynierii systemów powstaje od razu pytanie, co to są systemy działaniowe i czym jest energia przez nie transformowana? Nie znając odpowiedniej definicji systemu działaniowego (SD), zestawmy ją z ogólnej definicji Natke, podanej wyżej. Interpretując zbiór relacji 'r' w systemie (1) podzielimy ten zbiór na dwa podzbiory $r = \{r_w, r_z\}$. Tutaj zbiór relacji zewnętrznych r_z definiuje oddziaływanie z metasystemem (środowiskiem) - czyli definiuje misję systemu działaniowego, natomiast zbiór relacji wewnętrznych r_w definiuje strukturę wewnętrzną, niezbędną do realizacji tej misji. Tak więc można napisać definicję systemu działaniowego - SD w postaci:

$$S = \{(s_1, \dots, s_n); (a_1, \dots, a_n); (r_w, r_z)\}, \quad (3)$$

gdzie w najprostszym przypadku atrybuty a_i mogą być energiami e_i transformowanymi przez podsystem s_i .

A co to jest energia, która płynie i jest transformowana podczas działania lub życia systemu? Przy takiej ogólności zapisu systemu, nawet o naturze czysto mechanicznej, mamy w nim cały agregat form energii. Bowiem już dla prostego łożyska tocznego w ruchu mamy co najmniej energię kinetyczną, potencjalną, sprężystą, elektromagnetyczną, ciepłą i wibroakustyczną. Jakiej więc definicji potrzebujemy w inżynierii mechanicznej dla opisu ewolucji stanu maszyn, systemów maszynowych, antropotechnicznych i socjotechnicznych? Czy potrafimy mierzyć ten agregat energii?

Według encyklopedii [3] mamy opis energii fizycznej w postaci: **energia jest jedną z wielkości skalarnych opisujących stan systemu, równoważna możliwej do wykonania pracy i spełniająca prawa konwersji i zachowania.** Jeśli zaś przypomnimy sobie za Heraklitem, że **panta rei** - wszystko płynie - wszystko jest w ruchu, to jednym z atrybutów stanu każdego systemu jest jego stan ruchu, ewolucji itp. Całkiem zaś niedawno w czasopiśmie towarzystwa Scientific and Medical Network [4] znalazłem uogólnienie tej definicji przez dodanie jeszcze jednego ważnego atrybutu energii **uporządkowania**. Autor przypomina na wstępie, że istnieje powszechna zgoda, że wszystko, co istnieje we wszechświecie jest pewną formą energii i definiuje ją następująco: **energy is that which consist simply in its own movement and order.** Można by to przetłumaczyć: **energia jest tym, co naturalnie zawiera w sobie swój ruch i uporządkowanie.** Zaś w innym miejscu pisze jeszcze prościej: **energy is movement - order** czyli **energia to uporządkowany ruch lub uporządkowana aktywność.** Czego? W tym ujęciu zarówno cząstki elementarnej z jednej strony, jak i myśli człowieka z drugiej. Z tego, co powiedziano wynika, że najpełniejsze określenie energii jako wielkości pierwotnej może być następujące: **energia to zdolność do wykonania pracy przez system działaniowy na jego otoczeniu.** Jakiej pracy? specyficznej dla danej dziedziny istnienia systemu; fizycznej, biologicznej, ..., mentalnej, społecznej itd. Czy zatem dla tak szerokiej klasy systemów działaniowych możliwy jest jeden model procesora energii?

2. EWOLUCJA STANU SYSTEMÓW DZIAŁANIOWYCH - PROCESOR ENERGII

Moje myślenie o systemie działaniowym jako o procesorze energii wyszło z diagnostyki maszyn i zaczęło się we wczesnych latach 80-tych. Było podyktowane chęcią uzyskania modelu ewolucji stanu technicznego w powiązaniu z obserwowanym drganiowym symptodem stanu [5]. Stała



refinacja ogłoszonego tam modelu TriboWibroAkustycznego (TWA) maszyny [10] doprowadziła do koncepcji procesora energii opisanego równaniem różniczkowym jego ewolucji stanu. Doprowadziła również do definicji czasu przeżycia procesora θ_b , definicji bezwymiarowego czasu życia $D = \frac{\theta}{\theta_b}$ równoważnego mierze zużycia, np. wg prawa Palmgren - Minera dla zmęczenia, Archarda dla tarcia, Odkwista - Kaczanowa dla pełzania itp. Doprowadziła ona dalej do zbioru prostych modeli symptomowych opisujących ewolucję stanu procesora energii [11] (symptom to mierzalna wielkość fizyczna proporcjonalna do nieobserwowalnej zmiennej opisującej stan systemu).

W obecnym ujęciu procesor energii jako model systemu działaniowego, w najprostszym przypadku maszyny, może być przedstawiony jak na rysunku 1. Tutaj wejściowy strumień energii jest równoważny zasileniu systemu w energię, materiał, sterowanie i interakcję z otoczeniem. Strumień ten zgodnie z definicją energii (ruch i uporządkowanie) zostaje przekształcony zgodnie z celem projektowym (misją) obiektu na jego produkt, czyli na energię wyższego stopnia uporządkowania i ruchu oraz na energię dyssypowaną wewnątrz i zewnątrz o niższym stopniu ruchu (aktywności) i uporządkowania. Energia dyssypowana wewnątrz idzie na destrukcję systemu i akumuluje się, a z racji skończonego potencjału destrukcji następuje w efekcie śmierć systemu. Obserwacja zaawansowania stanu destrukcji jest możliwa pośrednio na wyjściu systemu przez pomiar symptomu S utworzonego z mocy procesu strat i/lub dyssypacji V .

Relacje konstytutywne wiodące do modelu ewolucji PE w jego czasie życia Θ są następujące (patrz rys. 1):

1. Bilans mocy systemu działaniowego (SD)

$$N_i(\Theta) = N_u(\Theta) + N_d(\Theta), \quad N_d(\Theta) = N_{da}(\Theta) + V(\Theta). \quad (4)$$

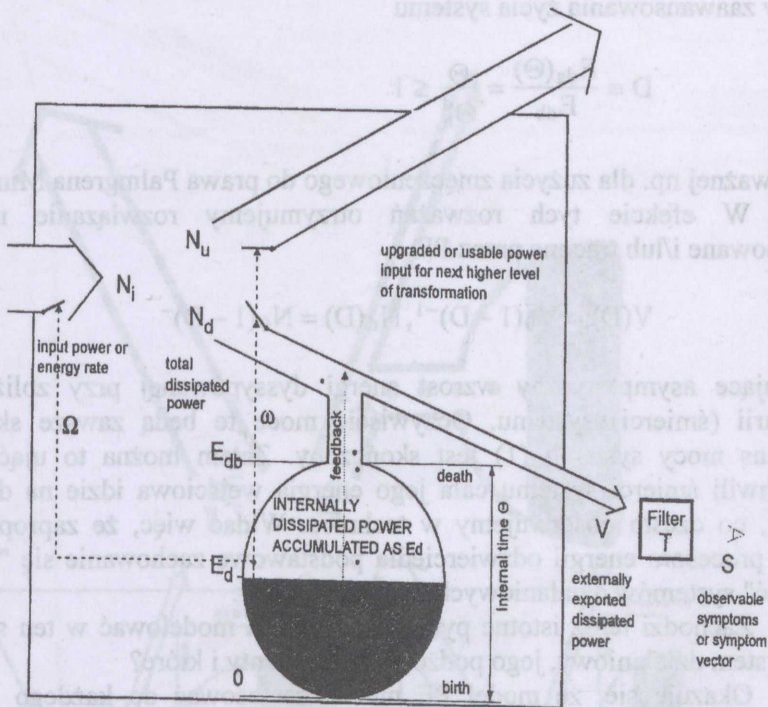
2. Skończony potencjał dyssypacji (destrukcji) SD

$$E_{da}(\Theta, V) = \int_0^{\Theta} [N_d(\theta) - V(\theta)] d\theta \leq E_{dt}. \quad (5)$$

3. Destrukcyjne (dodatnie) sprzężenie zwrotne wyjścia i stanu

$$dV(\Theta) = \beta dE_{da}(\Theta, V), \quad \beta = \text{const.} > 0. \quad (6)$$

4. Relacja tożsamości (niezmienniczości) systemu w czasie jego życia



Rysunek 1. Przepływ i transformacja energii w systemie działaniowym - Processor Energii

$$\frac{dN_d}{dV} = \alpha = \text{const.}, \Rightarrow V = \alpha^{-1} N_d + \text{const.}, \alpha \gg 1. \quad (7)$$

Rozpatrzenie tych relacji konstytutywnych wiedzie do równania różniczkowego ewolucji wyjścia dyssypacji zewnętrznej PE w postaci:

$$\frac{dV}{V} = \frac{\beta(\alpha - 1)d\Theta}{1 - \beta(\alpha - 1)\Theta}. \quad (8)$$

i podobnie zgodnie z (6) dla mocy dyssypacji całkowitej systemu N_d .

Wiedzie ono dalej do definicji czasu przeżycia PE (gdy mianownik powyższego dąży do zera):

$$\Theta_b^d = [\beta(\alpha - 1)]^{-1}, \alpha > 1, \quad (9)$$

i miary zaawansowania życia systemu

$$D \equiv \frac{E_{da}(\Theta)}{E_{db}} = \frac{\Theta}{\Theta_h^d} \leq 1 \quad (10)$$

równoważnej np. dla zużycia zmęczeniowego do prawa Palmgren-Minera.

W efekcie tych rozważań otrzymujemy rozwiązanie na moce dyssypowane i/lub tracone przez PE

$$V(D) = V_0(1 - D)^{-1}, N_d(D) = N_0(1 - D)^{-} \quad (11)$$

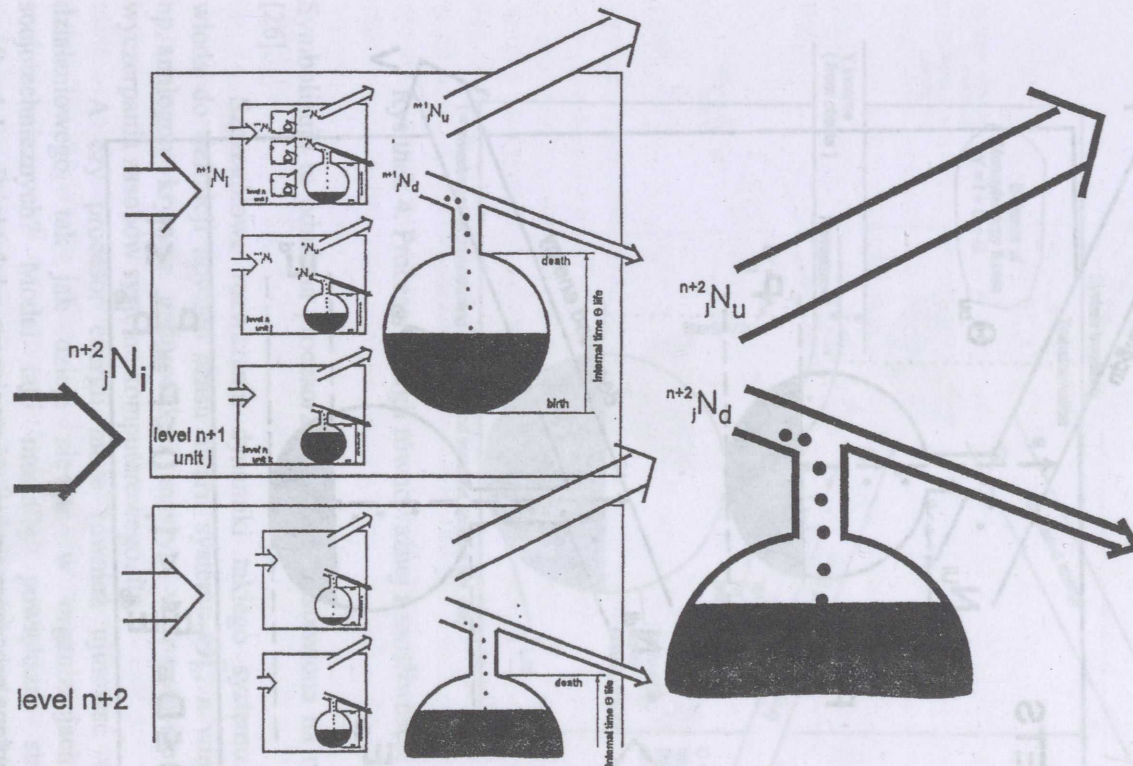
pokazujące asymptotyczny wzrost energii dyssypowanej przy zbliżaniu się do awarii (śmierci) systemu. Oczywiście moce te będą zawsze skończone, bo bilans mocy systemu (1) jest skończony. Zatem można to ująć inaczej, że w chwili śmierci systemu cała jego energia wejściowa idzie na destrukcję i straty, co często obserwujemy w technice. Widać więc, że zaproponowany model procesora energii odzwierciedla podstawowe zachowanie się "działanie i śmierć" systemów działaniowych i ich elementów.

Zachodzi teraz istotne pytanie: co można modelować w ten sposób? - cały system działaniowy, jego podzespoły, elementy i które?

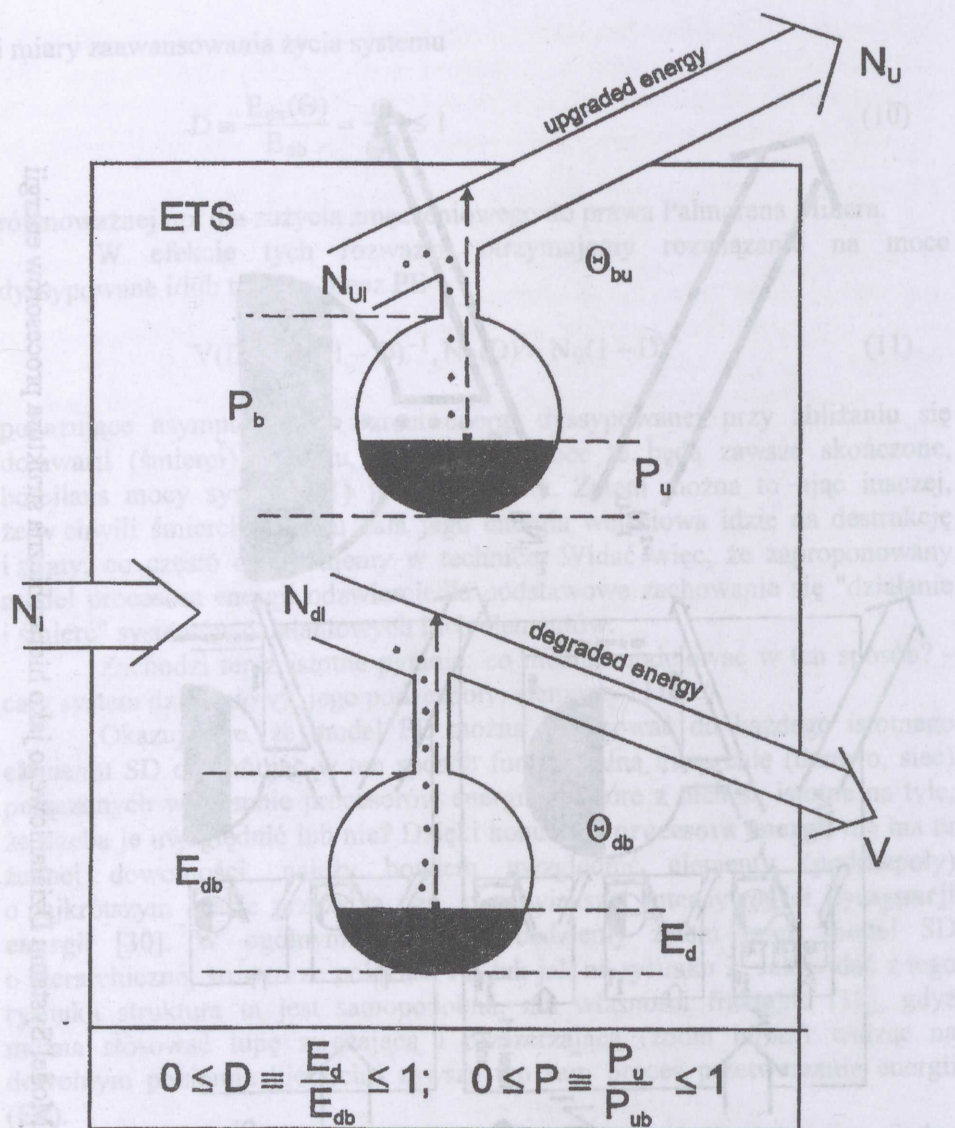
Okazuje się, że model PE można zastosować do każdego istotnego elementu SD otrzymując w ten sposób funkcjonalną hierarchię (drzewo, sieć) połączonych wzajemnie procesorów energii. A które z nich są istotne na tyle, że trzeba je uwzględnić lub nie? Dzięki koncepcji **procesora energii** nie ma tu żadnej dowolności, należy bowiem uwzględnić elementy (podzespoły) o najkrótszym czasie przeżycia, tzn. o największej intensywności **dyssypacji energii** [30]. W ogólnym przypadku będziemy zatem mieli model SD o hierarchicznej strukturze połączeń PE tak jak na rysunku 2. Jak widać z tego rysunku struktura ta jest samopodobna, ma własności fraktalne [18], gdyż można stosować lupę zwężającą i rozszerzającą (zoom in/out) widząc na dowolnym poziomie hierarchii zawsze ten sam proces przetwarzania energii (EP).

Okazuje się, że koncepcja procesora energii jest bardzo płodna we wnioskowaniu, nie tylko w inżynierii mechanicznej, ale również w inżynierii systemów [19], [12]. Jest to możliwe, oczywiście, przy uwzględnieniu rozszerzonej definicji energii [4], gdzie energia ekwiwalentna, ujmująca różne formy energii, jest mierzona np. pieniądzem, gdyż wtedy możemy rozpatrywać systemy produkcyjne, antropotechniczne i socjotechniczne.

Weźmy zatem pod rozważę taki system np. produkujący maszyny na wyjściu N_u i niech część tych maszyn jest wprowadzana zwrotnie do systemu dla zwiększenia jego zdolności produkcyjnych (dodatnie sprzężenie zwrotne).

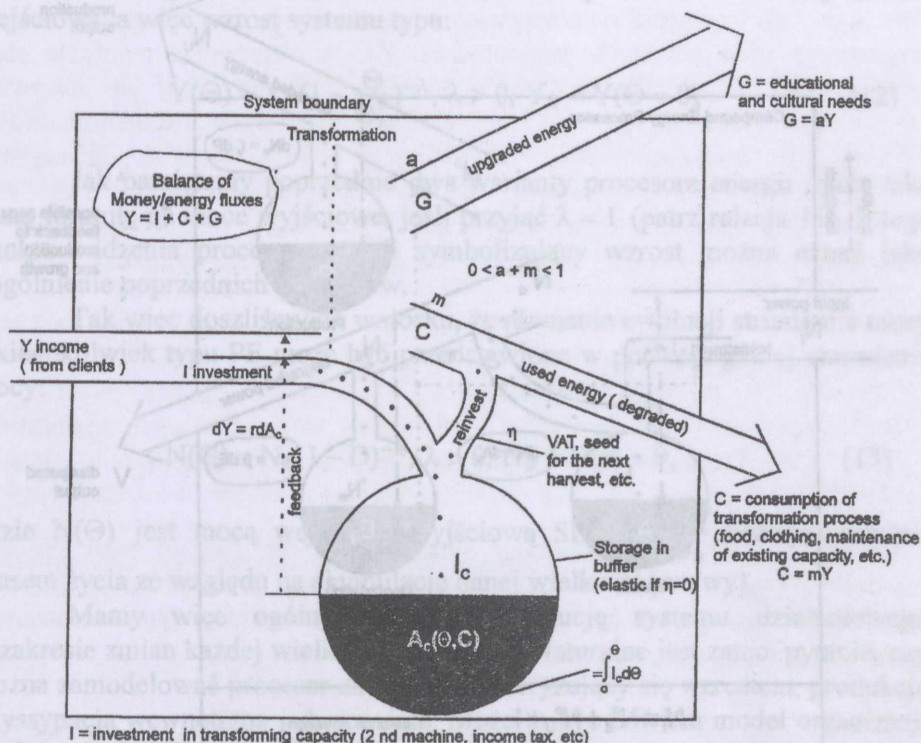


Rysunek 2. Model Systemu Działaniowego jako hierarchiczna struktura procesorów energii



Rysunek 3. Odmiana procesora energii z ograniczoną zdolnością produkcyjną

To samo dotyczy systemu komputerowego produkującego programy, z których część używana jest do produkcji nowych bardziej złożonych programów.

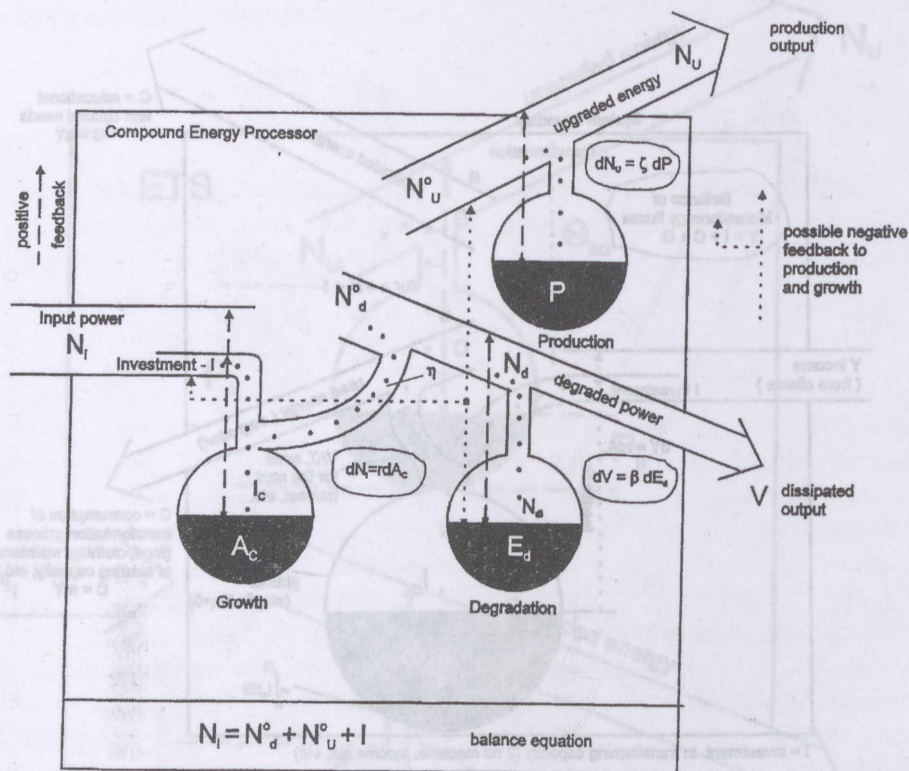


Rysunek 4. Procesor energii równoważnej z możliwością wzrostu

Symbolizuje to odmiana procesora energii przedstawiona na rysunku 3, [24], [26].

Szczegółowe rozważania dynamiki takiego systemu działaniowego wiodą do definicji nowego czasu awarii systemu Θ_h^p , a więc może to być np. analogon kryzysu nadprodukcji maszyn w przemyśle maszynowym, wyczerpania zasobów systemu komputerowego, itp.

A czy procesor energii może również ujmować wzrost systemu działaniowego, tak jak dzieje się to w organizacjach i systemach socjotechnicznych? Model taki musiałby powiększać strumień energii wejściowej. Rozważmy to na podstawie małej jednostki produkcyjnej, np. warsztat / farma, gdzie równoważnikiem energii mogą być pieniądze tak jak na rysunku 4. Moc wejściowa $Y(\Theta)$ systemu działaniowego może być pieniężnym równoważnikiem energii, materiału, pracy i kapitału, jak w pewnych modelach ekonomicznych [27]. Wyjście mocy przekształconej $C(\Theta)$



Rysunek 5. Uogólniony procesor energii ze starzeniem jako model organizacji

może symbolizować potrzeby wyższego rzędu, (np. kształcenie, kultura). Energia dyssypowana zewnętrznie będzie tu miała charakter konsumpcji bezpośredniej i obsługi systemu działaniowego, zaś część wejścia będzie gromadzona jako inwestycja na dalszy wzrost systemu. Istnieje również możliwość dodatkowego opodatkowania konsumpcji, gdy $\eta \neq 0$ w formie podatku od wartości dodanej (VAT, itp). Szczegółowe rozważania takiego systemu [14] prowadzą do nieograniczonego eksponencjalnego wzrostu SD, jeśli $\eta = 0$ (patrz rys. 4), natomiast wprowadzenie jakiegokolwiek formy dodatkowego opodatkowania konsumpcji $\eta \neq 0$ prowadzi do ustanowienia skończonego czasu przeżycia SD z asymptotą wzrostu dla $\Theta = \Theta_h^c \neq \infty$.

Rozwiązanie zagadnienia dla modelu wzrostu SD prowadzi do formuły na moc wyjściową, a więc wzrost systemu typu:

$$Y(\Theta) = Y_0(1 - \frac{\Theta}{\Theta_h})^{-\lambda}, \lambda > 0, Y_0 = Y(\Theta = 0), \quad (12)$$

Jak pamiętamy poprzednie dwa warianty procesora energii miały taką samą formułę na moce wyjściowe, jeśli przyjąć $\lambda = 1$ (patrz relacja 11). Z tego punktu widzenia procesor energii symbolizujący wzrost można uznać jako uogólnienie poprzednich wariantów.

Tak więc doszliśmy do wniosku, że równanie ewolucji strumienia mocy jakiegokolwiek typu PE może być przedstawione w postaci ogólnej strumienia mocy:

$$N(\Theta) = N_0(1 - D)^{-\lambda}, \lambda > 0, N_0 = N(\Theta = 0), \quad (13)$$

gdzie $N(\Theta)$ jest mocą wejściowo/wyjściową SD, $D = \frac{\Theta}{\Theta_b}$ bezwymiarowym czasem życia ze względu na akumulację danej wielkości (we/wy).

Mamy więc ogólny wzór na ewolucję systemu działaniowego w zakresie zmian każdej wielkości oddzielnie. Naturalne jest zatem pytanie, czy można zamodelować procesor energii charakteryzujący się wzrostem, produkcją i dyssypacją wewnętrzną jednocześnie. Może to być bowiem model organizacji produkcyjnej, jeśli pozostaniemy w inżynierii mechanicznej lub w inżynierii systemów lub nawet model prostej jednostki "ożywionej" dla najprostszego rozumienia życia. Taki złożony procesor energii pokazany jest schematycznie na kolejnym rysunku 5 i zawiera jednocześnie własności starzeniowe, o których już wspominaliśmy (rys. 1), które z uwagi na brak miejsca nie jesteśmy w stanie szerzej omówić. Wystarczy tu dodać, że własności opisowe i wnioskujące tego uogólnionego procesora są w trakcie badań, skąd wynika, że wprowadzenie samego starzenia może być powodem śmierci samego SD przy niekorzystnym doborze sprzężeń starzeniowych ω , Ω , [15], (1).

3. SYMPTOMY STANU SYSTEMÓW DZIAŁANIOWYCH

Pokazaliśmy wyżej, że natura zmian ewolucyjnych wszystkich strumieni energii PE jest postaci

$$N(D) = N_0(1 - D)^{-\lambda}, \lambda > 0$$

Wiemy również, że w najprostszym przypadku łożyska tocznego jako SD mamy do czynienia z przepływem i transformacją całego agregatu energii fizycznych niemierzalnych jednocześnie. Zatem obserwując ewolucję stanu nawet tak prostych SD musimy z definicji ograniczyć się do obserwacji symptomów stanu, czyli wielkości pomiarowo dostępnych, współzmienniczych z ewolucją wielkości we/wy lub lepiej z czasem życia D , a najlepiej z resztkowym, bezwymiarowym czasem życia $\Delta D \equiv 1 - D$. Tak więc poszukujemy operatora symptomowego $\Phi(N)$, który przez przekształcenie (filtrację) wielkości we/wy procesora energii da nam jego symptom stanu - S , czyli

$$\begin{aligned} \frac{S}{S_0} &\equiv \Phi\left(\frac{V}{V_0}, \frac{Y}{Y_0}, \frac{N_u}{N_{u0}}\right) \equiv \Phi\left(\frac{N}{N_0}\right) = \Phi\left[\left(1 - \frac{\Theta}{\Theta_b}\right)^{-\gamma}\right] \\ &= \Phi[(1 - D)^{-\lambda}] \equiv \Phi[(\Delta D)^{-\lambda}], \quad D = \frac{\Theta}{\Theta_b}, \quad S_0 = \Phi(1) \end{aligned} \quad (14)$$

Identyfikując ten operator symptomowy dla danego typu PE jako modelu SD przez odpowiedni eksperyment, możemy przez operację odwrotną określić resztkowy czas życia SD, odpowiednio do wartości zaobserwowanego symptomu S , gdyż z powyższego można znaleźć

$$\Delta D = \Phi^{-1}\left(\frac{S}{S_0}\right), \text{ bowiem } \Delta D = 1 - \frac{\Theta}{\Theta_b} = \frac{\Delta \Theta}{\Theta_b}. \quad (15)$$

Jak widać wszystko sprowadza się do znajomości operatora symptomowego $\Phi(\cdot)$, który przekształca (filtruje) moc wejściowo/wyjściową PE w symptom stanu lub lepiej symptomową krzywą życia $S(\Theta)$. Zastanówmy się zatem, jaka postać symptomu (operatora symptomowego) byłaby najbardziej przystająca do tego, co się dzieje w trakcie życia systemu działaniowego, czyli ewolucji procesora energii. Jak wynika z ostatnich wzorów na ewolucję strumienia mocy w PE (14) symptomowa krzywa życia mogłaby mieć najlepiej podobną postać. Łatwo to uzyskać dla operatora symptomowego typu Pareto ze współczynnikiem kształtu γ jak niżej

$$\frac{S}{S_0} = \Phi\left(\frac{N}{N_0}\right) = \Phi[(\Delta D)^{-\lambda}] \approx (\Delta D)^{-\frac{1}{\gamma}}, \quad \gamma > 0 \quad (16)$$

Łatwo tu również znaleźć funkcję odwrotną określającą resztkowy czas życia systemu przy znanej wartości symptomu S .

$$\Delta D(S) = \left(\frac{S}{S_0}\right)^{-\gamma}.$$

Istnieje cała gama podobnych operatorów symptomowych [14], wśród których najmniejszą wrażliwością na zakłócenia i zmienniczość w populacji SD cechują się operatory Frecheta i Weibulla będące również wzajemnie komplementarne. Operatory te i ich związek z resztkowym czasem do awarii systemu jak i odpowiadający im statystyczny rozkład symptomu w populacji obiektów przedstawia tabela 1, [23].

Jak widać z tabeli użytkowanie tych wzorów jest w każdym przypadku związane z identyfikacją symptomowej krzywej życia i jej współczynnika kształtu.

Identyfikację tę możemy teoretycznie wykonać w podejściu deterministycznym wykonując eksperyment czynny dla jednego obiektu (jeśli jest mała zmienność w obserwowanej populacji) lub lepiej dla populacji $N \gg 1$ obiektów przeprowadzając eksperyment bierny [23]. Polega on na obserwacji symptomu w populacji SD przy założeniu równomiernego rozkładu resztkowego czasu życia poszczególnych obiektów.

Tablica 1. Modele operatorów symptomowych, krzywych życia i resztkowego czasu życia Procesora Energii

Operator Symptom.	Krzywa życia	Niezawodność Symptomowa	Uwagi
$N > N_0, \gamma > 0$	$S_0 > 0, \frac{S(D)}{S_0} =$	$R(S) =$	$N = N_0(1 - D)^{-1}$
$\Phi\left(\frac{N}{N_0}\right) \approx$	$D = \Theta/\Theta_b$	Resztkowy czas życia $\Delta D =$	Model Symptomu
$(\ln \frac{N}{N_0})^{1/\gamma}$	$[-\ln(1 - D)]^{1/\gamma}$	$\exp\left(-\left(\frac{S}{S_0}\right)^\gamma\right)$	Weibull , $S > 0$
$[-\ln(1 - \frac{N_0}{N})]^{-1/\gamma}$	$[-\ln D]^{-1/\gamma}$	$1 - \exp\left(-\left(\frac{S}{S_0}\right)^\gamma\right)$	Fréchet , $S > 0$
$(\frac{N}{N_0})^{1/\gamma}$	$(1 - D)^{-1/\gamma}$	$(\frac{S}{S_0})^{-\gamma}$	Pareto , $S \geq S_0$ (assympt. Frécheta)

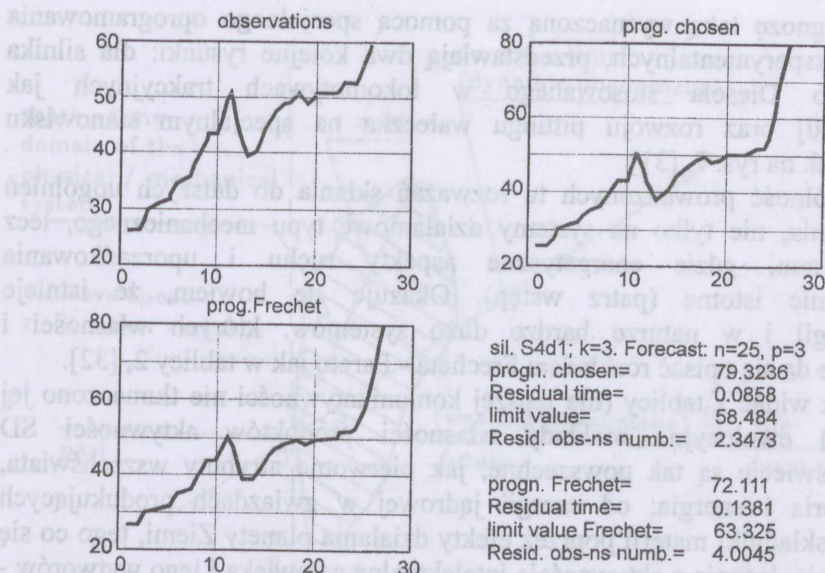
Dla obiektów mechanicznych dochodzimy wtedy do empirycznej funkcji niezawodności symptomowej, równoważnej średniemu resztkowemu czasowi życia obiektu [28], czyli

$$R(S) = \frac{n(S_e \geq S)}{N} = \Delta D(S).$$

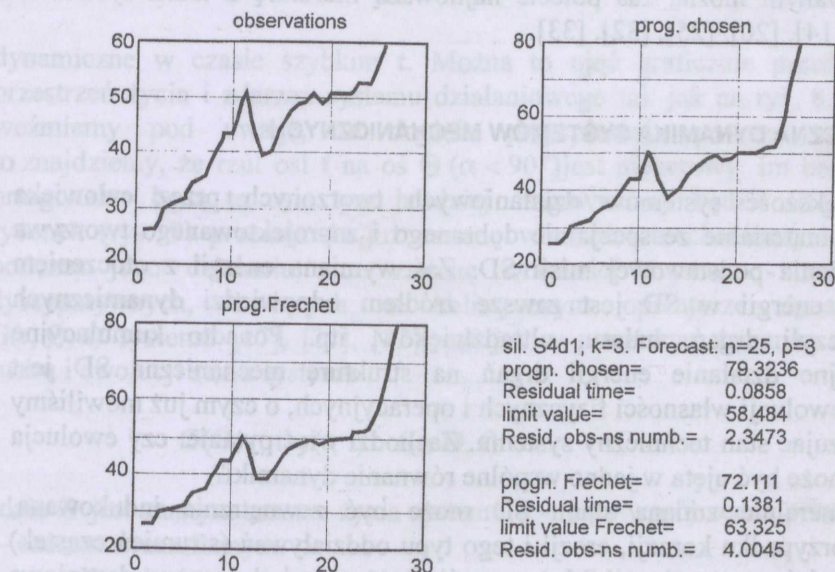
Mając te dane empiryczne można z kolei znaleźć najlepsze dopasowanie typu operatora symptomowego, jego współczynnik kształtu, a nawet prognozę dalszego życia obiektu.

Tablica 2. Empiryczne obserwowane statystyczne własności Frécher-Pareto dla systemów działaniowych w naturze i technice

cross refer.	Operating System	Birth & Death Processor	Observed Symptoms of Energy Transformation
14	computer system	micro-processors	produced files
14	technical production system	machines of the same type	produced dissipation energy
13	economic system / country	business firms	produced output / profit
13	socio-economic system	human individuals	produced income
12	socio-economic system	cities	produced populations
12	cultural system / language	human brains	produced words
11	bio-social system / colony	animals of same species	produced populations
10	ecosystem	biological species	produced populations
9	biotope	biological genera	produced species
8	biosphere	biological families	produced genera
7	ocean	micro-particles	produced particles
6	earth	tectonic plates	produced earthquakes
5	solar system, planets	chemical compounds	produced compounds
4	galaxy / universe	stars	produced nuclei / chem. elements



Rysunek 6. Dopasowanie krzywej symptomowej i prognoza dalszej pracy silnika Diesla lokomotywy spalinowej na podstawie obserwacji symptomu drganiowego



Rysunek 7. Dopasowanie krzywej symptomowej i prognoza rozwoju pittingu na specjalnym stanowisku badawczym

Prognozę taką wyznaczoną za pomocą specjalnego oprogramowania z danych eksperymentalnych, przedstawiają dwa kolejne rysunki: dla silnika spalinowego Diesela stosowanego w lokomotywach trakcyjnych jak na rys. 6, [10] oraz rozwoju pittingu wałeczka na specjalnym stanowisku testowym jak na rys. 7, [31].

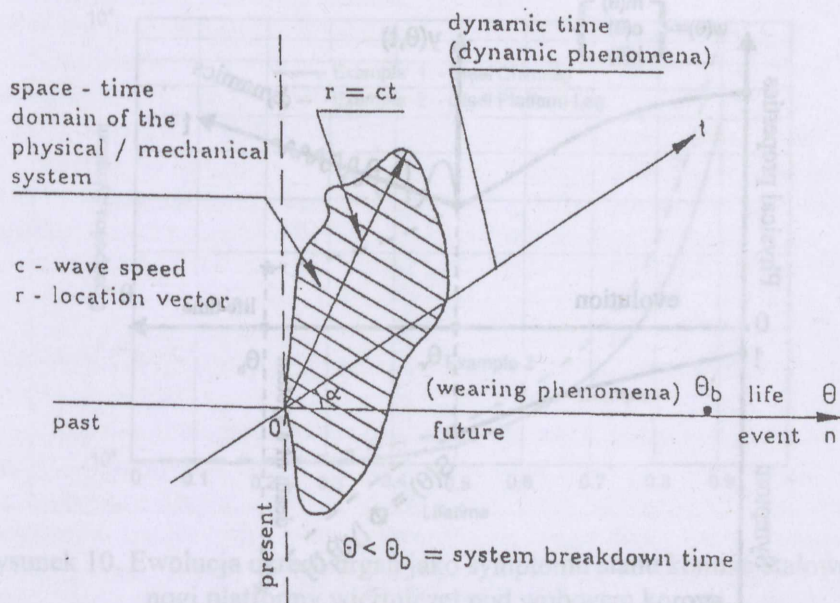
Ogólność prowadzonych tu rozważań skłania do dalszych uogólnień wnioskowania, nie tylko na systemy działaniowe typu mechanicznego, lecz wszędzie tam, gdzie energetyczne aspekty ruchu i uporządkowania są szczególnie istotne (patrz wstęp). Okazuje się bowiem, że istnieje w technologii i w naturze bardzo dużo systemów, których własności i zachowanie da się opisać rozkładem Frecheta - Pareto jak w tablicy 2, [32].

Jak widać z tablicy (dla lepszej komunikatywności nie tłumaczono jej zawartości) ewolucyjne rozkłady własności produktów aktywności SD we wszechświecie są tak powszechne, jak pierwotne atrybuty wszechświata, czyli materia i energia; od energii jądrowej w gwiazdach produkujących pierwotne składniki materii poprzez efekty działania planety Ziemi, tego co się na niej dzieje, łącznie z aktywnością intelektualną człowieka i jego wytworów - maszyn i komputerów. Zważywszy jednak, że podobieństwo cech może być efektem działania innych nierozpoznanych czynników i procesów porzeczstaniemy na tej obserwacji nie drażąc dalej tego frapującego problemu. Zainteresowanym można zaś polecić najnowszą literaturę z teorii systemów [12], [13], [14], [20], [25], [32], [33].

4. HOLISTYCZNA DYNAMIKA SYSTEMÓW MECHANICZNYCH

Większość systemów działaniowych tworzonych przez człowieka to systemy materialne ze specjalnie dobranego i zaprojektowanego tworzywa dla wypełnienia podstawowej misji SD. Zaś wymiana energii z otoczeniem i przepływ energii w SD jest zawsze źródłem odpowiedzi dynamicznych systemu, czyli drgań, hałasu, ultradźwięków, itp. Ponadto kumulacyjne i destrukcyjne działanie energii drgań na strukturę mechaniczną SD jest powodem ewolucji własności fizycznych i operacyjnych, o czym już mówiliśmy charakteryzując stan techniczny systemu. Zachodzi więc pytanie: czy ewolucja stanu SD może być ujęta w jedno wspólne równanie dynamiki?

Generalnie zmiana stanu SD może być zewnątrznie indukowana, jak np. w przypadku korozji, erozji i tego typu oddziaływań (strumień cząstek) środowiska lub metasytemu. Może ona być też samoindukowana drganiową reakcją SD tak, jak w przypadku zmęczenia i pełzania z udziałem zjawisk wibroakustycznych, itd. [17]. W każdym z tych przypadków zmiana własności fizycznych SD odbywa się w czasie życia Θ , zaś pierwotne zjawiska



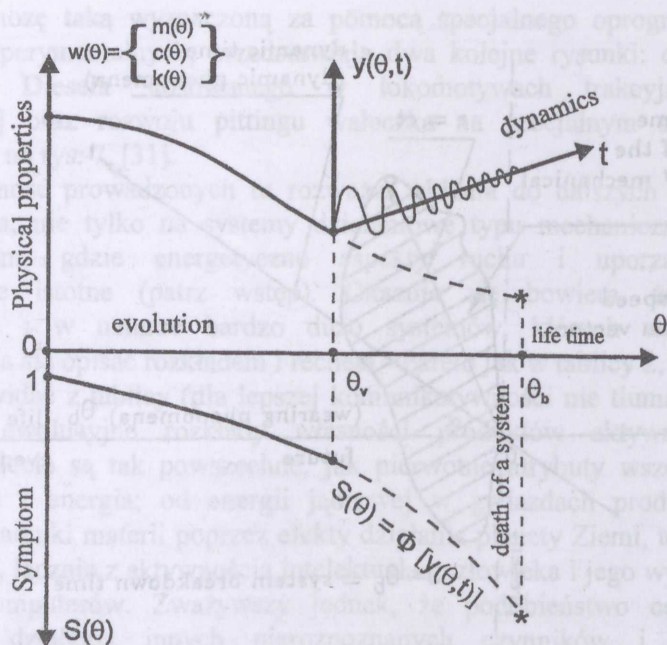
Rysunek 8. Przestrzeń zdarzeń i przestrzeń życia systemu działaniowego

dynamiczne w czasie szybkim t . Można to ująć graficznie przedstawiając przestrzeń życia i zdarzeń systemu działaniowego tak jak na rys. 8. Jeśli zaś weźmiemy pod uwagę, że drgania przyspieszają procesy zużyciowe, to znajdziemy, że rzut osi t na oś Θ ($\alpha < 90^\circ$) jest niezerowy. Im bardziej zaś ortogonalne będą te osie tym bardziej długowieczny będzie SD. Kolejny rysunek (rys. 9) przedstawia już zmianę własności mechanicznych systemu podczas jego działania, tzn. zmianę własności masowo - sprężysto - dyssypatywnych, tkwiących w holistycznym operatorze dynamicznym $G(r, \Theta, t)$ systemu [17], [21], [22], tak jak w poniższym łącznym równaniu ruchu i ewolucji stanu systemu

$$G(\Theta, r, t)y(r, t) = f(r, \Theta, t) \quad (17)$$

gdzie Θ jest znanym czasem życia systemu, r - jego współrzędną przestrzenną, t - czasem dynamicznym.

W ujęciu dyskretnym i liniowym przybliżeniu możemy powyższe holistyczne równanie operatorowe wyrazić w postaci równania macierzowego, z macierzami mas $M(\Theta)$, tłumienia $C(\Theta)$ i sztywności $K(\Theta)$ i wektorem sił wymuszających $F(\Theta, t)$, zależnych od czasu życia Θ



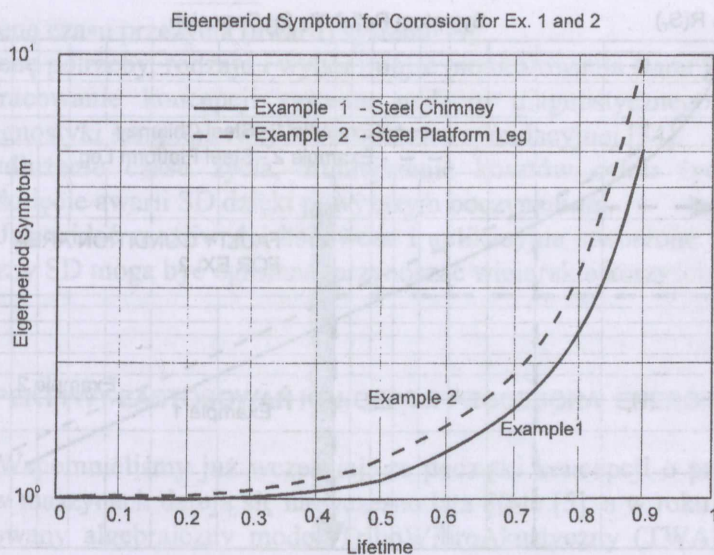
Rysunek 9. Trzy dziedziny ewolucji systemu działaniowego; reakcja dynamiczna, własności fizyczne, obserwowane drogą identyfikacji symptomu S

$$M(\Theta)X(t) + C(\Theta)X(t) + K(\Theta)X(t) = F(\Theta, t) \quad (18)$$

oraz z wektorem przemieszczeń dynamicznych $X(t)$ powstałym po dyskretyzacji przemieszczeń systemu $y(r, t)$.

Przy zewnętrznie wymuszonej degradacji obiektu, np. korozji, z badań identyfikacyjnych znamy ewolucyjne własności $M(\Theta)$, $C(\Theta)$, $K(\Theta)$, typowe dla danego obiektu działającego w danym otoczeniu. Można więc wyliczyć czas przeżycia systemu Θ_b korzystając ze znanych wymogów bezpieczeństwa dotyczących przekrojów, odkształceń, itp. Zatem w każdym momencie życia $\Theta = \Theta_v$ możemy znaleźć reakcje dynamiczną SD, $X(\Theta_v, t)$ lub $X(D_v, t)$, $v=1, \dots$ i na tej podstawie znaleźć zbiór symptomów $S(D)$ (patrz rys. 9), opisujących degradację systemu i operator odwrotny dający możliwość oceny resztkowego czasu życia ΔD naszego SD.

Znacznie bardziej niebezpieczne jest współdziałanie degradacji stymulowanej zewnętrznie z degradacją będącą skutkiem zawyżonej dynamiki obiektu. W tym przypadku nie sposób znaleźć dokładnego równania ruchu

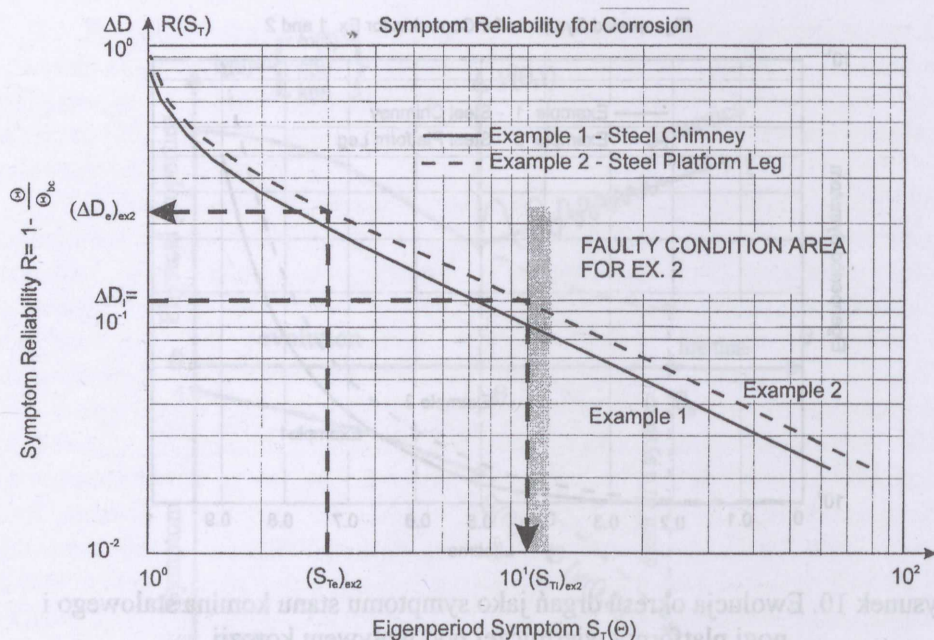


Rysunek 10. Ewolucja okresu drgań jako symptomu stanu komina stalowego i nogi platformy wiertniczej pod wpływem korozji

i jego rozwiązania w postaci ewolucji stanu SD. Można jednak podejść do tego w sposób przybliżony stosując hipotezę Palmgren - Minera o kumulacji uszkodzeń zmęczeniowych do przekroju o maksymalnych naprężeniach. Bowiem z teorii zmęczenia [6] wiadomo, że uszkodzenie nastąpi z dużym prawdopodobieństwem dla tego przekroju, kiedy efektywny przekrój zmaleje do połowy swej pierwotnej wartości. Mamy zatem zgrubne oszacowanie czasu przeżycia Θ_b dla danego SD, jeśli wyjdziemy ze średniej częstości obciążenia i ilości cykli do zniszczenia na danym poziomie naprężeń σ . Możemy zatem badać reakcje dynamiczne systemu i znaleźć wartość symptomu "zamrażając" jego własności kolejno dla czasu życia Θ_v , $v = 1, 2, \dots$ zgodnie z rysunkiem 9.

Zgodnie z powyższą ideą holistycznej dynamiki systemów mechanicznych przeprowadzono symulację zachowania się pod wpływem korozji i wiatru komina stalowego i nogi platformy wiertniczej [22]. Szukając najlepszego symptomu ewolucji stanu tych obiektów znaleziono, że może to być okres drgań pierwszej harmonicznej obiektu tak jak to pokazuje rys. 10.

Z rysunku tego (rys. 10) widać, że okres drgań pod koniec życia obiektu może się wydłużyć nawet dziesięciokrotnie; jest to już jednak sytuacja awaryjna, do której nie należy dopuścić. Warto tu dodać jeszcze, że jednoczesne uwzględnienie zmęczenia od wiatru i/lub falowania morza zmniejsza czas życia obiektu nawet o połowę.



Rysunek 11. Reszkowy czas życia obiektów z poprzedniego przykładu

Jak pamiętamy, znając operator symptomowy i jego wartość możemy określić reszkowy czas życia obiektu $\Delta D(S)$, co dla omawianego przykładu przedstawia kolejny rysunek 11, z którego łatwo oszacować pozostały czas życia obiektu przy danej zmierzonej wartości symptomu S . Jak widać również posiadana teoria pozwala nawet wyznaczyć awaryjny wartości symptomu, po przekroczeniu którego należy system działania poddać odnowie.

Podsumowując co do tej pory powiedziano o holistycznej dynamice systemów można powiedzieć, że z jednej strony ideę tę przedstawia rys. 9. Z drugiej zaś strony nie sposób ocenić wszystkich korzyści tej młodej koncepcji. Z tego co obecnie widać [22] można powiedzieć, że umożliwia ona nam na etapie projektowania symulację zachowania i ocenę SD jak niżej.

1. Badania reakcji dynamicznej systemu w całym przedziale życia $\Theta \leq 0 \leq \Theta_b$, od jego produkcji do kasacji.
2. Wybór optymalnego zbioru symptomów $S(\Theta)$ do śledzenia ewolucji degradacji systemu.
3. Ocenę słabych punktów konstrukcji SD, ich przeprojektowanie lub zainstalowanie w tych miejscach specjalnego nadzoru diagnostycznego.

4. Ocenę czasu przeżycia (awarii) systemu Θ_b .
5. Ocenę potrzeby, rodzaju i wybór miejsc monitorowania stanu SD.
6. Opracowanie koncepcji systemu nadzoru diagnostycznego w ramach diagnostyki symptomowej lub modelowo symulacyjnej [34].
7. Wydłużenie czasu życia, zmniejszenie kosztów cyklu życia i nawet uniknięcie awarii SD dzięki powyższym poczynaniom.

Jak widać możliwości badawcze i aplikacyjne stworzone przez model holistyczny SD mogą być ogromne, przynosząc wielorakie korzyści.

5. PERSPEKTYWY ZASTOSOWAŃ KONCEPCJI PROCESORA ENERGII

Wspomnieliśmy już wcześniej, że początki koncepcji o przetwarzaniu energii w maszynach datują się na wczesne lata 80-te [5], a w roku 1984 został sformułowany algebraiczny model TriboWibroAkustyczny (TWA) ulepszony pod koniec lat 80-tych do modelu różniczkowego [10]. Znaczne uogólnienie koncepcji na ogół układów mechanicznych powstało we współpracy z prof. Natke zapoczątkowane pracą [11], a następnie z dr. Winiwarterem na ogół systemów działaniowych przetwarzających różne formy energii zapoczątkowane publikacją [12].

Z uwagi na brak miejsca i charakter tego opracowania nie omówimy wszystkich istniejących i perspektywicznych zastosowań koncepcji Procesora Energii. Na miejscu powstania, czyli w diagnostyce maszyn, koncepcja ta daje podstawy i metodologię do wyboru i identyfikacji trendu zużyciowego maszyny i daje narzędzie do przewidywania stanu technicznego i resztkowego czasu pracy SD. Również w diagnostyce możliwość modelowania hierarchicznej sieci procesorów energii daje podstawy fizyczne tworzenia modeli niezawodnościowo-diagnostycznych maszyn i SD opartych o zasadę malejącej intensywności energii dyssypowanej w podzespołach lub też na ich rosnącym czasie przeżycia [30].

Wprowadzenie koncepcji procesora energii do rozważań efektywności eliminacji drgań pozwala pokazać, że o tyle wydłuża się czas życia systemu mechanicznego, o ile zmniejszymy jego amplitudę drgań [29]. Wreszcie, koncepcja procesora energii stworzyła podwaliny pod holistyczną dynamikę systemów mechanicznych, która umożliwia symulację całego życia obiektu na etapie jego projektowania, czego jeszcze nie sposób w pełni ocenić.

Z kolei model holistyczny, zastosowany do krytycznego systemu działaniowego w ruchu i aktualizowany z kolejnych pomiarów systemu monitorującego, jest podstawą diagnostyki modelowo wspartej dla obiektów krytycznych, jak to przedstawia najnowsza monografia [34].

W teorii i inżynierii systemów, uprawianej szczególnie z dr. Winiwarterm, koncepcja procesora energii ma przede wszystkim własności wyjaśniające. Wyjaśniające życie i śmierć pojedynczych systemów i koncepcję ich czasu wewnętrznego, wyjaśnia też zachowanie się grupy systemów przez wykrywanie własności Pareto - Frecheta jak w tabeli 2. Wyjaśnienia i uogólnienia te ekstrapolowano od procesorów energii na skalę kosmiczną, do produktów umysłu człowieka (np. liczność grup słów w "Ulyssesie" Joyce'a) i produktów pracy maszyn i komputerów.

Odmiany procesora energii ekwiwalentnej modelujące produkcję i wzrost mogą się przyczynić do zrozumienia rozwoju organizacji i instytucji. Z kolei hierarchiczno - fraktalna natura procesorów energii modelujących strukturę SD stwarza dalsze możliwości wyjaśniające przez analogię do sieci neuronowych, sieci Petri, łańcuchów pokarmowych [35], a także może służyć jako model układów samouczących i samoorganizacji [33]. Jest to jednak zbyt świeże i zbyt odległe od głównego nurtu wykładu inżynierii mechanicznej, a nawet inżynierii systemów.

Kończąc można powiedzieć, że dzięki koncepcji Procesora Energii udało się poszerzyć naszą wiedzę na temat zachowania się systemów ewolucyjnych w szeroko rozumianej inżynierii mechanicznej, inżynierii systemów, teorii systemów i w naturze. Udało się bowiem znaleźć pierwsze przybliżenie mechanizmów ewolucyjnych, życia systemów działaniowych i stworzyć proste modele niezbędne do ich obserwacji i identyfikacji.

Jest to jednak pierwszy krok na tej drodze.

6. LITERATURA

1. Hall A. D., 1989, Metasystems Methodology - A New Synthesis and Unification, Pergamon Press, New York, p 518.
2. Natke H. G., 1994, Model Verification and Validation in Engineering, Bull. Polish Acad. Sci. Techn. Sci., Vol. 42, No 4, pp 505 - 519.
3. Encyklopedia - Podstawy Techniki, Tom 1, PWN 1975, Warszawa, str. 186.
4. Thomson Ch., 1995, The Nature of Energy, Network, August 1995, No 58, pp 8 - 13.
5. Cempel C., 1982, Podstawy Wibroakustycznej Diagnostyki Maszyn, WNT Warszawa, s. 342.

6. Juvinal R. C., 1967, Engineering Consideration of Stress, Strain and Strength, McGraw Hill, New York, p 580.
7. Cempel C., 1973, Zastosowanie podatności szerokopasmowej do oceny reakcji obiektów mechanicznych na dowolne wymuszenie, Rozpr. Inż. 21, 4, s. 577-588.
8. Cempel C., 1995, Energy Dissipation in Mechanical Systems, its Description and Control, International Workshop on Machine Dynamics and Production Automation, Szczecin April 20 -22 1995, pp 73 - 84.
9. Golec Z., 1995, Shot Dampers for Mechanical Vibration Reduction, International Workshop on Machine Dynamics and Production Automation, Szczecin April 20 -22, pp 139 -151.
10. Cempel C., 1992, Damage Initiation and Evolution in Operating Mechanical Systems, Bull. of Polish Academy of Sci., Techn. Sci., Vol. 40, No 3, pp 201-214.
11. Cempel C., Natke H. G., 1992, Damage Evolution and Diagnosis in Operating Systems, Proceedings of Safety Assessment of Time Variant and Nonlinear Structures Using System Identification Approaches, Lambrecht, Vieweg, Braunschweig, pp 45 -61.
12. Winiwarter P., Cempel C., 1992, Life Symptoms, Open Energy Transformation System with Limited Internal Structuring Capacity, System Research Vol. 4, pp 9 -34.
13. Winiwarter P., Cempel C., 1995, Birth and Death Processors 1: Time Energy Equivalence in System Life and the Fractal Dimension of System Time, 19 - teen Symposium of International System Science Society, Amsterdam June 1995, pp 73 - 85.
14. Cempel C., Natke H. G., 1995, Energy Processing and Energy Processors in Systems Engineering, Proceedings of Summer School on Systems Engineering, Poznań August 27 - 31, pp 36 - 37.
15. Cempel C., 1995, Starzenie Procesora Energii jako Modelu Maszyny, Raport Wewnętrzny IMS, Politechnika Poznańska.

16. Cempel C., 1991, Vibroacoustical Condition Monitoring, Ellis Horwood Ltd., Chichester, England, p 212.
17. Natke H. G., Cempel C., 1996, Holistic Modelling as a Tool for the Diagnosis of Critical Complex Systems, Automatica, Vol. 32, No 1, pp 89 - 94.
18. Mandelbrot B., 1982, The Fractal Geometry of Nature, Freeman, San Francisco.
19. Cempel C., Winiwarter P., 1994, Energy Transformation Processes and Systems in Nature, Bordalier Institute Report No 3.
20. Laszlo E., 1993, The Creative Cosmos, A Unified Science of Matter Life and Mind, Floris Books, p 225.
21. Cempel C., Natke H. G., 1993, System Life Cycle - System Life: The Model Based Technical Diagnostics, a View on Holistic Modeling, System Research, Vol. No 9, pp 53 - 63.
22. Cempel C., Natke H. G., 1996, Holistic Dynamics of Systems Journal of Systems Engineering, Vol. 6, pp 33 - 45.
23. Cempel C., 1993, Theory of Energy Transformation Systems and their Application in Diagnostic of Operating Systems, Applied Mathematics and Computer Sciences, Vol. 3, No 2, pp 533 - 548.
24. Cempel C., Natke H. G., 1993, Modeling of the Energy Transforming and Recycling Systems, Research Report No 3 on Holistic Dynamics, Curt Risch Institute, Hannover Univ.
25. Capra F., 1985, The Turning Point, German edition, Knauer - 1988, p 522.
26. Cempel C., Natke H. G., 1994, Modelling of Destruction and Construction Processes by Energy Transformation, Research Report No 4 on Holistic Dynamics and Energy Transforming Systems, CRI - Hannover University.
27. Luenberger D. G., 1979, Introduction to Dynamic Systems, Theory, Models, Application, J. Wiley, New York, p 446.

28. Cempel C., Natke H. G., Yao J. P. T., 1995, Symptom Based Reliability for Critical Operating Systems, Intern, Workshop on Damage Assessment, Pescara - Italy, May 1995.
29. Cempel C., 1995, System Life Optimization of Mechanical Systems by Vibration Dampers, Bull. Pol. Acad. Sci. Techn. Sci., Vol. 43, No 4, pp 401 - 411.
30. Cempel C., 1993, Dynamics - Life - Diagnostics: a Holistic Approach to the Modelling of Operating Systems, Proceedings of Symposium Dynamische Probleme - Modellierung und Wirklichkeit, Hannover University, October 1993, pp 1 - 14.
31. Tabaszewski M., Cempel C., 1996, Niestacjonarny i nieliniowy model Procesora Energii, Materiały Sympozjum Dynamika Maszyn, Węgierska Górka, luty 1996.
32. Winiwarter P., Cempel C., 1995, Birth and Death Processor I, Proc. 39, Annual Meeting of Faculty of Philosophy of Free Univ. Amsterdam. "Systems Thinking and Decision Modelling, July 1995, pp 73 - 85.
33. Winiwarter P., Cempel C., 1996, Evolutionary Hierarchies of Energy Processing in Nature, European Meeting on Cybernetics and Systems Research, Vienna - April 1996.
34. Natke H. G., Cempel C., 1996, Model - Aided Diagnosis of Mechanical Systems, Springer Verlag, p 300 - in print.
35. Odum H. T., 1988, Self - Organization, Transformity and Information, Science, Vol. 242 pp 1132 - 1139.



28. Campbell C. J., Nix R. L., 1997, Symptom Based Reliability for Critical Operating Systems, Intern. Workshop on Diagnosis Assessment, Pescara - Italy, May 1997.
29. Campbell C. J., 1997, System Risk Optimization for Mechanical Systems by Vibration Dampers, Bull. Pol. Acad. Sci. Techn. Sci., Vol. 45, No. 4, pp 401 - 411.
30. Campbell C. J., 1993, Dynamics - Life - Diagnostics: a Holistic Approach to the Modelling of Operating Systems, Proceedings of Symposium on Dynamic Problems - Modelling and Simulation, Hannover University, October 1993, pp 1-10, 11-12, 13-14, 15-16, 17-18, 19-20, 21-22, 23-24, 25-26, 27-28, 29-30, 31-32, 33-34, 35-36, 37-38, 39-40, 41-42, 43-44, 45-46, 47-48, 49-50, 51-52, 53-54, 55-56, 57-58, 59-60, 61-62, 63-64, 65-66, 67-68, 69-70, 71-72, 73-74, 75-76, 77-78, 79-80, 81-82, 83-84, 85-86, 87-88, 89-90, 91-92, 93-94, 95-96, 97-98, 99-100, 101-102, 103-104, 105-106, 107-108, 109-110, 111-112, 113-114, 115-116, 117-118, 119-120, 121-122, 123-124, 125-126, 127-128, 129-130, 131-132, 133-134, 135-136, 137-138, 139-140, 141-142, 143-144, 145-146, 147-148, 149-150, 151-152, 153-154, 155-156, 157-158, 159-160, 161-162, 163-164, 165-166, 167-168, 169-170, 171-172, 173-174, 175-176, 177-178, 179-180, 181-182, 183-184, 185-186, 187-188, 189-190, 191-192, 193-194, 195-196, 197-198, 199-200, 201-202, 203-204, 205-206, 207-208, 209-210, 211-212, 213-214, 215-216, 217-218, 219-220, 221-222, 223-224, 225-226, 227-228, 229-230, 231-232, 233-234, 235-236, 237-238, 239-240, 241-242, 243-244, 245-246, 247-248, 249-250, 251-252, 253-254, 255-256, 257-258, 259-260, 261-262, 263-264, 265-266, 267-268, 269-270, 271-272, 273-274, 275-276, 277-278, 279-280, 281-282, 283-284, 285-286, 287-288, 289-290, 291-292, 293-294, 295-296, 297-298, 299-300, 301-302, 303-304, 305-306, 307-308, 309-310, 311-312, 313-314, 315-316, 317-318, 319-320, 321-322, 323-324, 325-326, 327-328, 329-330, 331-332, 333-334, 335-336, 337-338, 339-340, 341-342, 343-344, 345-346, 347-348, 349-350, 351-352, 353-354, 355-356, 357-358, 359-360, 361-362, 363-364, 365-366, 367-368, 369-370, 371-372, 373-374, 375-376, 377-378, 379-380, 381-382, 383-384, 385-386, 387-388, 389-390, 391-392, 393-394, 395-396, 397-398, 399-400, 401-402, 403-404, 405-406, 407-408, 409-410, 411-412, 413-414, 415-416, 417-418, 419-420, 421-422, 423-424, 425-426, 427-428, 429-430, 431-432, 433-434, 435-436, 437-438, 439-440, 441-442, 443-444, 445-446, 447-448, 449-450, 451-452, 453-454, 455-456, 457-458, 459-460, 461-462, 463-464, 465-466, 467-468, 469-470, 471-472, 473-474, 475-476, 477-478, 479-480, 481-482, 483-484, 485-486, 487-488, 489-490, 491-492, 493-494, 495-496, 497-498, 499-500, 501-502, 503-504, 505-506, 507-508, 509-510, 511-512, 513-514, 515-516, 517-518, 519-520, 521-522, 523-524, 525-526, 527-528, 529-530, 531-532, 533-534, 535-536, 537-538, 539-540, 541-542, 543-544, 545-546, 547-548, 549-550, 551-552, 553-554, 555-556, 557-558, 559-560, 561-562, 563-564, 565-566, 567-568, 569-570, 571-572, 573-574, 575-576, 577-578, 579-580, 581-582, 583-584, 585-586, 587-588, 589-590, 591-592, 593-594, 595-596, 597-598, 599-600, 601-602, 603-604, 605-606, 607-608, 609-610, 611-612, 613-614, 615-616, 617-618, 619-620, 621-622, 623-624, 625-626, 627-628, 629-630, 631-632, 633-634, 635-636, 637-638, 639-640, 641-642, 643-644, 645-646, 647-648, 649-650, 651-652, 653-654, 655-656, 657-658, 659-660, 661-662, 663-664, 665-666, 667-668, 669-670, 671-672, 673-674, 675-676, 677-678, 679-680, 681-682, 683-684, 685-686, 687-688, 689-690, 691-692, 693-694, 695-696, 697-698, 699-700, 701-702, 703-704, 705-706, 707-708, 709-710, 711-712, 713-714, 715-716, 717-718, 719-720, 721-722, 723-724, 725-726, 727-728, 729-730, 731-732, 733-734, 735-736, 737-738, 739-740, 741-742, 743-744, 745-746, 747-748, 749-750, 751-752, 753-754, 755-756, 757-758, 759-760, 761-762, 763-764, 765-766, 767-768, 769-770, 771-772, 773-774, 775-776, 777-778, 779-780, 781-782, 783-784, 785-786, 787-788, 789-790, 791-792, 793-794, 795-796, 797-798, 799-800, 801-802, 803-804, 805-806, 807-808, 809-810, 811-812, 813-814, 815-816, 817-818, 819-820, 821-822, 823-824, 825-826, 827-828, 829-830, 831-832, 833-834, 835-836, 837-838, 839-840, 841-842, 843-844, 845-846, 847-848, 849-850, 851-852, 853-854, 855-856, 857-858, 859-860, 861-862, 863-864, 865-866, 867-868, 869-870, 871-872, 873-874, 875-876, 877-878, 879-880, 881-882, 883-884, 885-886, 887-888, 889-890, 891-892, 893-894, 895-896, 897-898, 899-900, 901-902, 903-904, 905-906, 907-908, 909-910, 911-912, 913-914, 915-916, 917-918, 919-920, 921-922, 923-924, 925-926, 927-928, 929-930, 931-932, 933-934, 935-936, 937-938, 939-940, 941-942, 943-944, 945-946, 947-948, 949-950, 951-952, 953-954, 955-956, 957-958, 959-960, 961-962, 963-964, 965-966, 967-968, 969-970, 971-972, 973-974, 975-976, 977-978, 979-980, 981-982, 983-984, 985-986, 987-988, 989-990, 991-992, 993-994, 995-996, 997-998, 999-1000, 1001-1002, 1003-1004, 1005-1006, 1007-1008, 1009-1010, 1011-1012, 1013-1014, 1015-1016, 1017-1018, 1019-1020, 1021-1022, 1023-1024, 1025-1026, 1027-1028, 1029-1030, 1031-1032, 1033-1034, 1035-1036, 1037-1038, 1039-1040, 1041-1042, 1043-1044, 1045-1046, 1047-1048, 1049-1050, 1051-1052, 1053-1054, 1055-1056, 1057-1058, 1059-1060, 1061-1062, 1063-1064, 1065-1066, 1067-1068, 1069-1070, 1071-1072, 1073-1074, 1075-1076, 1077-1078, 1079-1080, 1081-1082, 1083-1084, 1085-1086, 1087-1088, 1089-1090, 1091-1092, 1093-1094, 1095-1096, 1097-1098, 1099-1100, 1101-1102, 1103-1104, 1105-1106, 1107-1108, 1109-1110, 1111-1112, 1113-1114, 1115-1116, 1117-1118, 1119-1120, 1121-1122, 1123-1124, 1125-1126, 1127-1128, 1129-1130, 1131-1132, 1133-1134, 1135-1136, 1137-1138, 1139-1140, 1141-1142, 1143-1144, 1145-1146, 1147-1148, 1149-1150, 1151-1152, 1153-1154, 1155-1156, 1157-1158, 1159-1160, 1161-1162, 1163-1164, 1165-1166, 1167-1168, 1169-1170, 1171-1172, 1173-1174, 1175-1176, 1177-1178, 1179-1180, 1181-1182, 1183-1184, 1185-1186, 1187-1188, 1189-1190, 1191-1192, 1193-1194, 1195-1196, 1197-1198, 1199-1200, 1201-1202, 1203-1204, 1205-1206, 1207-1208, 1209-1210, 1211-1212, 1213-1214, 1215-1216, 1217-1218, 1219-1220, 1221-1222, 1223-1224, 1225-1226, 1227-1228, 1229-1230, 1231-1232, 1233-1234, 1235-1236, 1237-1238, 1239-1240, 1241-1242, 1243-1244, 1245-1246, 1247-1248, 1249-1250, 1251-1252, 1253-1254, 1255-1256, 1257-1258, 1259-1260, 1261-1262, 1263-1264, 1265-1266, 1267-1268, 1269-1270, 1271-1272, 1273-1274, 1275-1276, 1277-1278, 1279-1280, 1281-1282, 1283-1284, 1285-1286, 1287-1288, 1289-1290, 1291-1292, 1293-1294, 1295-1296, 1297-1298, 1299-1300, 1301-1302, 1303-1304, 1305-1306, 1307-1308, 1309-1310, 1311-1312, 1313-1314, 1315-1316, 1317-1318, 1319-1320, 1321-1322, 1323-1324, 1325-1326, 1327-1328, 1329-1330, 1331-1332, 1333-1334, 1335-1336, 1337-1338, 1339-1340, 1341-1342, 1343-1344, 1345-1346, 1347-1348, 1349-1350, 1351-1352, 1353-1354, 1355-1356, 1357-1358, 1359-1360, 1361-1362, 1363-1364, 1365-1366, 1367-1368, 1369-1370, 1371-1372, 1373-1374, 1375-1376, 1377-1378, 1379-1380, 1381-1382, 1383-1384, 1385-1386, 1387-1388, 1389-1390, 1391-1392, 1393-1394, 1395-1396, 1397-1398, 1399-1400, 1401-1402, 1403-1404, 1405-1406, 1407-1408, 1409-1410, 1411-1412, 1413-1414, 1415-1416, 1417-1418, 1419-1420, 1421-1422, 1423-1424, 1425-1426, 1427-1428, 1429-1430, 1431-1432, 1433-1434, 1435-1436, 1437-1438, 1439-1440, 1441-1442, 1443-1444, 1445-1446, 1447-1448, 1449-1450, 1451-1452, 1453-1454, 1455-1456, 1457-1458, 1459-1460, 1461-1462, 1463-1464, 1465-1466, 1467-1468, 1469-1470, 1471-1472, 1473-1474, 1475-1476, 1477-1478, 1479-1480, 1481-1482, 1483-1484, 1485-1486, 1487-1488, 1489-1490, 1491-1492, 1493-1494, 1495-1496, 1497-1498, 1499-1500, 1501-1502, 1503-1504, 1505-1506, 1507-1508, 1509-1510, 1511-1512, 1513-1514, 1515-1516, 1517-1518, 1519-1520, 1521-1522, 1523-1524, 1525-1526, 1527-1528, 1529-1530, 1531-1532, 1533-1534, 1535-1536, 1537-1538, 1539-1540, 1541-1542, 1543-1544, 1545-1546, 1547-1548, 1549-1550, 1551-1552, 1553-1554, 1555-1556, 1557-1558, 1559-1560, 1561-1562, 1563-1564, 1565-1566, 1567-1568, 1569-1570, 1571-1572, 1573-1574, 1575-1576, 1577-1578, 1579-1580, 1581-1582, 1583-1584, 1585-1586, 1587-1588, 1589-1590, 1591-1592, 1593-1594, 1595-1596, 1597-1598, 1599-1600, 1601-1602, 1603-1604, 1605-1606, 1607-1608, 1609-1610, 1611-1612, 1613-1614, 1615-1616, 1617-1618, 1619-1620, 1621-1622, 1623-1624, 1625-1626, 1627-1628, 1629-1630, 1631-1632, 1633-1634, 1635-1636, 1637-1638, 1639-1640, 1641-1642, 1643-1644, 1645-1646, 1647-1648, 1649-1650, 1651-1652, 1653-1654, 1655-1656, 1657-1658, 1659-1660, 1661-1662, 1663-1664, 1665-1666, 1667-1668, 1669-1670, 1671-1672, 1673-1674, 1675-1676, 1677-1678, 1679-1680, 1681-1682, 1683-1684, 1685-1686, 1687-1688, 1689-1690, 1691-1692, 1693-1694, 1695-1696, 1697-1698, 1699-1700, 1701-1702, 1703-1704, 1705-1706, 1707-1708, 1709-1710, 1711-1712, 1713-1714, 1715-1716, 1717-1718, 1719-1720, 1721-1722, 1723-1724, 1725-1726, 1727-1728, 1729-1730, 1731-1732, 1733-1734, 1735-1736, 1737-1738, 1739-1740, 1741-1742, 1743-1744, 1745-1746, 1747-1748, 1749-1750, 1751-1752, 1753-1754, 1755-1756, 1757-1758, 1759-1760, 1761-1762, 1763-1764, 1765-1766, 1767-1768, 1769-1770, 1771-1772, 1773-1774, 1775-1776, 1777-1778, 1779-1780, 1781-1782, 1783-1784, 1785-1786, 1787-1788, 1789-1790, 1791-1792, 1793-1794, 1795-1796, 1797-1798, 1799-1800, 1801-1802, 1803-1804, 1805-1806, 1807-1808, 1809-1810, 1811-1812, 1813-1814, 1815-1816, 1817-1818, 1819-1820, 1821-1822, 1823-1824, 1825-1826, 1827-1828, 1829-1830, 1831-1832, 1833-1834, 1835-1836, 1837-1838, 1839-1840, 1841-1842, 1843-1844, 1845-1846, 1847-1848, 1849-1850, 1851-1852, 1853-1854, 1855-1856, 1857-1858, 1859-1860, 1861-1862, 1863-1864, 1865-1866, 1867-1868, 1869-1870, 1871-1872, 1873-1874, 1875-1876, 1877-1878, 1879-1880, 1881-1882, 1883-1884, 1885-1886, 1887-1888, 1889-1890, 1891-1892, 1893-1894, 1895-1896, 1897-1898, 1899-1900, 1901-1902, 1903-1904, 1905-1906, 1907-1908, 1909-1910, 1911-1912, 1913-1914, 1915-1916, 1917-1918, 1919-1920, 1921-1922, 1923-1924, 1925-1926, 1927-1928, 1929-1930, 1931-1932, 1933-1934, 1935-1936, 1937-1938, 1939-1940, 1941-1942, 1943-1944, 1945-1946, 1947-1948, 1949-1950, 1951-1952, 1953-1954, 1955-1956, 1957-1958, 1959-1960, 1961-1962, 1963-1964, 1965-1966, 1967-1968, 1969-1970, 1971-1972, 1973-1974, 1975-1976, 1977-1978, 1979-1980, 1981-1982, 1983-1984, 1985-1986, 1987-1988, 1989-1990, 1991-1992, 1993-1994, 1995-1996, 1997-1998, 1999-2000, 2001-2002, 2003-2004, 2005-2006, 2007-2008, 2009-2010, 2011-2012, 2013-2014, 2015-2016, 2017-2018, 2019-2020, 2021-2022, 2023-2024, 2025-2026, 2027-2028, 2029-2030, 2031-2032, 2033-2034, 2035-2036, 2037-2038, 2039-2040, 2041-2042, 2043-2044, 2045-2046, 2047-2048, 2049-2050, 2051-2052, 2053-2054, 2055-2056, 2057-2058, 2059-2060, 2061-2062, 2063-2064, 2065-2066, 2067-2068, 2069-2070, 2071-2072, 2073-2074, 2075-2076, 2077-2078, 2079-2080, 2081-2082, 2083-2084, 2085-2086, 2087-2088, 2089-2090, 2091-2092, 2093-2094, 2095-2096, 2097-2098, 2099-2100, 2101-2102, 2103-2104, 2105-2106, 2107-2108, 2109-2110, 2111-2112, 2113-2114, 2115-2116, 2117-2118, 2119-2120, 2121-2122, 2123-2124, 2125-2126, 2127-2128, 2129-2130, 2131-2132, 2133-2134, 2135-2136, 2137-2138, 2139-2140, 2141-2142, 2143-2144, 2145-2146, 2147-2148, 2149-2150, 2151-2152, 2153-2154, 2155-2156, 2157-2158, 2159-2160, 2161-2162, 2163-2164, 2165-2166, 2167-2168, 2169-2170, 2171-2172, 2173-2174, 2175-2176, 2177-2178, 2179-2180, 2181-2182, 2183-2184, 2185-2186, 2187-2188, 2189-2190, 2191-2192, 2193-2194, 2195-2196, 2197-2198, 2199-2200, 2201-2202, 2203-2204, 2205-2206, 2207-2208, 2209-2210, 2211-2212, 2213-2214, 2215-2216, 2217-2218, 2219-2220, 2221-2222, 2223-2224, 2225-2226, 2227-2228, 2229-2230, 2231-2232, 2233-2234, 2235-2236, 2237-2238, 2239-2240, 2241-2242, 2243-2244, 2245-2246, 2247-2248, 2249-2250, 2251-2252, 2253-2254, 2255-2256, 2257-2258, 2259-2260, 2261-2262, 2263-2264, 2265-2266, 2267-2268, 2269-2270, 2271-2272, 2273-2274, 2275-2276, 2277-2278, 2279-2280, 2281-2282, 2283-2284, 2285-2286, 2287-2288, 2289-2290, 2291-2292, 2293-2294, 2295-2296, 2297-2298, 2299-2300, 2301-2302, 2303-2304, 2305-2306, 2307-2308, 2309-2310, 2311-2312, 2313-2314, 2315-2316, 2317-2318, 2319-2320, 2321-2322, 2323-2324, 2325-2326, 2327-2328, 2329-2330, 2331-2332, 2333-2334, 2335-2336, 2337-2338, 2339-2340, 2341-2342, 2343-2344, 2345-2346, 2347-2348, 2349-2350, 2351-2352, 2353-2354, 2355-2356, 2357-2358, 2359-2360, 2361-2362, 2363-2364, 2365-2366, 2367-2368, 2369-2370, 2371-2372, 2373-2374, 2375-2376, 2377-2378, 2379-2380, 2381-2382, 2383-2384, 2385-2386, 2387-2388, 2389-2390, 2391-2392, 2393-2394, 2395-2396, 2397-2398, 2399-2400, 2401-2402, 2403-2404, 2405-2406, 2407-2408, 2409-2410, 2411-2412, 2413-



Biblioteka Główna
Zachodniopomorskiego Uniwersytetu
Technologicznego w Szczecinie
CZ . 65926



001-065926-00-0

CZYTELNIA BG ZUT

14.12

CZYTELNIA BG ZUT