

WPLYW NIESTACJONARNOŚCI I PRZYPADKOWOŚCI OBSERWACJI NA OCENĘ STANU W WIELOWYMIAROWEJ DIAGNOSTYCE MASZYN

Czesław CEMPEL, Magdalena KRAKOWIAK

Instytut Mechaniki Stosowanej Politechniki Poznańskiej; email: czeslaw.cempel@put.poznan.pl; magdalena.krakowiak@doctorate.put.poznan.pl

Streszczenie

Symptomy diagnostyczne wielu diagnozowanych obiektów mają dużą wrażliwość na zakłócenia. Zatem symptomowa macierz obserwacji (SMO) ma składową przypadkową. Może to zachodzić z tytułu niekontrolowanej zmiany obciążenia. Ma to istotny wpływ na końcową ocenę stanu obiektu. Jako remedium w pracy zaproponowano uśrednianie początkowej wartości symptomów, a dopiero następnie zastosowanie rozkładu względem wartości szczególnych (SVD). Jak się okazuje to proste pociągnięcie może przynieść liczące się rezultaty w podwyższeniu stabilności i diagnostycznej informatywności wyników przetwarzania SMO.

Słowa kluczowe: obserwacja wielowymiarowa, przekształcenie SVD, niestacjonarność obciążenia.

CONDITION ASSESSMENT IN UNSTATIONARY WORKING REGIME AND RANDOM COMPONENT OF OBSERVATION VECTOR IN MULTIDIMENSIONAL MACHINERY DIAGNOSTICS

Summary

Machine symptoms of condition of many diagnosed object have some sensitivity to disturbances, either of stochastic nature or as the load sensitivity, if machine works in nonstationary regime. As a remedy to this inconvenience we can apply the averaging of initial symptom value before classical application of singular value decomposition (SVD). As it is shown in the paper, this simple preprocessing can bring us the good result in the stability and diagnostic information value of applied symptoms.

Keywords: vibration monitoring, multidimensional observation, symptoms preprocessing, singular value decomposition (SVD).

1. WSTĘP

Propozycja diagnostyki wielowymiarowej obiektów krytycznych, z zastosowaniem rozkładu względem wartości szczególnych (SVD) do transformacji informacji zawartych w symptomowej macierzy obserwacji, liczy sobie już kilka lat [1]. Koncepcja wielowymiarowości w diagnostyce była rozwijana przez pierwszego autora i jego zespół i stan jej rozpracowania przedstawiają przykładowo ostatnie prace [3, 4]. W pracach tych na podstawie wielowymiarowej symptomowej macierzy obserwacji (SMO) wyznacza się **uogólnione** symptomy uszkodzeń metodą SVD i składowych głównych (PCA), a przy użyciu koncepcji **niezawodności symptomowej** [8] dla takiego uogólnionego symptomu, wyznacza się uogólnioną krzywą życia i wartość graniczną S_1 symptomu, niezbędna dla bezpiecznej eksploatacji obiektu. Wielowymiarowość obserwacji dla obiektów niestacjonarnych została wzbogacona o skalowanie odczytów współbieżne ze zmiennym i niestacjonarnym obciążeniem maszyny. W jednej z ostatnich publikacji [9]. Pokazano tam, że poprawia to znacznie możliwości wnioskowania

i wyznaczania uogólnionych wartości granicznych S_1 , niezbędnych w bezpiecznej eksploatacji obiektów krytycznych. Skalowanie to polega w istocie na dodaniu (lub odjęciu) czynnika poprawkowego poprzez odpowiednie mnożenie danego wiersza symptomowej macierzy obserwacji (SMO). Można to też interpretować jako metodę usunięcia zakłóceń przypadkowych z obserwacji. Zatem przez analogię można pomyśleć o innej metodzie usuwania zakłóceń, np. przez średniowanie bieżące symptomowych krzywych życia o dużych składowych przypadkowych odczytu.

Jak się okazuje jest to szczególnie istotne w zakłóceniach obserwacji początkowych, które są używane do centrowania i normalizacji we wstępnych obliczeniach tuż przed rozkładem SVD. Ta wrażliwość na normalizację wyszła na jaw przy badaniach zgodności rankingu ekspertów w populacji ocenianych wniosków i osiągnięć za pomocą metody SVD [10]. Okazało się wtedy, że klasyfikacja i ranking wniosków zależą silnie od metody **przekształcania wstępnego** macierzy, podobnie jak wkład informacyjny zastosowanych ocen (*symptomów*). A najbardziej zgodny ranking

można uzyskać przez centrowanie i normalizację do wartości średniej symptomów.

W diagnostyce normalizacja i centrowanie do wartości średniej nie ma sensu z dwu powodów. Znamy tu przecież dodatkowo uporządkowanie odczytów wg czasu życia obiektu θ , oraz po drugie znamy **stan znamionowy** obiektu nowego, lub po odnowie na początku eksploatacji dla $\theta=0$. Zatem taki stan należy zastosować do normalizacji i centrowania, a w przypadku niestacjonarności wartości początkowych, np. z tytułu zakłóceń, taką wartość do centrowania i normalizacji można uzyskać przez średniowanie (*wygładzanie*) początkowych wartości symptomów. Taka jest właśnie naczelną ideą obecnej pracy, czyli sprawdzenie diagnostycznej przydatności uśredniania początkowych wartości symptomowej macierzy obserwacji (**SMO**), razem lub oddzielnie ze skalowaniem **SMO** dla obiektów niestacjonarnych. Tak wstępnie przetworzona macierz obserwacji poddana będzie następnie rozkładowi względem wartości szczególnych (*singular value decomposition* – **SVD**) jak to już czyniliśmy w cytowanych wyżej publikacjach.

2. REDUKCJA WPLYWU NIESTACJONARNOŚCI PRACY OBIEKTU I PRZYPADKOWOŚCI OBSERWACJI

Niestacjonarności pracy obiektu jest bezpośrednim efektem braku kontroli nad warunkami pracy maszyny. Może tu być kilka bezpośrednich powodów takiego stanu rzeczy, po pierwsze kiedy maszyna (np. wentylator) pracuje na sieć która ma swe własne obwody regulacji, nie sprzężone z regulacją pojedynczej maszyny. Po drugie, kiedy diagnozowane obiekty współpracują z otoczeniem o charakterystykach przypadkowych, takie jak podmuchy wiatru (*aerogeneratory*), falowanie morza (*statki, okręty*), i tym podobne. W takich przypadkach jako remedium można też polecić reskalowanie obserwacji, przedstawione niedawno w pracy [10]. Główna idea tego pomysłu może być przedstawiona jak niżej.

Weźmy pod uwagę jedną ze składowych wektora obserwacji S o numerze n (n -ta kolumna symptomowej macierzy obserwacji) i popatrzmy jak wygląda jego zależność od czasu życia dla obserwacji czynionej w czasie θ_p przy wartości L_p obciążenia, jedynej składowej wektora logistycznego symbolizującej wielkość obciążenia obiektu. Możemy to ująć matematycznie w postaci $S_{pn}(\theta_p, L_p)$, a stosując rozkład w szereg Taylora otrzymamy jak niżej

$$S_{pn}(\theta_p, L_p) = S_{pn} \left[\theta_p, L_o \left(1 + \frac{\Delta L_p}{L_o} \right) \right] \cong \left(1 + \frac{\Delta L_p}{L_o} \right) S_{pn}(\theta_p, L_o) \quad (1)$$

co sprowadza się w tym przybliżeniu do **multiplikatywnego** wpływu wektora logistycznego L na wartość symptomu.

Zatem dążąc do normalizacji n -tego odczytu symptomowego wektora obserwacji do stanu **znamionowego** obciążenia L_o , czyli do reskalowanego (znamionowego) odczytu $S_{pn}(\theta_p, L_o)$, powinniśmy odczytaną wartość symptomu pomnożyć przez czynnik reskalujący

$$I_p = \left(1 + \frac{\Delta L_p}{L_o} \right)^{-1} \quad (2)$$

Oznacza to, że dla dodatniego przyrostu obciążenia $\Delta L > 0$ w stosunku do obciążenia znamionowego stanu zdatnego, odczytany symptom należy podzielić przez czynnik większy od jedności ($I_p < 1$) i odwrotnie dla spadku obciążenia $\Delta L < 0$, podzielić przez czynnik mniejszy od jedności.

Tyle jeśli chodzi reskalowanie pojedynczego symptomu S_n w naszej **SMO**. Jeśli założymy dalej, że podobnie zachowują się pozostałe symptomy w wektorze obserwacji, to ten współczynnik możemy zastosować do całego wiersza macierzy obserwacji, czyli zagadnienie reskalowania pojedynczego symptomu możemy przenieść na reskalowanie symptomowej macierzy obserwacji, tak jak to dalej pokazano w [10].

Jeśli natomiast niestacjonarności odczytu wartości wektora symptomów nie da się połączyć ze zmianą obciążenia jak wyżej, to możemy jedynie uznać, że dany symptom posiada pewną składową przypadkową o rozkładzie normalnym (w *pierwszym podejściu*). Aby się pozbyć takich fluktuacji można zastosować jedna z metod q - punktowego (np. $q = 2; 3; \dots$) średniowania bieżącego, dostępnego w każdym prawie przyborniku systemów obliczeniowych. Dostępne tu są proste funkcje uśredniające całą macierz (**SMO**) wzdłuż kolumn, np. *movavg(SMO, q)* dla systemu Matlab®. Znaczy to, że każda składowa wektora obserwacji (*kolumna macierzy obserwacji SMO*) będzie w ten sposób wygładzona, i przy właściwym doborze q pozostanie do dalszych obliczeń tylko trend danego symptomu, bez szkodliwych dla wyniku przypadkowych fluktuacji wartości symptomu. Jak wynika ze wstępnych symulacji fluktuacje takie są najbardziej szkodliwe decyzyjnie na początku obserwacji, czyli dla wartości początkowych symptomów, czyli pierwszych wierszy startowych do obliczeń za pomocą przekształceń **SMO**.

Zostawmy zatem na boku wygładzanie całych symptomowych krzywych życia (*kolumn SMO*), bo do tego celu należy mieć znacznie więcej odczytów symptomów (*co najmniej 50 – 100*), a zajmijmy się wpraw i na użytek tej pracy zbadaniem wpływu uśrednienia wartości początkowych ($q=1;2;3$) symptomowych krzywych życia.

$$S_{am} = \text{movavg}(S_{nm}, q), \quad n=1, \quad (3) \\ \text{gdzie } q=1; \text{ oraz } n=2,3 \text{ gdy } q=2,3$$

Sprawdzi się to obliczeniowo do centrowania i normalizacji nie wg wartości początkowej \mathbf{m} – tego symptomu S_{om} , lecz do uśrednionej wartości początkowej S_{am} (*indeks a jak average*). Zatem jeśli w teoretycznej operacji uśredniania $q=1$, to mamy uśrednianie jednopunktowe i faktycznie normalizujemy i centrujemy do wartości początkowej, jak do tej pory. Jeśli natomiast wybierzemy $q>1$, to będziemy mogli zbadać wpływ uśredniania wartości początkowych symptomów, na wynikową decyzję diagnostyczną. Łącząc to jeszcze z operacją reskalowania dla niestacjonarnej pracy obiektu, możemy rozkład SOM wg wartości szczególnych (SVD) przedstawić jak niżej.

3. ROZKŁAD SYMPTOMOWEJ MACIERZY OBSERWACJI Z UŚREDNIANIEM I RESKALOWANIEM OBSERWACJI

Weźmy zatem pod uwagę symptomową macierz obserwacji SOM, jako realizację wektora symptomów. Do celów obliczeń metodą SVD poszczególne kolumny (symptomy) tej macierzy są centrowane i normalizowane do wartości początkowej ($\theta=0$, *rzeczywistej lub uśrednionej*), tak że obecnie proponowany ciąg przekształceń wektora symptomów w reskalowaną macierz można zapisać jak niżej;

$${}^R O_{pr} = L_{pp} * O_{pr} = [L_{pp}] * [S_{nm}],$$

$$S_{nm} = \frac{S_{nm}}{S_{am}} - 1, \quad (4)$$

gdzie pogrubione litery oznaczają pierwotnie mierzone składowe macierzy przed ich normowaniem, a wielkość normująca i centrująca S_{am} zależy od parametru uśredniania bieżącego $q=1; 2; 3$ jak to przedstawiono we wzorze (3).

Procedura SVD rozkładu powyższej macierzy prostokątnej daje nam lewostronne i prawostronne wektory szczególne i wartości szczególne σ_i , jak niżej [7]

$${}^R O_{pr} = U_{pp} * \Sigma_{pr} * V_{rr}^T, \quad (5)$$

(T - macierz transponowana).

Tutaj U_{pp} to kwadratowa macierz lewostronnych wektorów szczególnych, V_{rr} macierz prawostronnych wektorów szczególnych, Σ_{pr} diagonalna macierz wartości szczególnych, jak niżej:

$$\Sigma_{pr} = \text{diag} (\sigma_1, \dots, \sigma_l), \text{ and } \sigma_1 > \sigma_2 > \dots > \sigma_u > 0, \quad (6)$$

$$\sigma_{u+1} = \dots = \sigma_l = 0, \quad l = \max (p, r), \quad u = \min (p, r).$$

Z dotychczasowych prac autora i jego zespołu wiadomo, że najlepsza interpretacja diagnostyczna powyższej transformacji SMO wynika z dwu wielkości pochodnych otrzymanych z SVD. Pierwsza zwana, **uogólnionym symptomem uszkodzenia** nr t , otrzymana z macierzy obserwacji lub z iloczynu odpowiednich wartości szczególnych i wektorów własnych rzędu t ,

i przedstawia ona czasowy profil rozwijającego się uszkodzenia; $P_t(\theta)$;

$$SD_t = {}^R O_{pr} * v_t = \sigma_t * u_t \sim P_t(\theta), \quad t = 1, \dots, u. \quad (7)$$

Druga wielkość jest miarą energetyczną powyższego i dlatego może przedstawiać kumulacyjne zaawansowanie tego uszkodzenia, czyli:

$$\text{Norm}(SD_t) \equiv \|SD_t\| = \sigma_t \sim F_t(\theta), \quad t = 1, \dots, u. \quad (8)$$

Oczywiście, przy śledzeniu ewolucji uszkodzeń w obiekcie obydwie wielkości będą zależą od czasu życia obiektu θ , czyli będziemy mieli; $SD_t(\theta)$ i $\sigma_t(\theta)$. Monitorując zaś sumaryczne zaawansowanie uszkodzeń w użytkowanym systemie dogodnie jest śledzić sumy powyższych wielkości, jak niżej;

$$\text{Sum} SD_t(\theta) = \sum_{i=1}^{\bar{z}} SD_i(\theta) = \sum_{i=1}^{\bar{z}} \sigma_i(\theta) * u_i(\theta) = P(\theta), \quad (9)$$

$$\text{Sum} \sigma_i(\theta) = \sum_{i=1}^{\bar{z}} \sigma_i(\theta) \sim \sum_{i=1}^{\bar{z}} F(\theta)_i = F(\theta).$$

Taka interpretacja diagnostyczna uogólnionych ewolucji uszkodzeń w obiekcie otrzymanych z dekompozycji SVD macierzy obserwacji wydaje się być poprawna, co wynika np. z pracy pierwszego autora [4], gdzie bazując na koncepcji niezawodności symptomowej pokazano wyznaczenie uogólnionej krzywej życia $SC_u(\theta)$ i wartości granicznej S_l . Niżej postaramy się prześledzić podobne własności obiektów wynikające z zastosowania SVD razem ze średniowaniem wartości początkowych, dla tak przekształconej symptomowej macierzy obserwacji (SMO) jak i przy dodatkowym użyciu reskalowania.

4. DIAGNOSTYCZNE PRZYKŁADY WPLYWU UŚREDNIANIA WARTOŚCI POCZĄTKOWYCH I RESKALOWANIA OBSERWACJI W SMO

Zamieszczone tu wyniki są bezpośrednim przedłużeniem i modyfikacją oprogramowania używanego w pracy [10], czyli programu **pcaresc.m**, gdzie poprawiono część graficzna prezentacji (*wszystko na jednym rysunku*), a przede wszystkim dodano wariant centrowania i normalizacji wg uśredniania kilku pierwszych odczytów symptomów. Obliczenia wstępne prowadzone dla dostępnych rekordów używanych już w pracach pierwszego autora, z badań diagnostycznych silników dieslowskich (*dane typu sil24.txt, sil54.txt*), dla wentylatora nadmuchu w kopalni **sier1.txt**, oraz nowych danych z badań łożysk tocznych¹ (*dane krak3.txt do krak7.txt*),

¹ Dane uzyskane z pomiarów stendowych drugiego autora

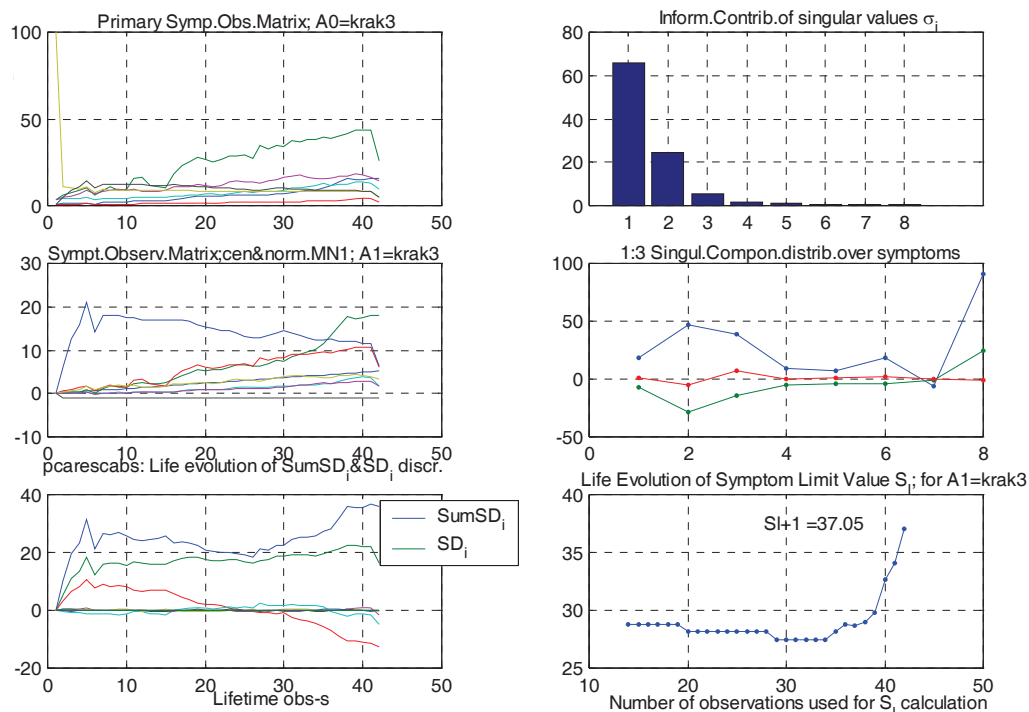
wykazały że najlepiej jeśli uśrednianie dotyczy dwu a czasem trzech wstępnych odczytów, czyli $n=2; 3$ we wzorze (2).

Przy okazji wprowadzono również modyfikacje w obliczeniach symptomów uzyskanych z rozkładu **SVD** wg pierwszego wzoru (8). W poprzednich edycjach tego oprogramowania (**pcaresc.m**) przy sumowaniu używano modułu SD_i , co dobrze oddziaływało na końcowy wynik sumowania przy składowych oscylacyjnych (np. **sier1.txt**) dając cały czas wartości dodatnie i zawiązało też nieco wynik obliczeń wartości granicznej S_i niezbędnej do decyzji diagnostycznej. W końcowej wersji modyfikacji oprogramowania wprowadzono dwie jego wersje **pcaresabs.m**, gdzie nadal zachowano sumowanie modułów dyskryminant SD_i , oraz wersję **pcaresavg.m** z sumowaniem zwykłym i średniowaniem wstępnych odczytów, jak wyjaśniono wyżej.

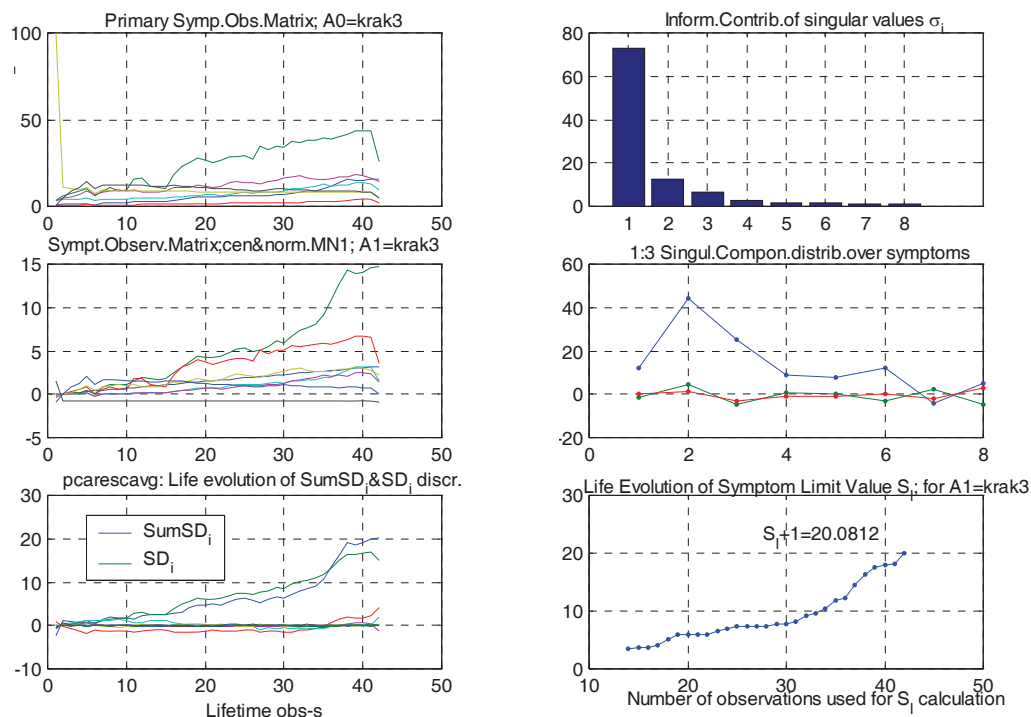
Przechodząc do prezentacji wyników tak zmodyfikowanych programów obliczeniowych weźmy pod uwagę wyniki testu zużyciowego na stendzie do badań łożysk gdzie mierzono następujące wielkości drganiowe; **Arms**, **Apeak**, **Vrms**, **Vpeak**, emisję akustyczną **EA**, pobierana moc przez napęd - **M** i temperaturę łożyska **T**. Razem z wprowadzaną przez program zmienną czasu trwania θ uzyskujemy w ten sposób osiem

symptomów do oceny stanu łożyska. Na rys. 1 przedstawiono wynik obliczeń tych danych wg programu **pcarescabs.m** z normalizacją i centrowaniem do pierwszego odczytu wektora symptomowego. Obrazek górny lewy przedstawia tu oryginalne wyniki pomiarów i jak widać mamy przy starcie prawie dziesięciokrotny spadek mocy napędu, w związku z tym wyniki przetwarzania symptomów, obrazek lewy środkowy, jak i symptomy uogólnione (obrazek lewy dolny) objawiają typowo nie diagnostyczne i nie monotoniczne zachowanie, czyli wzrastające i spadające wartości. Co więcej jest to jedyne łożysko, gdzie tuż przed zniszczeniem wartości innych symptomów też spadają. Stąd też można podejrzewać, że z tytułu braku uśredniania ocena intensywności i rodzaju uszkodzeń (obrazek prawy górny), ocena informatywności pierwotnych symptomów (obrazek prawy środkowy), jak i ocena wartości granicznej S_i (obrazek prawy dolny) będzie tutaj istotnie zafałszowana.

Jak bardzo ta ocena jest zafałszowana brakiem uśredniania, co może być niezwykle istotne przy nadzorze automatycznym, można się przekonać z kolejnego rys. 2 przedstawiającego te same dane łożyska **krak3.txt** bez eliminacji symptomu mocy **M**, a tylko przetworzone przez program **pcarescavg.m** (z uśrednieniem -avg).



Rys. 1. Sumaryczny rezultat przetwarzania odczytów ośmiu symptomów w próbie stendowej łożyska **krak3.txt**



Rys. 2. Dane testu łożyska **krak3.txt** (jak rys.1) przetworzone programem z uśrednieniem 3 wartości początkowych

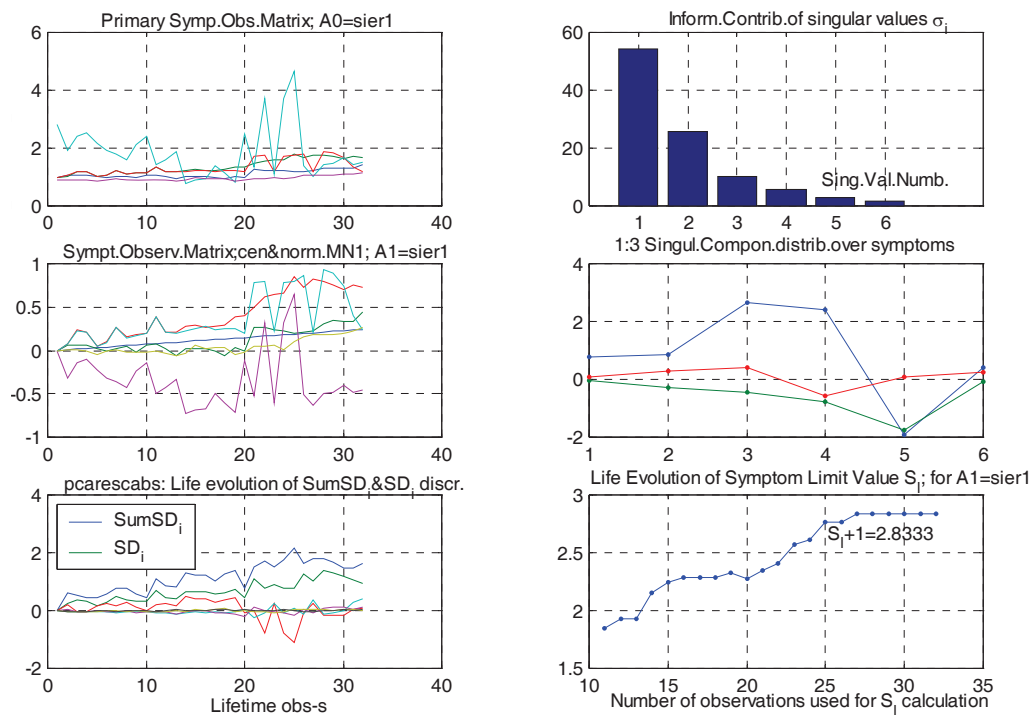
Jak widać z rysunku zmieniają się wszystkie obrazki poza górnym lewym danych oryginalnych. Dzięki uśrednieniu obrazki lewe środkowy i dolny mają (z dokładnością do zakłóceń) przebieg rosnący za wyjątkiem ostatniego odczytu życia, o czym już wspomnieliśmy. Natomiast informatywność uogólnionych symptomów (obrazek górny prawy) zmieniła się znacznie wskazując na jedno dominujące uszkodzenie. Podobnie waga symptomów mierzonych pierwotnie (obrazek prawy środkowy) wskazuje, że dwa ostatnie; temperatura i moc, nie mają wartości diagnostycznej w tym przypadku i można je dorzucić. Zás największa wartość diagnostyczną mają przyspieszenia bieżni zewnętrznej; w kolejności **Arms** i **Apeak**. Względnie dobrze jest też wyartykułowana obliczeniowo wartość graniczna uogólnionego symptomu (obrazek dolny prawy), $S_i = 18 \div 19$, w konfrontacji z wartościami tych symptomów na obrazku lewym dolnym.

Jak już wspomniano oprogramowaniem tym przebadano więcej SMO innych łożysk i obiektów i wyprowadzone wnioski mimo różnicy nadzorowanych obiektów są podobne. Znaczący to, że w sytuacji danych z obiektów rzeczywistych należy pomyśleć o uśrednianiu symptomów, zwłaszcza ich wartości początkowych, rzutuje to bowiem na całe wyniki przetwarzania i nasze dalsze decyzje diagnostyczne.

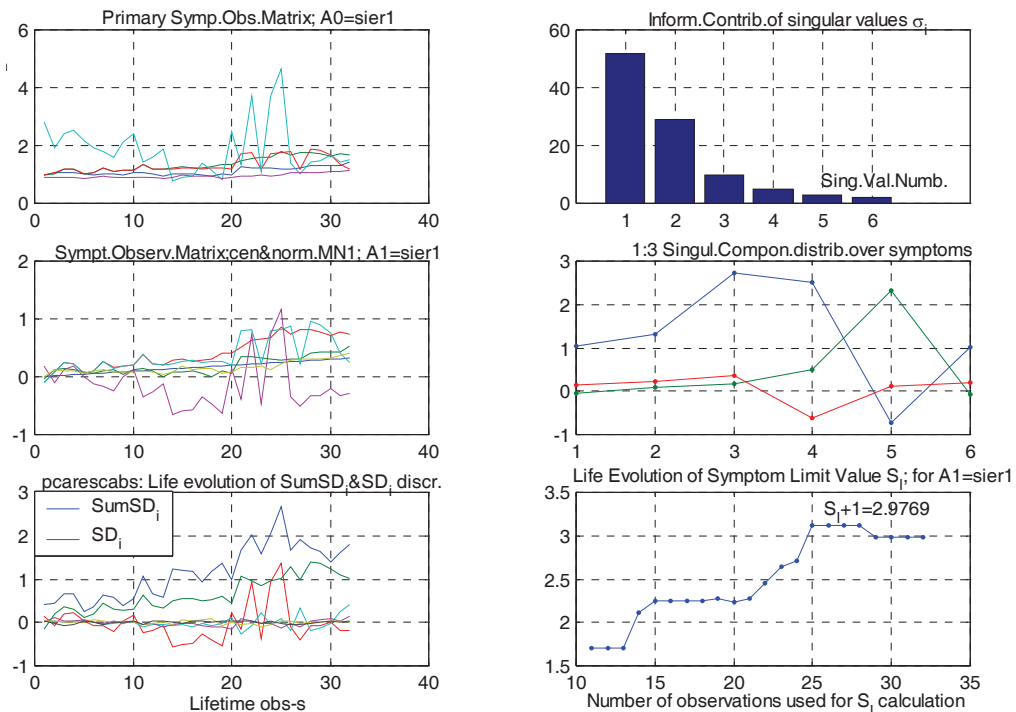
Interesujące jest również pytanie jak jednoczesne uśrednianie i reskalowanie wpływa na przetwarzanie SMO z obiektu wybitnie

niestacjonarnego **sier1.txt** jakim był w poprzedniej pracy [9] wentylator nadmuchu powietrza w kopalni. Kolejne dwa rysunki wyjaśniają ten problem przez pryzmat programu z sumowaniem modułów **pcarescabs.m**, bardziej zorientowanego na obiekty niestacjonarne. Kolejne obrazki rysunku 3 mają takie same znaczenie jak referowane poprzednio dla łożysk **krak3.txt**, tu zaś mierzono 5 wielkości drganiowych na korpusie i na łożyskach ślizgowych wentylatora. Widać ich wielką niestacjonarność początkową (obrazek lewy górny), która po przetworzeniu w symptomy uogólnione (obrazek lewy dolny) jest znacznie zredukowana. W poprzedniej pracy przebieg wartości granicznej ustabilizował się po 25 obserwacji na poziomie $S_i = 1.8$, natomiast po uśrednieniu wartość ta spada do $S_i = 1.5$, zgodnie z poprzednio opisaną już tendencją przy uśrednianiu i zaniżonymi wartościami symptomów uogólnionych (obrazek lewy dolny). Podobnie zachowują się symptomy innych łożysk **krak4.txt** – **krak7.txt**, pokazując że uśrednienie wartości początkowych to wartościowy pomysł

Przy tak dużej niestacjonarności obserwacji jak wyżej w **sier1.txt** zastosowaliśmy poprzednio reskalowanie obserwacji, zobaczymy zatem obecnie czy potwierdzone zostaną zaobserwowane tam tendencje reskalowania przy jednoczesnym uśrednianiu wartości początkowych symptomów, tak jak na rys. 4.



Rys. 3. Drganiowa diagnostyka wentylatora nadmuchu w kopalni miedzi **sier1.txt** z trzypunktowym uśrednianiem początkowych odczytów symptomów jak w pracy [9]



Rys. 4. Wentylator nadmuchu w kopalni miedzi **sier1.txt** z trzypunktowym uśrednianiem początkowych odczytów symptomów i reskalowaniem odczytu pierwszego, jak w pracy [9]

Jak widać z porównania rysunku 3 i 4, drugi symptom uogólniony doznał jak poprzednio [9] zmiany znaku na dodatni (*obrazek lewy dolny*). Zwiększyły się także względne udziały informatywności uogólnionego symptomu 1 (*obrazek prawy górny*), a także wagi pierwotnych symptomów nr 5 i nr 6. Zaś wartość graniczna ustabilizowała się na nieco wyższym poziomie $S_f=2$, zgodnie z podwyższonymi przez reskalowanie wartościami symptomów uogólnionych (*obrazek lewy dolny*). Zatem uśrednianie startowych wartości symptomów nie niweluje właściwości reskalowania dla obiektów niestacjonarnych, a przy niestacjonarności początkowej może być czasem wystarczająca operacją.

5. PODSUMOWANIE

W wielu przypadkach diagnostyki obiektów pracujących w większych systemach ich obserwacje mogą być niestacjonarne, to znaczy na rosnący trend zużyciowy nałożone są fluktuacje obserwowanego symptomu. Fluktuacje takie są niezwykle istotne w momencie startowym systemu diagnostycznego, gdyż w przetwarzaniu **SOM** normalizujemy i centrujemy symptomy właśnie do ich wartości początkowej. Praca pokazuje zasadność i dobre wyniki uśredniania wartości początkowych na przykładach zaczerpniętych ze stendowych badań diagnostycznych jak i z praktyki. Pokazano iż uśrednienie 3 pierwszych odczytów jest w zupełności wystarczające dla zapewnienia dobrych danych wartości granicznej symptomu S_f ważnej dla dalszych decyzji diagnostycznych. Jak się wydaje takie uśrednianie może być niezwykle istotne w systemach automatycznego nadzoru pozbawionych krytycznego i syntezującego oglądu człowieka operatora.

LITERATURA

- [1] Cempel C.: *Innovative Developments in Systems Condition Monitoring*. Keynote Lecture, DAMAS'99, Dublin 1999.
- [2] Natke H. G., Cempel C., *Model Aided Diagnosis of Mechanical Systems*, Springer Verlag, Berlin, 1997, p248.
- [3] Cempel C.: *Multidimensional Condition Monitoring of Mechanical Systems in Operation*. Mechanical Systems and Signal Processing, 2003, Vol. 17, No 6, pp1291 – 1303.
- [4] Cempel C.: *Implementing Multidimensional Inference Capability in Vibration Condition Monitoring*. Proceedings of Conference: Acoustical and Vibratory Surveillance, Senlis - France, October 2004; także w poprawionej formie Diagnostyka, No 34, 2005, s7-14.
- [5] Gere G. M., Weaver W.: *Matrix Algebra for Engineers*. Van Nostrand, Princetown, 1965, p168.
- [6] Natke H. G., Cempel C.: *The Symptom Observation Matrix for Monitoring and Diagnosis*. Journal of Sound and Vibration, 2002, 248, pp597 – 620.
- [7] Kielbasiński A., Schwielić H.: *Numeryczna Algebra Liniowa*, WNT, Warszawa, 1992, s502.
- [8] Cempel C., Natke H. G., Yao J. P. T.: *Symptom Reliability and Hazard for Systems Condition Monitoring*. Mechanical Systems and Signal Processing, Vol. 14, No 3, 2000, pp 495-505.
- [9] Cempel C., Tabaszewski M., *Skalowanie Obserwacji w Wielowymiarowej Diagnostyce Maszyn Niestacjonarnych*. Diagnostyka, 2005, No 34, s23-30.
- [10] Cempel C.: *Rozkład Symptomowej Macierzy Obserwacji Populacji jako Pomoc w Ocenie Jakości Wniosków i Obiektów*. Diagnostyka, 2005, No 35, s7-12.

Prof. dr hab. **Czesław CEMPEL** jest kierownikiem



Zakładu Wibroakustyki i Bio-Dynamiki Systemów Wydziału Budowy Maszyn i Zarządzania Politechniki Poznańskiej, mult. dr h. c., członek korespondent Polskiej Akademii Nauk, członek Komitetu Badań Naukowych w trzeciej kadencji. Jest członkiem wielu organizacji naukowych krajowych i zagranicznych np. IMEKO, EUROSCIENCE, GAMM. Jeden z założycieli PTDT w 1990 r. Obecnie jest honorowym przewodniczącym PTDT. Zajmuje się wibroakustyką i diagnostyką maszyn, inżynierią systemów, ekologią. Autor ponad 370 opublikowanych prac, 14 skryptów i książek.



Mgr inż. **Magdalena KRAKOWIAK** jest doktorantem w Instytucie Mechaniki Stosowanej Politechniki Poznańskiej i zamierza przedstawić rozprawę z przedstawionej tematyki.