

Postępy w diagnostyce lin stalowych

1. Wstęp.

Określenie stanu struktury mechanicznej, jaką jest lina stalowa, w czasie jej eksploatacji, dokonywane jest obecnie różnymi metodami i środkami, z których najbardziej powszechną jest defektoskopia magnetyczna. Jest ona fragmentem szerokiej dziedziny zwanej diagnostyką. Celem defektoskopii jest określenie stanu liny za pomocą zarejestrowanego w czasie badań sygnału i relacji które zachodzą między wielkościami fizycznymi jakimi są stan obiektu i sygnał z niego pozyskiwany. Śledzenie czasowych sekwencji sygnału diagnostycznego umożliwia prognozowanie stanu obiektu, a także genezę jego zużycia. Sygnały jakie uzyskujemy w wyniku stosowania tej metody są niestacjonarne. Ta niestacjonarność stanowi immanentną własność generowanych w trakcie badań sygnałów diagnostycznych. Niestacjonarność, podobnie jak nieliniowość, nastęrcza duże trudności teoretyczne podczas analizy zjawisk, mimo że problem analizy widmowej sygnałów niestacjonarnych nie jest problemem nowym i istnieją różne sposoby jego rozwiązywania. Właściwości zjawisk i niestacjonarność procesów występujących w takich obiektach jak np. liny stalowe powodują, że powstają nowe metody pomiarowe oraz nowe algorytmy do przetwarzania sygnałów.

W artykule zamieszczono problematykę związaną z defektoskopią lin stalowych i postępy w jej rozwoju. Liny stalowe są powszechnie stosowane prawie we wszystkich gałęziach przemysłu i w wielu dziedzinach techniki. Znalazły zastosowanie jako ciągną i elementy nośne w różnych urządzeniach do transportu ludzi i materiałów. Stosuje się je także jako elementy nośne i konstrukcyjne wszelkiego rodzaju budowli. Elementy te niejednokrotnie w trzydziestoletnim, a czasami i dłuższym okresie użytkowania nie były poddawane żadnej formie kontroli. Konieczność zwiększenia bezpieczeństwa pracy urządzeń, w skład których wchodzi liny stalowe, przyczynia się do rozwoju i postępu w dziedzinie instrumentalnych nieniszczących metod pomiarowych stosowanych na tych obiektach.

2. Defektoskopia lin stalowych na różnych obiektach technicznych.

W defektoskopii magnetycznej do wytworzenia sygnału informującego o stanie obiektu wykorzystuje się stałe pole magnetyczne wytwarzane w głowicy pomiarowej. Stanowi ona – oprócz rejestratora – główny element zestawu diagnostycznego (rys.1.) W ostatnich latach nastąpił szybki rozwój aparatury do badań magnetycznych lin stalowych i innych elementów ferromagnetyczny. W wyniku tej ewolucji powstał defektograf MD 120 oraz typoszereg głowic pomiarowych nowej generacji.



Rys.1. Zestaw do badania lin stalowych (defektograf MD 120 i głowica GM60).

Powstały także głowice specjalistyczne jak np. GP9 do badania linek stalowych przenośników taśmowych (rys. 2) szeroko stosowanych w górnictwie odkrywkowym i podziemnym.



Rys.2. Badanie linek stalowych przenośnika taśmowego (głowica GP9)

Badaniami magnetycznymi objęte są wszystkie liny urządzeń wyciągowych. Metoda jest rutynowa i szeroko stosowana we wszystkich kopalniach. Wymóg stosowania metody magnetycznej jest również wpisany w przepisy stosowane na kolejkach linowych i wyciągach narciarskich (rys.3). Istnieją również obiekty techniczne w skład których wchodzi liny stalowe będące ich elementami konstrukcyjnymi. Od ponad 30 lat w większości masztów telewizyjnych i różnych konstrukcjach ciągnowych nie diagnozowano stanu technicznego odcinków linowych. W ostatnim okresie badaniami magnetycznymi objęto najstarsze z tych obiektów (rys.4). W trakcie badania do głowicy pomiarowej typu GM60Split podwieszono w specjalnym koszu rejestrator MD120. Te nowatorskie badania poddano weryfikacji poprzez wykonanie badań niszczących wybranych na podstawie badań magnetycznych i zdjętych z obiektu lin stalowych. Laboratoryjne badania wytrzymałościowe odcinków lin w pełni potwierdziły sensowność stosowania metody magnetycznej na tych obiektach.



Rys. 3. Badanie magnetyczne liny nośno – napędowej kolei linowej.



Rys.4. Badanie odcinków linowych masztu telewizyjnego i wieży ciśnień.

Jednym z najtrudniejszych obiektów do badania są maszty radiowo-telewizyjne w których na odcinkach linowych zamontowane są izolatory (rys.5). Proces badawczy można było zrealizować dzięki zastosowaniu specjalnie skonstruowanej głowicy segmentowej typu GM60Split. Jej wieloczęściowa konstrukcja pozwala na przetrzucie systemu pomiarowego nad izolatorem przez dwóch wyspecjalizowanych alpinistów. Także tutaj rejestrator podwieszony jest do głowicy pomiarowej.



Rys.5. Badania magnetyczne masztu z izolatorami (głowica GM60Split).



Rys.6. Badanie magnetyczne lin stalowych mostu wiszącego (głowica GM60).

Znacznie łatwiejsza jest realizacja procesu badawczego na linowych mostach wiszących (rys.6). W zależności od wielkości obiektu rejestrator porusza się razem z głowicą pomiarową lub spoczywa na konstrukcji mostu.

Wszelkie badania w których głowica pomiarowa jest w spoczynku a porusza się lina, uważane są za standardowe nie następujące trudności. Niemniej dla lin o większych średnicach (rys.7) i o dużym współczynniku wypełnienia nieodzowna jest duża wiedza diagnostyka zajmującego się analizą i interpretacją wyników.



Rys.7. Badanie liny podnoszącej o dużej średnicy na statku do stawiania platform wiertniczych.

Różnorodność obiektów technicznych zawierających liny stalowe i różne sposoby określania ich stanu skłaniają do budowy rejestratorów nowej generacji, którymi można realizować proces badawczy w czasie rzeczywistym. Szereg prac doktorskich i habilitacyjnych przyczyniło się do rozwoju defektoskopii magnetycznej i powstania nowych rozwiązań konstrukcyjnych aparatury pomiarowej. Wzrost dokładności wyznaczania wartości osłabienia lin stalowych uwarunkowane jest dokonaniem szeregu ulepszeń w budowie aparatury, a także zmianą sposobu prowadzenia badań i interpretacji otrzymanych wyników. Dzięki stosowanej aparaturze pomiarowej i znanym obecnie metodom obliczeń w większości wykonywanych ocen, uzyskuje się bardzo dobre wyniki umożliwiające określenie aktualnego stanu obiektu, a także śledzenie zmian jego stanu w czasie. Możliwe jest zatem wykorzystanie środków stosowanych powszechnie w dziedzinie diagnostyki technicznej takich, jak geneza zużycia, prognozowanie czasu pracy czy obliczanie trendów zużycia. W przypadku lin stalowych dzięki obowiązującym aktom normatywnym i przepisom, w których zamieszczone są kryteria dopuszczalnego poziomu zużycia, kwalifikuje się je do klasy zdolności do bezpiecznej pracy lub wydaje się decyzje o wymianie na nową.

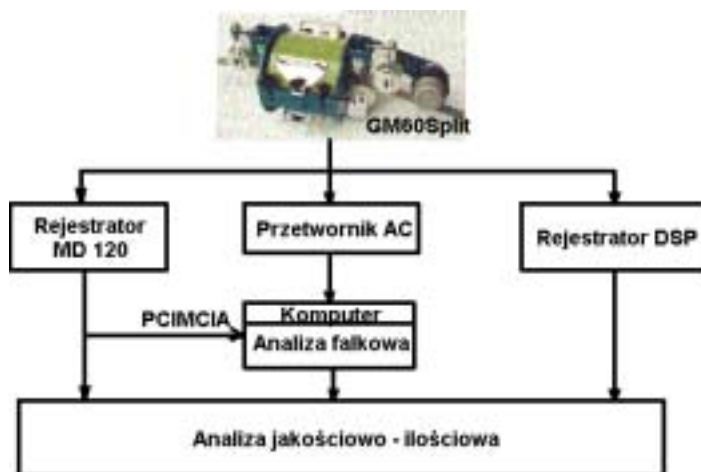
3. Różne sposoby realizacji procesu diagnostycznego opartego o metodę rozpoznawania wzorca.

W literaturze spotyka się ogólny podział metod wykrywania i lokalizacji uszkodzeń na trzy kategorie:

- metody estymacyjne,
- metody korzystające z bazy wiedzy,
- metody rozpoznawania wzorców.

Metoda estymacyjna wymaga znajomości modelu matematycznego procesu zużyciowego. Zależności wiążące parametry modelu z parametrami stanu obiektu posiadają często złożoną postać. Zmiana parametru fizycznego np. ubytku materiału uwidacznia się w parametrach procesu zużyciowego. Związek pomiędzy parametrami modelu matematycznego procesu, a parametrami fizycznymi powinien być dokładnie znany, co w przypadku defektoskopii magnetycznej jest nie do osiągnięcia. Stąd niemożność stosowania metody estymacyjnej do badań magnetycznych lin stalowych. Jedynie przydatną okazała się metoda rozpoznawania wzorców którą opisano w kolejnych punktach artykułu.

Sygnał pomiarowy pozyskiwany z głowicy (np. GM60Split) może być wykorzystany do dalszej analizy na trzy sposoby (rys. 8). W standardowej defektoskopii jest on rejestrowany przez rejestrator (np. MD 120) i w kolejnym kroku poddany analizie jakościowo-ilościowej zgodnie z obowiązującymi normami. Również sygnał można zapisać w przenośnej pamięci na kartach PCIMCIA wykonując ich wizualizację na monitorze komputera. Można również sygnał zarejestrować poprzez przetwornik AC w pamięci komputera, poddając go później analizie falkowej oraz dokonując analizy jakościowo-ilościowej na wyselekcjonowanych informacjach o różnych rodzajach uszkodzeń. Procedura ta może być wykonana w trybie "off-line". Trzecia możliwość realizowana jest na algorytmach analizy falkowej zaimplementowanych na szybkich procesorach sygnałowych DSP w czasie rzeczywistym. To rozwiązanie daje szansę na zbudowanie rejestratorów nowej generacji.

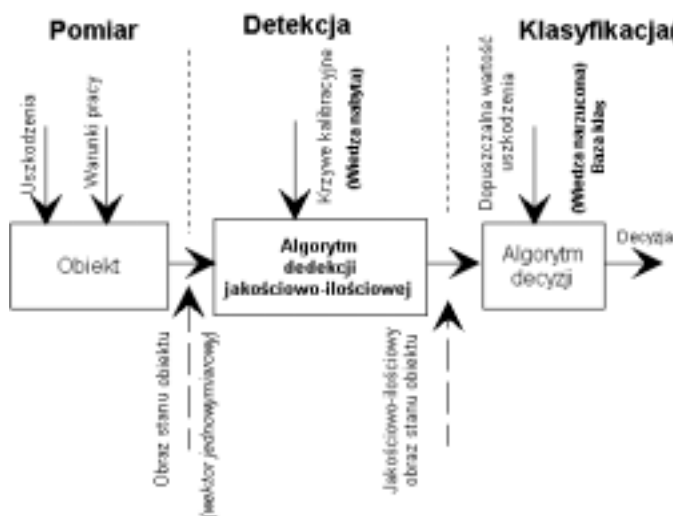


Rys. 8. Możliwości rejestracji sygnału diagnostycznego.

3.1. Standardowa metoda badań lin stalowych.

W wykorzystywanej w defektoskopii magnetycznej metodzie rozpoznawania wzorca na etapie pomiaru należy wybrać odpowiednią aparaturę do diagnozowanego obiektu (rys. 9). Zapewni to uzyskanie rzeczywistego obrazu stanu obiektu. Następnie uzyskany wektor jednowymiarowy poddaje się detekcji jakościowo – ilościowej. Uzupełnienie nabytej wiedzy

w postaci krzywych kalibracyjnych w bloku detekcji ilościowej prowadzi do etapu podejmowania decyzji, gdzie znajomość narzuconej wiedzy o dopuszczalnym poziomie zużycia pozwala na zakwalifikowanie wektora uszkodzeń do jednej lub więcej klas. Może to być klasa normalna, zdatna itp.



Rys.9. Metoda rozpoznawania wzorca.

W wyniku przeprowadzonego procesu diagnostycznego uzyskujemy defektogram z zarejestrowanymi sygnałami (rys. 10) w oparciu o który wykonuje się analizę jakościowo – ilościową.

Rys.10. Defektogram z badania magnetycznego liny stalowej.

Można także wykonać analizę z wykorzystaniem oprogramowania Browser102 do wizualizacji danych co przedstawia rys.11.



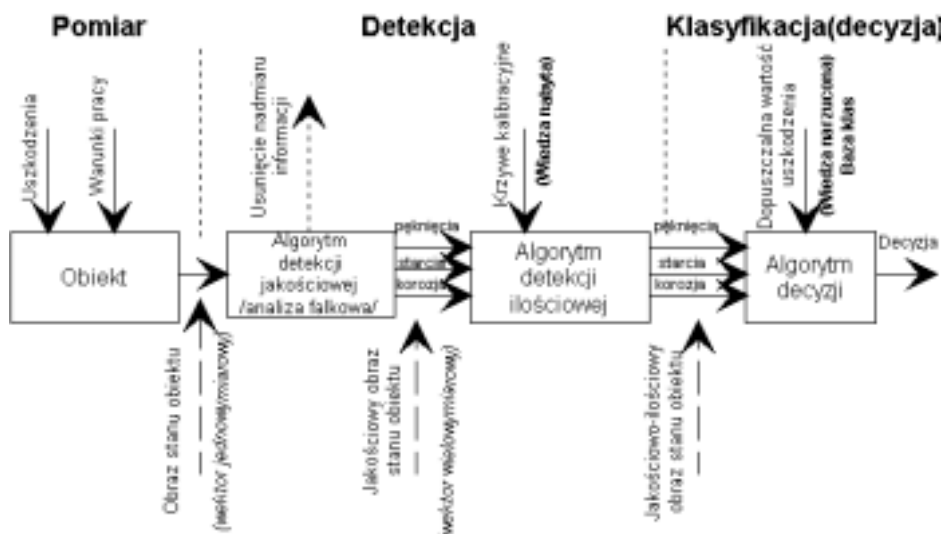
Rys.11. Wizualizacja danych pomiarowych z wykorzystaniem karty pamięci PCIMCIA.

3.2. Zastosowanie analizy falkowej do analizy sygnału niestacjonarnego.

Warunkiem niezawodnego funkcjonowania systemów diagnostycznych jest szybkie, algorytmiczne wykrywanie typowych nieprawidłowości. Implementacja takich algorytmów winna umożliwić natychmiastowe uruchomienie procedur diagnozujących prowadzących do określenia stopnia zużycia badanego obiektu. Dotychczas stosowana aparatura pomiarowa do badań magnetycznych, korzystająca m.in. z sygnałów z czujników indukcyjnych, ma zawężone konstrukcyjnie pasmo pomiarowe. Obcinanie pasma sygnału roboczego prowadzi do utraty istotnych informacji o procesie zużyciowym. Ponadto aparatura ta umożliwia przeprowadzenie tylko prostej analizy przebiegów, bazując na jej charakterystycznych wartościach parametrów przebiegu takich, jak: amplituda, moc, energia czy ewentualnie szerokość impulsu. Jedną z przyczyn tego faktu jest niedogodność występująca w stosowanych obecnie rozwiązaniach urządzeń pomiarowych, polegająca na braku możliwości wyodrębnienia z sygnału pomiarowego informacji o udziale w zużyciu linii poszczególnych rodzajów (form) uszkodzeń. Wpływ tych uszkodzeń, a właściwie zmienna ich waga, mogą mieć wpływ na rzeczywiste osłabienie linii, a tym samym na bezpieczeństwo jej pracy.

Dlatego też poszerzono magnetyczną metodę diagnozowania stanu technicznego linii stalowych przez opracowanie nowych algorytmów przetwarzania związanych z zastosowaniem analizy falkowej [2,3]. Zaimplementowanie tych algorytmów na procesorach sygnałowych umożliwi w czasie rzeczywistym rozwiązywanie problemów o dużej złożoności obliczeniowej. Badania prowadzone z wykorzystaniem analizy falkowej wykazały, że zastosowanie tej krótko-czasowej metody, dzięki nie obcinaniu pasma sygnału (dotychczas sygnał użyteczny w niektórych przypadkach był porównywalny z tzw. sygnałem szumów) umożliwiło pełną identyfikację uszkodzeń, które dotychczas nie były wykrywane przy użyciu czujnika indukcyjnego. Oddzielenie składowej sygnału pochodzącego od danego typu uszkodzenia od składowej związanej z konstrukcją linii ułatwiło proces diagnozowania obiektu.

W odróżnieniu do wyżej opisanej metody rozpoznawania wzorców tutaj uzyskany wektor jednowymiarowy poddaje się detekcji jakościowej, usuwając przy tym wszelkie zakłócenia z sygnału (np. szum) (rys. 12). Można to wykonać np. poprzez zastosowanie analizy falkowej. W efekcie uzyskujemy wydzieloną informację o poszczególnych rodzajach uszkodzeń. W kolejnym bloku określa się ilościowo zużycie wyszczególnionych rodzajów uszkodzeń. Dotychczas szeroko stosowana defektoskopia magnetyczna, opierając się o powyższą metodę rozpoznawania wzorca, łączy algorytm detekcji jakościowej i ilościowej w jeden blok detekcji. Z sygnału pomiarowego będącego obrazem stanu obiektu nie jesteśmy w stanie wyodrębnić, korzystając z tradycyjnej defektoskopii magnetycznej, poszczególnych form zużycia, co niejednokrotnie prowadzi do niejednoznacznej interpretacji pozyskiwanych defektogramów i podejmowania błędnych decyzji. Dopiero zastosowanie analizy falkowej umożliwi rozwiązanie tego problemu.



Rys.12. Metoda rozpoznawania wzorca do wykrywania uszkodzeń lin stalowych.

Podstawy analizy falkowej opierają się o poniższe informacje. Klasyczny skalogram można zdefiniować jako [4,9,10,11]:

$$S_x^{SCAL} = |CWT_x(b,a)|^2 \quad (1)$$

gdzie CWT jest ciągłą transformatą falkową dla skali a i przesunięcia b zdefiniowaną jako:

$$CWT_x(b,a) = a^{-1/2} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \Psi^*((t-b)/a) dt \quad (2)$$

Zależność ta reprezentuje filtrację sygnału analizowanego $x(t)$ przez sygnał analizujący (falę) $\Psi(t)$ przeskalowany w dziedzinie czasu współczynnikiem a .

Przy numerycznym wyznaczaniu wartości funkcjonu (2) dla całkowitych współczynników skalujących, będących kolejnymi wielokrotnościami liczby 2 stosuje się decymowaną (diadyczną) lub niedecymowaną wersję transformaty falkowej.

Dla algorytmu decymowanego przyjmuje się wartości $a=2^j$ oraz $b=k2^j$.

Wówczas równanie definicyjne transformaty ciągłej (2) przyjmie postać dyskretną:

$$DWT_s(j,k) = \sum_{n \in Z} s(n) \Psi_j^*(n-2^j k) \quad (3)$$

gdzie $\Psi_j^*(n-2^j k)$ jest dyskretnym odpowiednikiem ciągłej funkcji analizującej

* oznacza splot dyskretny

$$\Psi_{a,b}(t) = a^{-1/2}\Psi((t-b)/a) \equiv \Psi_{j,k}(n) = 2^{-j/2}\Psi(2^j n-k) \quad (4)$$

Zależność $\Psi_{j,k}(n) = 2^{-j/2}\Psi(2^j n-k)$ definiuje rodzinę funkcji analizujących dla przypadku diadycznego. Transformata odwrotna konieczna do syntezy sygnału dana jest wzorem:

$$s(n) = \sum_{j \in \mathbb{N}} \sum_{k \in \mathbb{Z}} DWT_s(j,k) \Psi_{j,k}(n) \quad (5)$$

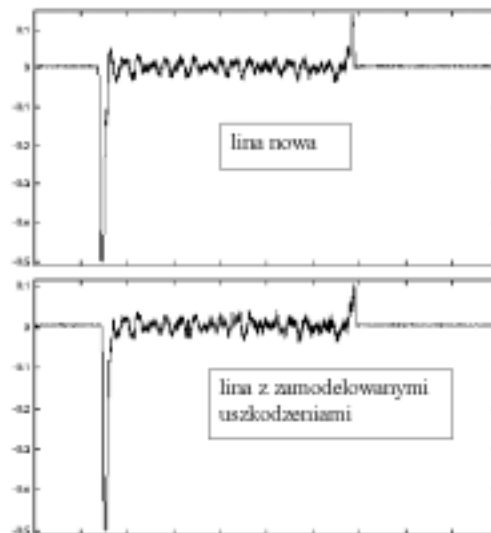
W artykule przedstawiono wybrane wyniki z badania zamodelowanych form zużycia lin przeciwzwitych i jednozwitych przy użyciu transformaty dyskretnej.

Na linie jednozwitej o średnicy 40 mm zamodelowano starcia od których uzyskany sygnał był porównywalny z szumem liny. W tradycyjnej metodzie magnetycznej takie uszkodzenie jest praktycznie niewykrywalne. Na wybranym odcinku liny wykonano również starcia. Wizualizacja sygnału z zamodelowanych lin i prowadzone obliczenia stopnia zużycia metodą tradycyjną nie dawały zadawalających rezultatów. Rysunek 13 przedstawia przykładowy sygnał uzyskany z liny nowej i liny z zamodelowanymi starciami. Nie jeden doświadczony diagnostyk miałby tutaj trudności w zinterpretowaniu zmian zużyciowych liny.

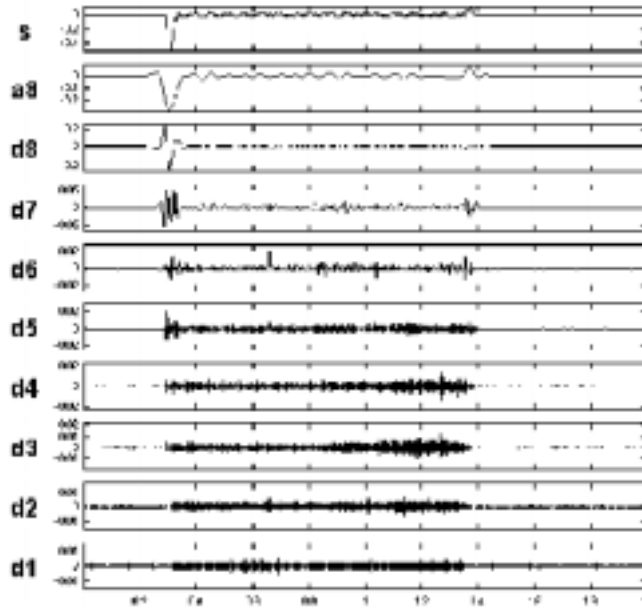
Przedstawiony problem rozwiązywany był przy pomocy oprogramowania MATLAB [5]. Zastosowanie analizy falkowej pozwoliło na dekompozycję sygnału. Do analizy sygnału z lin jednozwitych wykorzystano specjalnie utworzoną falkę typu "mads" [1,6] i osiem poziomów skali ($j=8$). Rysunek 14 obrazuje poszczególne detale (poziomy dekompozycji) analizowanego sygnału. Na poziomie 6 dekompozycji widać obraz na którym wyraźnie zauważalny jest sygnał pochodzący od zamodelowanego uszkodzenia typu skokowego. Poziom 3-ci odpowiada za zużycie ściernie.

Powiększenie wybranych detali przedstawione na rysunku 15 wyraźnie uwidacznia wpływ poszczególnych rodzajów uszkodzeń na kształt sygnału.

Obserwacja poziomu d6 umożliwia dokładne określenie miejsc występowania złomów drutów (pęknięć), natomiast na poziomie d3 widać występowanie starć.

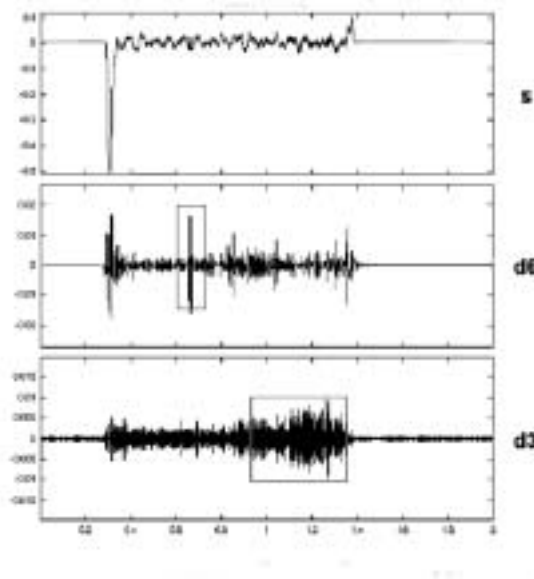


Rys.13. Porównanie sygnałów z liny nowej i z uszkodzeniami.



Rys.14.. Dekompozycja sygnału.

Badając wpływ stopnia zużycia ściernego na kształt widma mocy w rozkładach FFT [7,8] wybranych dekompozycji sygnału można określać ilościowo jego wartość.

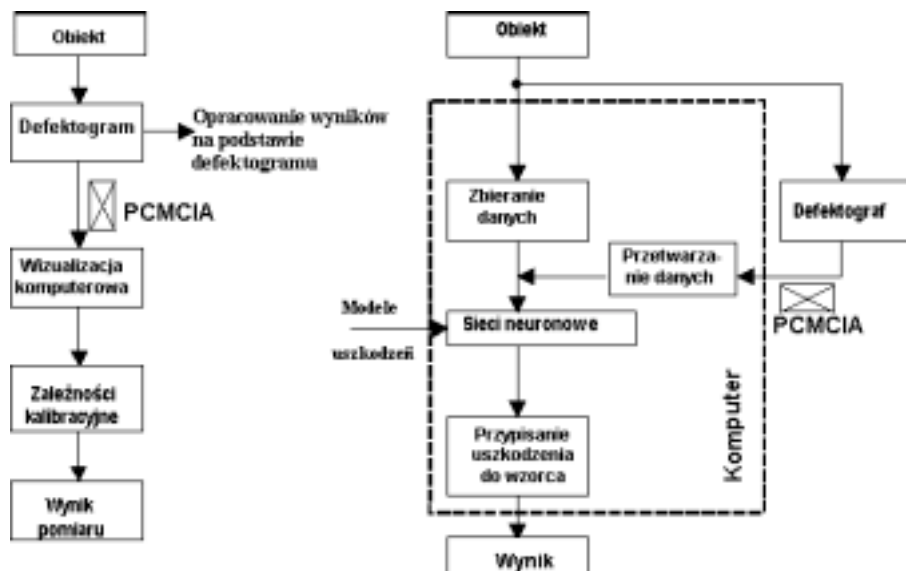


Rys.15. Wybrane detale dekompozycji sygnału.

Analizując powyższe rysunki można stwierdzić, iż pojawienie się starć powoduje gwałtowny wzrost amplitudy częstotliwości odpowiadającej za tę formę zużycia. Wybranie odpowiedniego detalu odpowiedzialnego za daną formę uszkodzenia ułatwia obserwację zachodzących zmian w badanej linii stalowej.

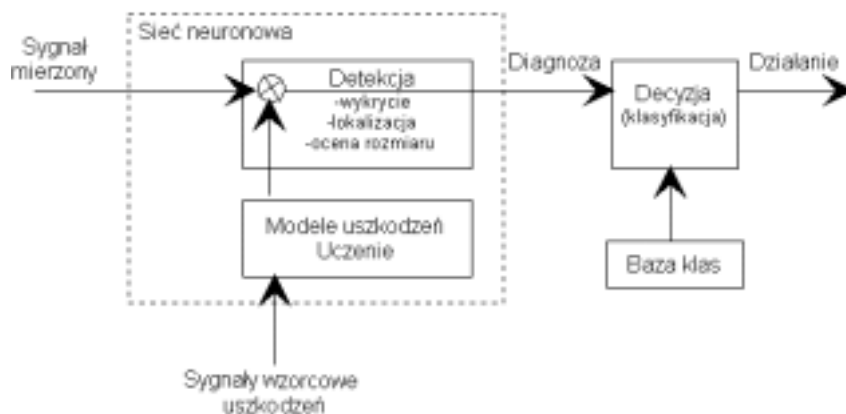
3.3. Zastosowanie sztucznej inteligencji w rozpoznawaniu uszkodzeń.

Kolejnym efektem postępu w defektoskopii magnetycznej elementów ferromagnetycznych jest zastosowanie algorytmów z zakresu sztucznej inteligencji [4]. Celem związanym z tą problematyką było określenie obszaru zastosowań inteligentnych systemów diagnostycznych w defektoskopii magnetycznej elementów ferromagnetycznych i zbudowanie sieci neuronowej, na podstawie której istnieje możliwość wyznaczania stanu obiektu. Schemat blokowy tradycyjnej metody diagnozowania lin stalowych (rys.17) zawiera w sobie blok związany z rejestracją sygnału na taśmie papierowej lub na karcie pamięci (PCMCIA). Karta ta umożliwia przeniesienie zapisanych danych do komputera. Specjalnie wykonany program (Browser120) umożliwia wizualizację zapisanych sygnałów, jak również wybór interesujących fragmentów. Zastosowanie wcześniej wykonanych dla danego zestawu pomiarowego zależności kalibracyjnych umożliwia dokonanie obliczenia stopnia zużycia. Zastosowanie sieci neuronowej daje możliwości przyspieszenia procesu diagnozowania obiektu.



Rys.16 Porównanie metody klasycznej i wykorzystującej sztuczną inteligencję.

Wykorzystując sztuczną inteligencję posłużono się również metodą rozpoznawania wzorca która polega ona na określeniu odwzorowania przestrzeni pomiarowej w przestrzeń decyzyjną i składa się z etapu pomiarowego, detekcji i etapu podejmowania decyzji. W etapie detekcji sygnały od uszkodzeń wzorcowych należy wprowadzić w strukturę sieci neuronowych. Poprzez porównanie sygnału pomiarowego z wzorcowym następuje detekcja diagnozy, zlokalizowanie uszkodzenia i ocena jego rozmiaru. Ostatnim elementem jest przyporządkowanie klasy danemu uszkodzeniu i wygenerowanie działania co pokazano na rysunku 17.

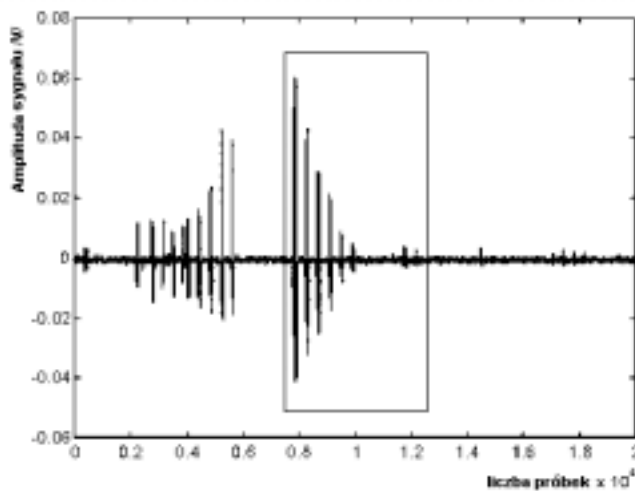


Rys.17. Zastosowanie metody rozpoznawania wzorca do wykrywania uszkodzeń (z wykorzystaniem sieci neuronowej).

Przeprowadzone wstępne badania dowodzą, iż można stworzyć taki system diagnostyczny (w oparciu o sieć neuronową) za pomocą którego - po wstępnym dostrojeniu sieci (polegającym na uczeniu poprzez wprowadzenie do układu określonej liczby wzorców uszkodzeń) - można osiągnąć wiarygodne informacje o stanie obiektu technicznego. Zamodelowanie wzorców reprezentujących wszystkie typy uszkodzeń jakie mogą wystąpić w linii wiąże się z zebraniem dużej ilości danych (sygnałów od zamodelowanych uszkodzeń) – im jest ich więcej, tym diagnoza wykonana z zastosowaniem sieci neuronowej będzie bardziej wiarygodna.

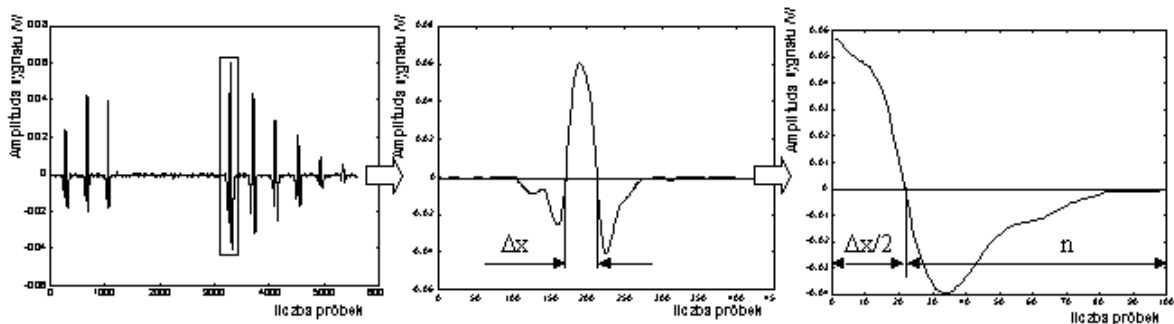
Aby zapewnić prawidłowe działanie systemu diagnostycznego dane te muszą być reprezentatywne dla wszystkich możliwych uszkodzeń tzn. powinny pochodzić z możliwie jak najszerszego zakresu zmienności wielkości wejściowych (różnych uszkodzeń). W pierwszym etapie pracy nad wprowadzeniem sieci neuronowej do systemu diagnostycznego lin stalowych posłużono się modelami uszkodzeń typu skokowego.

Rejestracja sygnałów wzorcowych była realizowana za pomocą przystawki wavebook sprzężonej z komputerem. Na rysunku 18 przedstawiono zapis sygnału uzyskanego z przykładowych grup wzorcowych uszkodzeń. Sygnał zebrano przy częstotliwości 1[kHz], co odpowiada liczbie 2000 próbek.



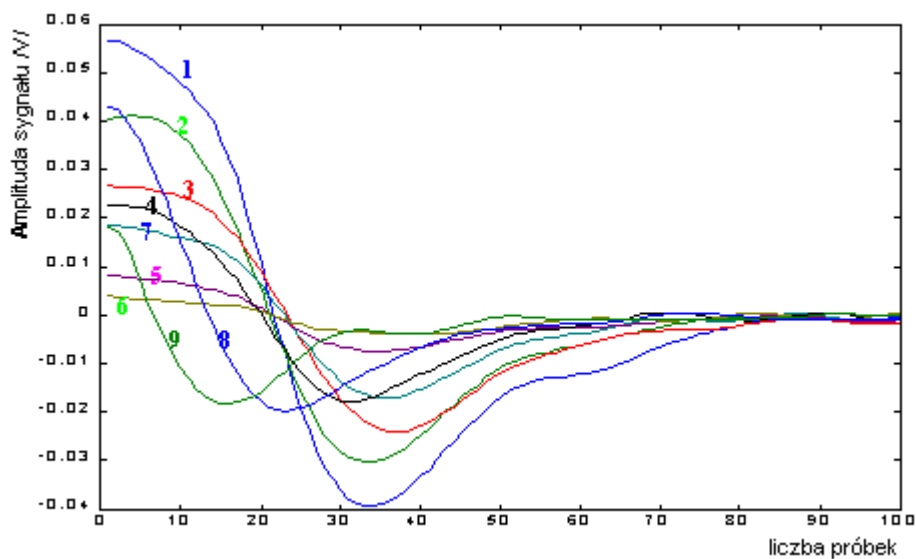
Rys.18.. Przefiltrowany sygnał diagnostyczny wzorcowych uszkodzeń

Z racji symetrycznego sygnału pochodzącego od uszkodzeń typu skokowego do analizy przyjęto jedynie połowy impulsu. Dodatkowo ma to za zadanie ułatwić sieci sam proces uczenia i skrócić czas potrzebny na dostrojenie układu. Cała standaryzacja może przebiegać automatycznie (rys. 19). Do podziału pojedynczych impulsów posłużono się prostym algorytmem standaryzującym [4].



Rys.19. Standaryzacja sygnałów diagnostycznych

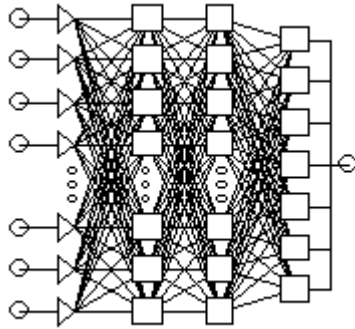
W wyniku tak przyjętej standaryzacji otrzymano próbki wzorcowe o przebiegach jak na rysunku 20.



Rys.20 Przebiegi poszczególnych wzorców po standaryzacji.(1-9 sygnały wzorcowe od zamodelowanych uszkodzeń)

W rozważanym problemie zastosowano sieć neuronową składającą się z warstwy wejściowej, dwóch warstw ukrytych i warstwy wyjściowej.(rys. 21) Liczba neuronów w warstwie wejściowej odpowiadała liczbie wprowadzonych jednocześnie sygnałów wejściowych (liczbie próbek w jednym wzorcu).

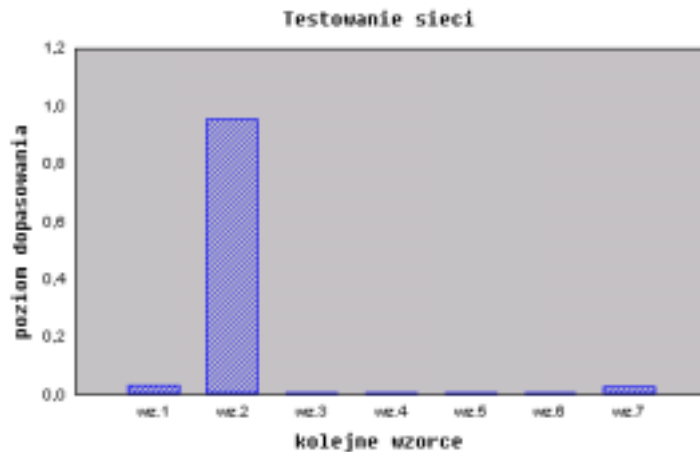
Wybór optymalnej liczby warstw ukrytych oraz liczby neuronów w poszczególnych warstwach polega na testowaniu zachowania sieci dla różnych parametrów (liczby warstw ukrytych i neuronów) pod względem szybkości uczenia sieci oraz wartości błędu.



Rys.21. Przykładowa struktura sieci neuronowej.

Funkcja trainbpa [4] (metoda wstecznej propagacji) okazała się najlepszą funkcją uczącą rozwiązującą postawiony problem. O jej wyborze zdecydowała nie tylko szybkość uczenia, ale również poprawne dopasowanie rzeczywistego uszkodzenia do zamodelowanego wzorca.

Po zweryfikowaniu gotowości sieci neuronowej do pracy, można było przystąpić do procesu rozpoznawania uszkodzeń (rys.22) (na podstawie nowych sygnałów wejściowych, nie skorelowanych z wzorcami uczącymi).

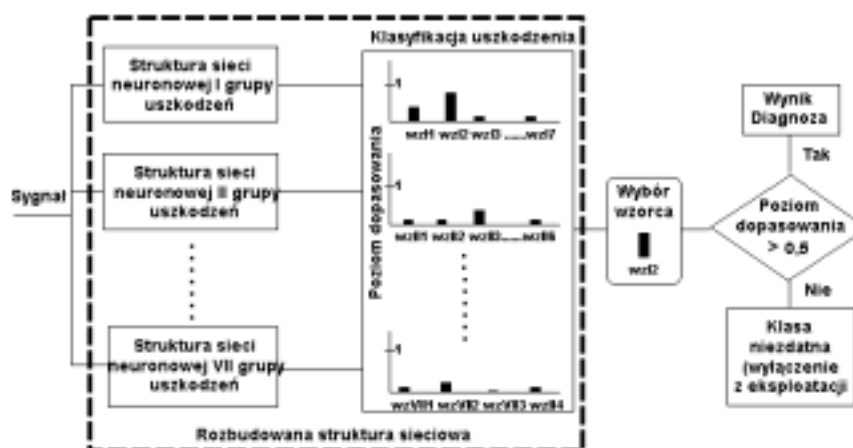


Rys.22. Wynik klasyfikacji uszkodzenia

Obliczane przez program Neural Network [4] statystyki odnoszące się do całego ciągu danych obejmowały średni błąd sieci, macierz wyników klasyfikacji zawierającą informacje o zaklasyfikowanych poprawnie i błędnie przypadkach w rozbiciu na poszczególne klasy. Statystyki te były wyznaczane niezależnie dla ciągu uczącego, walidacyjnego i testowego. Współczynniki wagowe i wartości wyjściowe sieci mogą być przedstawione w postaci wykresów słupkowych (rys. 22). Jeśli jakiś nieznaną sygnał jest podobny do sygnałów wprowadzonych jako macierz ucząca, wówczas dla tych sygnałów macierzy powinna się pojawić na wyjściu wartość zbliżona do 1, ewentualnie w razie braku podobieństwa wartość zbliżona do 0.

Prezentowane wyniki dotyczyły jednej wybranej grupy uszkodzeń typu skokowego. Przy uwzględnieniu innych typów uszkodzeń struktura sieci neuronowej powinna być bardziej rozbudowana, co ilustruje rysunek 23. Każda grupa uszkodzeń ma zbudowaną swoją strukturę sieciową, której wartości wyjściowe prezentowane w formie np. wykresów słupkowych,

analizowane są w bloku klasyfikacyjnym. Największy poziom dopasowania uszkodzenia do wzorca w danej grupie zamodelowanych uszkodzeń jest poszukiwanym wynikiem diagnozy.



Rys.23. Schemat rozbudowanej struktury sieci neuronowej.

W przypadkach ekstremalnych, ale możliwych do wystąpienia, przy wygenerowaniu sygnałów, które nie odpowiadają żadnym z zamodelowanych uszkodzeń (poziom dopasowania mniejszy od 0,5), następuje natychmiastowe przyporządkowanie uszkodzenia do grupy niezdanej. Jednak w chwili obecnej istnieją zasadnicze problemy związane z wykonaniem modeli uszkodzeń typu ciągłego co będzie przedmiotem dalszych prac..

Literatura.

- [1]. Daubechies I.: *Ten Lectures on Wavelets*. Philadelphia, SIAM, 1993.
- [2] Kwaśniewski J.: *Zastosowanie procesorów sygnałowych w zaawansowanych układach przetwarzania stosowanych w defektoskopii magnetycznej*. Zagadnienia Eksploatacji Maszyn. ITP. PAN Nr 4/2000.
- [3] Kwaśniewski J.: *Możliwości zastosowania analizy falkowej do wykrywania pęknięć, starć i korozji w linach stalowych*. 29 Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących. Zeszyty Problemowe: Badania nieniszczące. Nr 5 str.93-98. W-wa 11.2000.
- [4] Kwaśniewski J.: *Zastosowanie wybranych metod analizy sygnału niestacjonarnego w diagnozowaniu lin i rur stalowych*. Studia Monografie Rozprawy, PAN, IGSMiE, Nr 86, Kraków 2001.
- [5]. Matlab: *Wavelet Toolbox*, The Math Works Inc., Natic.,Mass., 1997
- [6] Meyer Y.: *Wavelets Algorithms & Applications*. Philadelphia, SIAM, 1993.
- [7] Otnes R.K., Enochson L.: *Analiza numeryczna szeregów czasowych*. Warszawa, WNT, 1978
- [8] Ozimek E.: *Podstawy teoretyczne analizy widmowej sygnałów*. Warszawa-Poznań, PWN, 1985
- [9] Rioul O., Duhamel P.: *Fast Algorithms for Discrete and Continuous Wavelet Transforms*. IEEE Trans. on Information Theory. Vol.38, No.7, 1992.
- [10] Rioul O., Vetterli M.: *Wavelets and Signal Processing*. IEEE Signal Processing Magazine, (s.14- 38) 1991.
- [11] Zieliński T.P.: *Reprezentacje sygnałów niestacjonarnych typu czas-częstotliwość i czas-skala*. Kraków, Wydawnictwa AGH, 1994.

Dr inż. Jerzy Kwaśniewski Akademia Górniczo Hutnicza AGH,
Katedra Transportu Linowego, 30-059 Kraków, Polska, Tel. (012) 6172313,
e-mail: kwasniew@imir.agh.edu.pl.