

## Analiza uszkodzeń lokomotyw spalinowych dla wyboru obiektu badań diagnostycznych

*W artykule przedstawiono ilościową analizę uszkodzeń lokomotyw spalinowych, sporządzoną dla potrzeb wyboru obiektu badań diagnostycznych. Przeprowadzona analiza wykazała potrzebę diagnozowania sprzężarki powietrza jako istotnego elementu pojazdu szynowego.*

### 1. WSTĘP

Coraz większa złożoność środków technicznych, jest powodem stosowania diagnostyki przez cały czas życia urządzenia mechanicznego, czyli przez trzy fazy jego istnienia: projektowania (łącznie z badaniami prototypu), wytwarzania i eksploatacji.

Fakt ten uwidacznia nam, jak ważną dziedziną w życiu maszyny jest diagnostyka. Jest ona nieocenionym źródłem informacji o stanie maszyny, pozwala szybko i precyzyjnie określić stany poszczególnych zespołów bez nakładu pracy na demontaż.

Współczesne pojazdy szynowe są złożonymi obiektami technicznymi, których eksploatacja jest związana z dużą ilością działających urządzeń o różnym poziomie niezawodności. Duża różnorodność elementów, zarówno ich budowy, funkcji jak i przeznaczenia, powoduje trudności w szybkim określeniu stanu lub rodzaju uszkodzenia pojazdu. Dlatego celowym jest zastosowanie diagnostyki technicznej do bieżącej oceny stanu technicznego pojazdów szynowych [3].

Diagnostyka pojazdów szynowych ma stosunkowo krótką historię. Jej dynamiczny rozwój zaczął się dopiero w połowie lat siedemdziesiątych. Powodami dla których diagnostyka pojazdów szynowych zaczęła się rozwijać tak dynamicznie są zmniejszająca się (aż do zupełnego zaniku) liczba parowozów, które są zastępowane coraz bardziej złożonymi pojazdami spalinowymi i elektrycznymi, oraz dynamiczny rozwój technik komputerowych, których znaczący rozwój datujemy na lata osiemdziesiąte, sterujących przeprowadzonymi badaniami i pomiarami, a tak że oceniającymi ich wyniki. Komputery pozwalają nam również na szybkie zapisanie, odczytanie i porównanie wyników kolejnych obserwacji diagnostycznych.

### 2. STAN DIAGNOSTYKI POJAZDÓW SZYNOWYCH

Publikacje są podstawowym źródłem informacji, dotyczących stanu diagnostyki pojazdów szynowych w Polsce i na świecie, którymi zajmowano się dotychczas. Przeprowadzona analiza obejmuje 31 tytułów czasopism krajowych i zagranicznych dotyczących pojazdów szynowych oraz materiały konferencyjne i materiały reklamowe.

Ponieważ, w strukturze każdego pojazdu szynowego można wyodrębnić różnorodne zespoły, podzespoły,

urządzenia i elementy, dlatego analizę stanu diagnostyki pojazdów szynowych przeprowadzono w odniesieniu do wyróżnionych zespołów i układów pojazdu szynowego oraz urządzeń z nimi współpracujących. Zaznaczyć jednocześnie należy, że diagnostyce podlegają głównie zespoły, podzespoły i urządzenia pojazdu – rzadko elementy. Z analizy literatury wyodrębniono następujące grupy tematyczne:

- stacje diagnostyczne,
- infrastruktura,
- silniki spalinowe,
- przetwornice,
- łożyska,
- zestaw kołowy,
- hamulce,
- diagnostyka pokładowa,
- silniki trakcyjne,
- urządzenia pociągowo-zderzne,
- obwody elektryczne,
- sterowanie.

Wyniki analizy literaturowej stosowania diagnostyki w pojazdach szynowych przedstawiono na rysunku 1. Na podstawie otrzymanych wyników można zauważyć, że największe zainteresowanie diagnostyczne skierowane jest na obwody elektryczne, następnie zestawy kołowe oraz związane z nimi ułożyskowania. W następnej kolejności publikacje dotyczą stacji diagnostycznych, diagnozowania infrastruktury kolejowej (podtorza, układów sterowania i zabezpieczenia ruchu kolejowego) oraz silnika spalinowego.

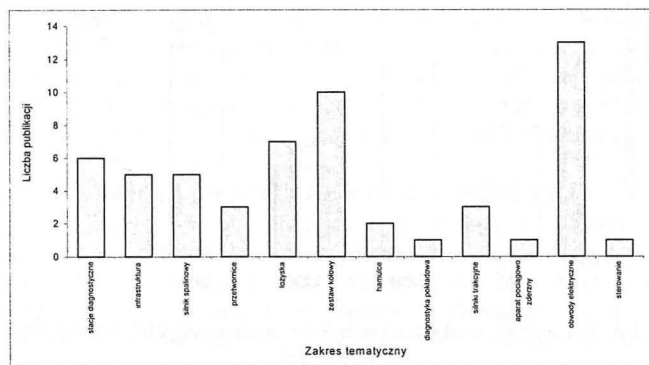
### 3. ANALIZA USZKODZEŃ LOKOMOTYW SPALINOWYCH

W celu stworzenia bazy informacji na temat rzeczywistych uszkodzeń lokomotyw spalinowych skorzystano z Książki napraw bieżących pojazdu. Zawarte w niej informacje opatrzone mogą być pewnymi błędami, które mogą wynikać z następujących przyczyn:

- niesumienne wypełnianie kart przez maszynistów,
- zbyt ogólnikowe opisy uszkodzeń,
- zła ocena uszkodzenia i niewłaściwy postępowanie przy naprawie (brak diagnostyki).

Błędy te uzależnione są głównie od czynnika ludzkiego, do których zaliczyć można: doświadczenia ludzi pracujących

przy eksploatacji i obsłudze pojazdów, ich podejścia do wykonywanej przez siebie pracy, a także ich psychicznych uwarunkowań.



Rys. 1. Ilościowe zestawienie tematyczne publikacji.

Badaniom poddano następujące serie lokomotyw spalinowych: SU46, SP45 i SM42 eksploatowane w Zakładzie Taboru w Poznaniu.

Zestawienie ilościowe poszczególnych serii lokomotyw, ilości lokomotyw, które poddano badaniom oraz procentową zależność pomiędzy nimi, przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1.

**Ilościowe przedstawienie lokomotyw istniejących i przebadanych**

Seria lokomotywy	Stan ilościowy	Ilość przebadana	Udział przebadanych do stanu posiadania [%]
SP46	4	4	100,00
SU45	8	5	62,50
SM42	32	22	68,75

Analizę niezawodnościową przeprowadzono na poziomie następujących głównych zespołów lokomotyw spalinowych:

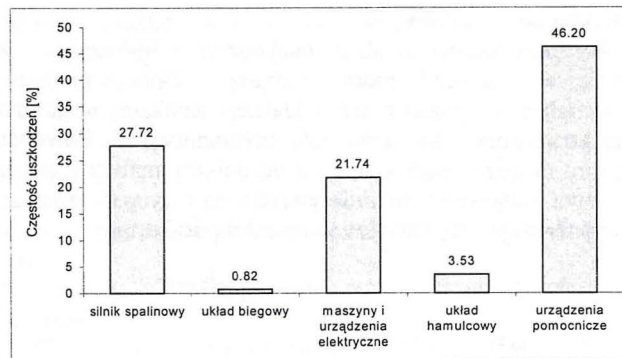
- silnik spalinowy (SS),
- układ biegowy (UB),
- maszyny i urządzenia elektryczne (UE),
- układ hamulcowy (UH),
- urządzenia pomocnicze (UP).

Dla poszczególnych serii lokomotyw sporządzono zestawienia, które pokazują nam częstość uszkodzeń poszczególnych zespołów lokomotywy. Poniżej zaprezentowano omawiane zestawienia.

**3.1. Lokomotywa serii SM42**

Lokomotywa SM42 jest lokomotywą manewrową, posiada swój charakterystyczny rodzaj pracy. Analiza książek napraw wykazała, że praca tych lokomotyw charakteryzuje się dużymi okresami przerw w pracy.

Na rysunku 2 przedstawiono częstość uszkodzeń poszczególnych zespołów lokomotywy serii SM42.

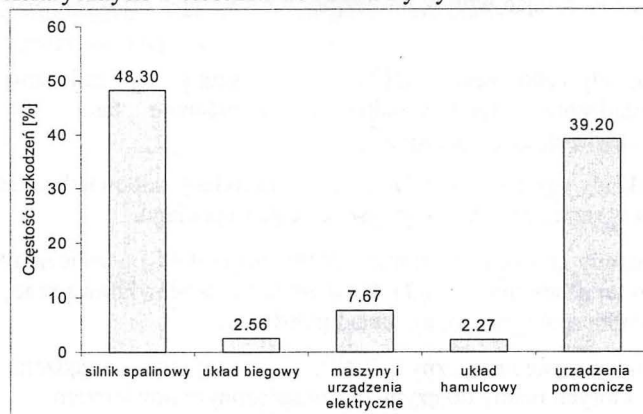


Rys. 2. Częstość uszkodzeń poszczególnych zespołów lokomotywy SM42.

Największa liczba uszkodzeń wystąpiła w urządzeniach pomocniczych lokomotywy 46,20%, następnie w silniku spalinowym 27,72%, oraz maszynach i urządzeniach pomocniczych. Najmniejsza liczba uszkodzeń wystąpiła w układzie hamulcowym 3,53% i układzie biegowym 0,82%.

**3.2. Lokomotywa SP45**

Lokomotywa SP45 jest lokomotywą przeznaczoną do prowadzenia pociągów pasażerskich. Analiza książek napraw bieżących wykazała, że lokomotywa ta jest w ciągłej eksploatacji. Przedstawiona na rysunku 3 analiza uszkodzeń poszczególnych zespołów lokomotyw serii SP45 wykazała, że największą częstością uszkodzeń posiada silnik spalinowy – 48% oraz urządzenia pomocnicze – 39%. Stwierdzono mniejszą częstość uszkodzeń maszyn i urządzeń elektrycznych w stosunku do lokomotywy SM42.



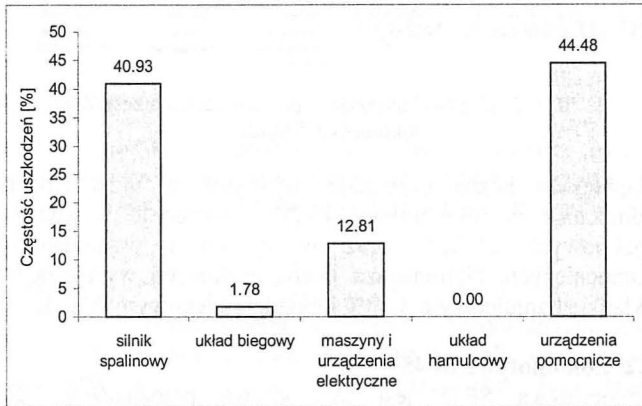
Rys. 3. Częstość uszkodzeń poszczególnych zespołów lokomotywy SP45.

**3.3. Lokomotywa SU46**

Lokomotywa SU46 jest lokomotywą przeznaczoną do prowadzenia pociągów towarowych i pasażerskich. Podobnie jak lokomotywa SP45 jest w ciągłym wykorzystaniu przez PKP. Wyniki analizy uszkodzeń wykazały, podobnie jak w przypadku lokomotywy SM42, że największą częstość uszkodzeń posiadają urządzenia pomocnicze – 44,48% oraz silnik spalinowy – 40,93% (rys. 4). Najmniejszą częstość uszkodzeń wykazuje układ biegowy (1,78%) oraz układ hamulcowy.

### 3.4. Analiza wyników

Przeprowadzona analiza uszkodzeń wykazała, że najczęściej uszkodzeniom ulegają: silnik spalinowy i urządzenia pomocnicze. Dalszą analizę uszkodzeń przeprowadzono dla urządzeń pomocniczych. Powodem wyboru urządzeń pomocniczych do dalszej analizy jest fakt, że w badanych lokomotywach ta grupa urządzeń charakteryzuje się największą częstością uszkodzeń.



Rys. 4. Częstość uszkodzeń poszczególnych zespołów lokomotyw SU46.

Analizę niezawodnościową urządzeń pomocniczych przeprowadzono w odniesieniu do następujących układów:

-układy bezpieczeństwa (UBZ) – do grupy tej zaliczono układy mające wpływ na bezpieczeństwo np.: czuwaki, SHP itp.,

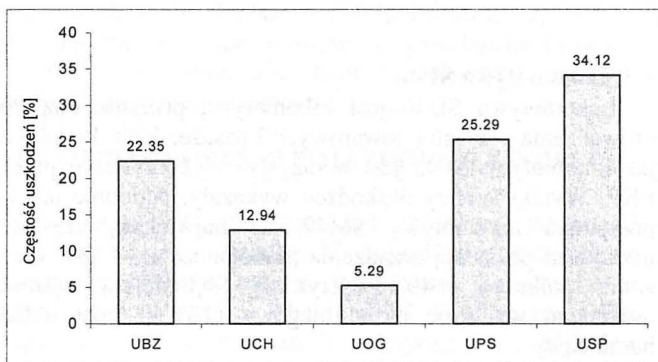
-układy chłodzenia (UCH) – do grupy tej zaliczamy urządzenia odpowiedzialne za chłodzenie takie jak: wentylatory, żaluzje, itp.,

-układy ogrzewania (UOG) – zawiera układy odpowiedzialne za ogrzewanie lokomotywy, jak i całego pociągu,

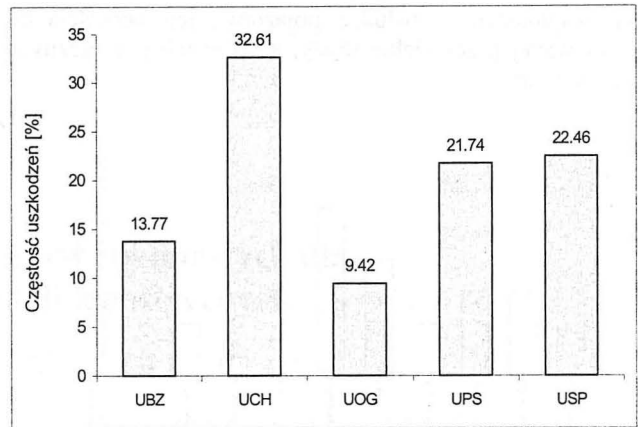
-układy pomocnicze silnika spalinowego (UPS) – zaliczamy do tej grupy urządzenia odpowiedzialne za prawidłową pracę silnika spalinowego, np. układ paliwowy,

-układ pneumatyczny (USP) – obejmuje urządzenia w których mamy do czynienia ze sprężonym powietrzem.

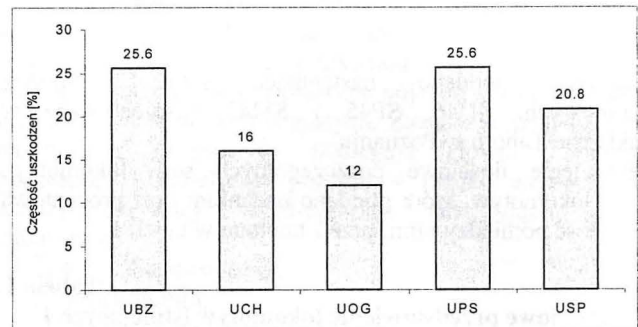
Na rysunkach 5 do 7 przedstawiono częstości uszkodzeń układów pomocniczych badanych lokomotyw.



Rys. 5. Częstość uszkodzeń urządzeń pomocniczych lokomotywy serii SM42.



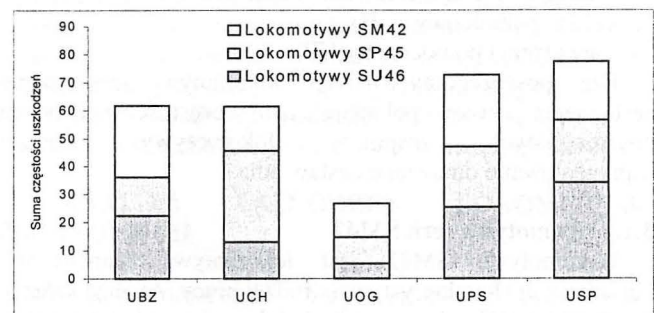
Rys. 6. Częstość uszkodzeń urządzeń pomocniczych lokomotywy serii SP45.



Rys. 7. Częstość uszkodzeń urządzeń pomocniczych lokomotywy serii SU46.

Analiza uszkodzeń urządzeń pomocniczych wykazała, że w lokomotywach serii SM42 najczęściej uszkodzeń wystąpiło w układzie pneumatycznym, w lokomotywach serii SP45 w układzie chłodzenia, natomiast w lokomotywach serii SU46 w układach bezpieczeństwa oraz w układach pomocniczych silnika spalinowego.

Na rysunku 8 przedstawiono zbiorcze zestawienie częstości uszkodzeń urządzeń pomocniczych badanych serii lokomotyw spalinowych.



Rys. 8. Sumaryczne zestawienie częstości uszkodzeń układów lokomotyw spalinowych.

Sumaryczne zestawienie częstości uszkodzeń urządzeń pomocniczych pokazuje, że największa liczba uszkodzeń występuje w układach sprężonego powietrza, następnie w układach pomocniczych silnika spalinowego. Uszkodzenia układów bezpieczeństwa i układów chłodzenia kształtują się na nieco niższym poziomie, a najmniejsza liczba uszkodzeń występuje dla urządzeń grzewczych.

W świetle powyższych wyników można stwierdzić, że opracowanie metody diagnostycznej dla układu sprężonego powietrza wydaje się być zasadne. Z pośród elementów wchodzących w skład układów sprężonego powietrza zdecydowano się wybrać sprężarkę powietrza. Sprężarki są istotnym elementem układu pneumatycznego i hamulca a ich uszkodzenie może być przyczyną nieprawidłowej pracy układu hamulcowego istotnego dla bezpieczeństwa pracy lokomotyw, bezpieczeństwa przewożonych osób i ładunku.

#### 4. SPRĘŻARKA JAKO OBIEKT DIAGNOSTYKI

Dla oceny stanu technicznego sprężarki powietrza (wybranego obiektu badań) najodpowiedniejszą wydaje się być metoda wibroakustyczna. Przemawia za tym specyficzny charakter pracy sprężarki związany z procesem ssania i sprężania, siłami bezwładności układu korbowego oraz uderzeniami zaworów.

Przyjęcie procesu wibroakustycznego jako źródła informacji o stanie technicznym, wynika z następujących przyczyn [1,2]:

- zjawiska wibroakustyczne stanowią odzwierciedlenie najistotniejszych procesów fizycznych zachodzących w maszynie (np.: odkształcenia, naprężenia, współdziałanie części), od których zależy jej zdolność do poprawnego funkcjonowania. Parametry sygnału wibroakustycznego charakteryzują zarówno ogólne właściwości maszyny, jak i jej poszczególnych elementów;

- sygnał wibroakustyczny jako nośnik informacji wyróżnia się dużą pojemnością informacyjną, dużą prędkością przekazywania informacji o stanie technicznym obiektu.

- sposób rejestrowania sygnału wibroakustycznego umożliwia wykonanie pomiarów w naturalnych warunkach.

Sprężarki tłokowe w odróżnieniu od sprężarek typu przepływowego (wirowe, osiowe) oznaczają się innym ruchem organu roboczego. Pod pojęciem sprężarki tłokowe rozumie się takie sprężarki, która łączy ze sobą ruch posuwisto-zwrotny tłoka jako organu roboczego oraz posiadanie mechanizmu korbowego i zaworów jako elementów sterujących przepływem czynnika [1].

W wyniku przeprowadzonej analizy literatury oraz własnych obserwacji i analizy uszkodzeń stwierdzono, że najczęstszymi uszkodzeniami sprężarki są:

- uszkodzenie zaworów – pęknięcie płytki lub sprężyny,
- zużycie pierścieni tłokowych i gładzi cylindrycznej – luz,
- zużycie łożysk korbowodowych – luz,
- zużycie łożysk głównych wału – luz,
- nieosiowość wału,
- uszkodzenia tłoka,
- odkształcenia korpusu.

Wszystkie te uszkodzenia związane są z głównymi elementami sprężarki których uszkodzenia generują zjawiska wibroakustyczne w postaci uderzeń. Uderzenia te występują w ściśle określonym odcinku drogi kątowej wału korbowego, który wynika z dynamicznego charakteru pracy sprężarki.

W oparciu o dane zawarte w Książkach Napraw Bieżących pojazdów przeprowadzono analizę uszkodzeń na poziomie głównych zespołów lokomotyw spalinowych oraz urządzeń pomocniczych. Analiza częstości uszkodzeń wykazała, że najbardziej zawodnym zespołem lokomotyw spalinowych są urządzenia pomocnicze, a wśród urządzeń pomocniczych układ pneumatyczny. Na podstawie przeprowadzonej analizy, jako obiekt badań diagnostycznych wybrano sprężarkę powietrza. Dodatkowo o wyborze sprężarki powietrza zdecydowały względy bezpieczeństwa.

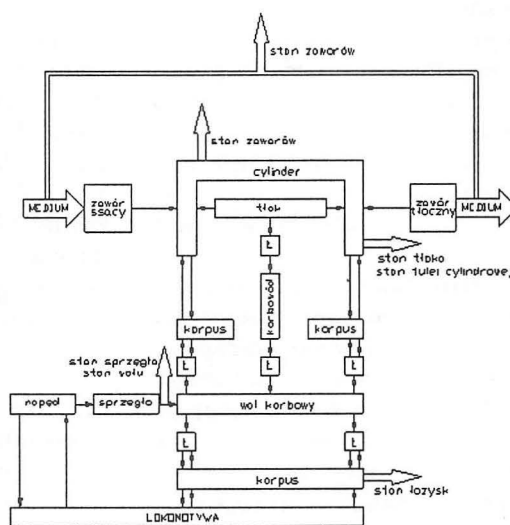
Aby określić możliwości obserwacji symptomów wibroakustycznych uszkodzeń należy przeanalizować budowę sprężarki, zjawisk w niej zachodzących oraz występujących uszkodzeń. Na podstawie analizy powyższych zagadnień stwierdzono, że należy diagnozować następujące stany sprężarki:

- stan zaworów – możemy określić na podstawie pomiaru pulsacji czynnika roboczego, oraz pomiaru drgań na głowicy cylindra,
- luz tłoka – określamy przez pomiar drgań na ścianie cylindra,
- niewyrównoważenie i nieosiowość wału - możemy ocenić przez pomiar drgań na drodze sprzęgło wał korbowy,
- stan łożysk – możemy określić przez pomiar drgań korpusu sprężarki.

Na rysunku 9 przedstawiono możliwe miejsca obserwacji sygnałów wibroakustycznych sprężarki powietrza. Miejsca pomiaru sygnałów diagnostycznych zaznaczono strzałkami. Jak łatwo zauważyć, najlepszymi miejscami odbioru sygnału wibroakustycznego są: głowica oraz korpus sprężarki (na wysokości osi wału korbowego) [2,6].

#### 5. PODSUMOWANIE

W pracy dokonano oceny stanu zaawansowania diagnostyki pojazdów szynowych w oparciu o analizę literatury. Stwierdzono, że najbardziej zaawansowana jest diagnostyka obwodów elektrycznych oraz zestawów kołowych i jego ułożyskowania (najwięcej publikacji). W następnej kolejności stacji diagnostycznych oraz diagnozowania infrastruktury kolejowej (podtorza, układów sterowania i zabezpieczenia ruchu kolejowego) oraz silnika spalinowego. Pozostałe zespoły lokomotywy nie są przedmiotem badań diagnostycznych.



Rys. 9. Możliwe miejsca pomiaru sygnałów diagnostycznych.

Sprężarka powietrza jest istotnym elementem układu pneumatycznego i hamulca a jej uszkodzenie może być przyczyną nieprawidłowej pracy układu hamulcowego istotnego dla bezpieczeństwa podróży i przewożonych ładunków.

Na podstawie analizy konstrukcji, zjawisk zachodzących w sprężarce powietrza oraz uszkodzeń występujących w sprężarce dokonano wyboru miejsc pomiaru sygnału wibroakustycznego. Miejscami tymi są: głowica oraz korpus sprężarki (na wysokości osi wału korbowego).

Mając wybrany obiekt badań diagnostycznych – sprężarkę powietrza oraz miejsca pomiaru sygnału diagnostycznego opracowany zostanie model diagnostyczny sprężarki powietrza oraz metodyka stanowiskowych badań diagnostycznych. Przeprowadzone badania będą miały na celu wybór parametrów sygnału wibroakustycznego wrażliwych na zmiany stanu sprężarki oraz zadawane (symulowane) uszkodzenia. Efektem końcowym badań będzie opracowanie metody diagnozowania sprężarek powietrza lokomotyw.

## 6. LITERATURA

- [1] *Cempel C.: Podstawy wibroakustycznej diagnostyki maszyn. WNT, Warszawa, 1982.*
- [2] *Cempel C.: Diagnostyka wibroakustyczna maszyn. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej Poznań 1985.*
- [3] *Marciniak J.: Diagnostyka techniczna kolejowych pojazdów szynowych. WET, Warszawa 1982.*
- [4] *Niziński S., Pelc H.: Diagnostyka urządzeń mechanicznych. WNT, Warszawa 1980.*
- [5] *Tomaszewski F.: Zagadnienia wyznaczania stanu technicznego złożonego obiektu mechanicznego za pomocą sygnału wibroakustycznego. Na przykładzie silnika spalinowego pojazdu szynowego. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, seria Rozprawy Nr 337, 1998.*
- [6] *Żółtowski B.: Podstawy diagnostyki maszyn. Wydawnictwo Uczelniane ATR Bydgoszcz 1996.*