

Angelika BIELEC<sup>1</sup>

Opiekun naukowy: Jacek NOWAKOWSKI<sup>2</sup>

DOI: <https://doi.org/10.53052/9788366249837.01>

## **ZASTOSOWANIE ANALIZY SPEKTROMETRYCZNEJ OLEJU W ASPEKTCIE OCENY ZUŻYCIA TŁOKOWYCH SILNIKÓW LOTNICZYCH**

**Streszczenie:** Analiza spektrometryczna oleju silnikowego została wprowadzona około 1960 roku jako narzędzie oceny stanu silnika. Jest postrzegana jako skuteczne narzędzie monitorujące stan silnika w statkach powietrznych użytkowanych do celów wojskowych, jako standard została wprowadzona w obsłudze niektórych silników turbinowych lotnictwa ogólnego (General Aviation), natomiast w silnikach tłokowych spełnia jak do tej pory rolę wspomagającą na zasadzie rekomendacji producenta. W trakcie badania oceniono poddano dziesięć małych statków powietrznych. Do szczegółowego badania w oparciu o uzyskane dane wybrano statek powietrzny użytkowany do skoków spadochronowych – Samolot typu Cessna T207A z silnikiem tłokowym Continental TSIO-520-M.

**Słowa kluczowe:** silnik samolotowy; olej silnikowy; analiza spektrometryczna oleju, silnik tłokowy, statek powietrzny, Part-ML, odstępstwo, okres między-remontowy.

## **APPLICATION OF SPECTROMETRIC OIL ANALYSIS IN THE ASPECT OF WEAR ASSESSMENT OF PISTON AIRCRAFT ENGINES**

**Summary:** Spectrometric analysis of engine oil was introduced around 1960 as an engine condition assessment tool. It is perceived as an effective tool for monitoring the condition of the engine in aircraft used for military purposes, it was introduced as a standard in the operation of some General Aviation turbine engines, while in piston engines it has so far performed a supporting role based on the manufacturer's recommendation. During the test, ten small aircraft were assessed. Based on the obtained data, a Cessna T207A aircraft for skydiving with a Continental TSIO-520-M piston engine was selected for a detailed study.

**Keywords:** aircraft engine; engine oil; spectrometric oil analysis, piston engine, aircraft, Part-ML, exceptions, time between overhaul

---

<sup>1</sup> Akademia Techniczno - Humanistyczna, wydział Budowy Maszyn i Informatyki, specjalność: Komputerowo Wspomagane Konstruowanie i Wytwarzanie (CAD/CAM), email: [angelika.szewczyk@gmail.com](mailto:angelika.szewczyk@gmail.com)

<sup>2</sup> dr hab. inż., prof. ATH, Akademia Techniczno-Humanistyczna, wydział Budowy Maszyn i Informatyki, email: [jnowakowski@ath.bielsko.pl](mailto:jnowakowski@ath.bielsko.pl)

## 1. Wstęp

Obsługa cywilnych statków powietrznych składa się z czynności obowiązkowych, wynikających z procesów certyfikacyjnych, czy Dyrektyw Zdatości wydanych przez nadzory lotnicze oraz czynności nieobowiązkowych, które jako rekomendacja są wprowadzane przez producentów sprzętu lotniczego w Instrukcjach obsługi technicznej lub dodatkowymi dokumentami jak biuletyny serwisowe, listy serwisowe, itp. Dla większości silników lotniczych producenci sprzętu informację o okresach między-remontowych wprowadzają poprzez biuletyny serwisowe. Dane te są informacją nieobowiązkową i rekomendowaną przez producentów, o ile nie są zawarte w ograniczeniach zdatości, danych certyfikatu typu czy dyrektywach zdatości. Prezes Urzędu Lotnictwa Cywilnego dnia 29 sierpnia 2016 r. wydał Wytyczne Nr 9 [1], które opisują metodologię stosowania odstępstwa od terminarzu przeglądów głównych silnika tłokowego wprowadzając tym samym analizę spektrometryczną zużytego oleju silnikowego jako jedno z głównych narzędzi oceny stanu silnika.

Śledzenie zawartości pierwiastków chemicznych zużytego oleju silnikowego wspomaga wykrywanie nadmiernego zużycia komponentów w silnikach – np. w silnikach tłokowych to m.in.: zużyte łożyska, wały korbowe, ściany cylindrów, koła zębate pompy oleju, tuleje sworzni tłokowych, pierścienie tłokowe, popychacze, dźwigienki zaworowe, prowadnice zaworów i sprężyny zaworów, co w dłuższej perspektywie może uchronić przed poważnym uszkodzeniem silnika i dużymi kosztami naprawy.

Uszkodzenie silnika samolotowego jest traktowane jako zdarzenie lotnicze i w zależności od sytuacji, w której występuje może być zakwalifikowane jako incydent techniczny, bądź jako powód katastrofy lotniczej.

## 2. Procedura pobrania próbki

Procedurę pobrania próbki przedstawiono na przykładzie silnika produkcji Lycoming, który obok silników produkcji Continental jest najczęściej stosowany w samolotach lotnictwa ogólnego.

Pobranie próbki jest wykonywane zazwyczaj przy wymianie oleju silnikowego – co 50godzin lotu lub cztery miesiące, w zależności co nastąpi pierwsze. Procedura pobrania próbki [2]:

1. Należy uruchomić silnik, aż temperatura oleju się ustabilizuje, a następnie wyłączyć silnik
2. Należy odczekać co najmniej 15 minut po wyłączeniu silnika, a następnie spuścić olej z silnika poprzez:
  - A. umieszczenie pojemnika o pojemności 15 kwarty (14 litrów) pod korkiem (-ami) spustowym miski olejowej.
  - B. ściągnięcie przewodu/kabla zabezpieczającego z jednego (lub obu) korka (-ów) spustowego (-ych) miski olejowej.
  - C. wykręcenie jednego (lub obu) korków spustowych miski olejowej.
  - D. podłączenie węża spustowego oleju, jeśli jest dostępny.

E. pobranie próbki oleju do badania laboratoryjnego w laboratorium spektrograficznym. Należy pamiętać, aby pobrać próbkę w ciągu 30 minut po wyłączeniu silnika.

Uwaga [3]: Próbkę oleju musi być czysta; należy upewnić się, że obszar wokół odpływu lub rura wlewowa jest idealnie czysta przed pobraniem próbki. Jeżeli próbka jest pobierana podczas spuszczenia oleju, niech wypłynie połowa oleju, a następnie należy pobrać próbkę podstawiając pojemnik pod strumień wylewającego się oleju.

### 3. Zawartość pierwiastków chemicznych w oleju a budowa silnika tłokowego

Największą grupą badanych pierwiastków chemicznych i najczęściej spotykanych w dużych ilościach są metale, poniższa Tabela 1 przedstawia zestawienie potencjalnych źródeł występowania danego pierwiastka chemicznego w oleju silnikowym.

Tabela 1. Źródła występowania danego pierwiastka chemicznego w oleju silnikowym [4]

Żelazo Fe	W silnikach tuleje cylindrowe i wał korbowy są głównymi elementami zużywającymi się, podobnie jak koła zębate rozrządu, wały i zawory. W skrzyniach biegów i elementach układu napędowego Żelazo jest głównym składnikiem kół zębatach, wałów i łożysk tocznych. Obecność Żelaza może wskazywać również na zanieczyszczenie. Kiedy Żelazo reaguje z wodą (zawierającą tlen) i tlenem atmosferycznym, może tworzyć się rdza. W układach chłodzenia może powstawać rdza zawierająca Żelazo (jeśli dojdzie do wewnętrznego wycieku płynu chłodzącego, w wyniku którego dojdzie do kontaktu płynu chłodzącego z olejem smarowym, płyn może odparować w temperaturze i ciśnieniu roboczym, pozostawiając dodatki i zanieczyszczenia w oleju)
Chrom Cr	W silnikach pierścienie są zwykle wykonane z Chromu lub pokryte nim. W rzadkich przypadkach wkładki mogą być chromowane, a pierścienie są wtedy wykonane z żeliwa. Wały, koła zębata i łożyska toczne mogą zawierać śladowe ilości Chromu jako metalu stopowego z Żelazem, z którego powstają niektóre stale, co może występować w większości typów elementów. Chrom może być również stosowany jako powłoka utwardzająca powierzchnię kół zębatach. Obecność Chromu również może wskazywać na zanieczyszczenie. W obszarach, w których wydobywa się metal, może on pojawić się w ropie jako oznaka przedostania się brudu. Należy pamiętać, że brud nie zawsze musi składać się z Krzemu (i Aluminium). Wreszcie Chrom może być czasami postrzegany jako wskazanie wewnętrznego wycieku chłodziwa. Niektóre rodzaje płynów uszlachetniających zawierają Chromian Sodu i ponownie, jeśli woda z układu chłodzenia przedostanie się do oleju, może ona wyparować, pozostawiając Chrom i Sód w oleju. Żelazo, Aluminium i Chrom często można zobaczyć razem w próbkach oleju silnikowego, ponieważ tworzą one metalurgię tulei, tłoków i pierścieni. Jest to zwykle widoczne w połączeniu z podwyższonym poziomem Krzemu, ponieważ przedostawanie się brudu przez układ wlotu powietrza może powodować nienormalne zużycie tych elementów.

Aluminium Al	Źródłem aluminium w oleju może być nadmierne zużycie korbowodu, obudowy akcesoriów, korpusu pompy oleju, głowicy cylindra, tłoków, wtyczek sworzni tłokowych, przegrody miski olejowej, obudowy wlotu turbosprężarki lub łożysk ślizgowych. Obecność Aluminium może wskazywać na zanieczyszczenie. Jest to dodatek do niektórych smarów, więc jeśli smar przenosi się do części zwilżonej olejem, może występować podwyższone stężenie Aluminium w analizie. Zwykle zabrudzenia (pył i żwir) są silnie ścierne i mogą być bardzo niebezpieczne dla każdego smarowanego elementu maszyny. Zwykle brud jest wykrywany przez obecność Krzemu. Jednak większość zabrudzeń to mieszanina Krzemu i Tlenków Glinu, więc w przypadku dostania się brudu do krzemu zwykle towarzyszy aluminium - zwykle w stosunku Al: Si od 1: 2 do 1: 5.
Miedź Cu	Miedź ma wiele źródeł zużycia metalu. Stop Miedzi i Cynku jest brązem, a jego obecność wskazuje na zużycie tulei korbowodów, tulei wahaczy, łożyska wału korbowego, prowadnicy zaworu wlotowego, wtyczka sworzni tłokowego lub tulei wolnego koła zębatego. Natomiast stop Miedzi i Cynku to mosiądz, a jego obecność może wskazywać na zużycie ekranu-sitka zasysania oleju czy elementu dystansowego zaworu ciśnienia. Elementy układu chłodzenia są często wykonane z Miedzi, która może przenikać bezpośrednio do oleju. Nie oznacza to, że chłodnica się rozpuszcza i nie jest to oznaka problemu. Jednak może być trochę niepokojące, gdy kilkaset ppm (parts per milion) Miedzi w próbce pojawia się nagle w raporcie z analizy oleju. Miedź może również przenikać do strony wodnej chłodnicy i jeśli woda dostanie się do oleju, może odparować, pozostawiając osad.
Krzem Si	Obecność podwyższonego stężenia Krzemu może wskazywać na jedną z czterech możliwości – jako wskaźnik wnikania do układu brudu, jako dodatek - gdyż Krzem jest częścią substancji chemicznej dodawanej do olejów, aby zapobiec ich pienieniu lub jako zanieczyszczenie, gdyż Krzem znajduje się w chemikaliach używanych w środkach do klimatyzacji chłodziwa, więc wraz z Sodem może pojawić się jako zanieczyszczenie w przypadku wewnętrznego wycieku płynu chłodzącego, smary również zawierają silikon (Krzem), a związki montażowe często zawierają chemikalia na bazie silikonu, które łatwo przenikają do oleju. Czwarta możliwość to zużycie – niekiedy w konstrukcji tłoków stosuje się węgiel krzemu w celu zmniejszenia ich współczynnika rozszerzalności.
Ołów Pb	Ten metal jest drugim głównym składnikiem metalu Babbit występującego w łożyskach ślizgowych. Układy hamulcowe również mogą zawierać Ołów. Jako zanieczyszczenie może wypłukiwać lutowie, podobnie jak Cyna, z układu chłodzenia. Kiedyś Ołów był powszechnym dodatkiem występującym w benzynie, więc trafiał do oleju jako produkt uboczny spalania. Aktualnie do napędzania silnika tłokowego statku powietrznego stosuje się specjalnie przeznaczone do tego celu paliwa lotnicze, które nie zawierają Ołowiu. Zdarza się jednak, iż mimo wszystko stosowana jest benzyna samochodowa, która zanieczyszczona może zawierać Ołów.

#### 4. Informacja nt. analizowanych silników

W trakcie badania ocenie poddano dziesięć statków powietrznych, Tabela 2 poniżej zawiera zestawienie typów badanych statków powietrznych.

Tabela 2. Statki powietrzne poddane analizie

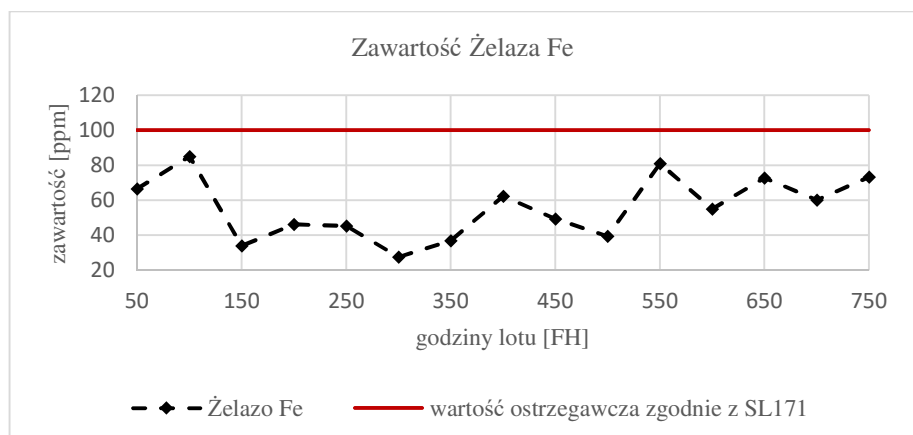
I.p.	Typ statku powietrznego	Typ silnika	Sposób użytkowania
1	Cessna TU 206G	Continental TSIO- 520-M	do skoków spadochronowych
2	Cessna T207A	Continental TSIO-520-M	do skoków spadochronowych
3	Kolibier 160	Lycoming -320-D2A	prywatny
4	Cessna 172S	Lycoming – 320	prywatny
5	Beech Baron	Continental IO-550	prywatny
6	Socata Rallye 180TS	Lycoming O-360	prywatny, w celach szkoleniowych
7	PS28 Cruiser	Rotax 912	prywatny
8	Cessna 182P	Continental O-470-R	prywatny
9	Cessna 182P	Continental O-470-R	prywatny
10	Cessna F150M	Continental O-200-A	prywatny

Do szczegółowego badania w oparciu o uzyskane od użytkowników dane wybrano Samolot typu Cessna T207A, rok produkcji: 1980r., nalot: 7638,8 godzin lotu (na dzień ostatniej analizy) z silnikiem tłokowym Continental TSIO-520-M. Silnik miał wykonywaną naprawę główną w lutym 2008r. przy nalocie płatowca 5871,9 godzin lotu. W badanym okresie, w maju 2019r. naprawiono cylindry.

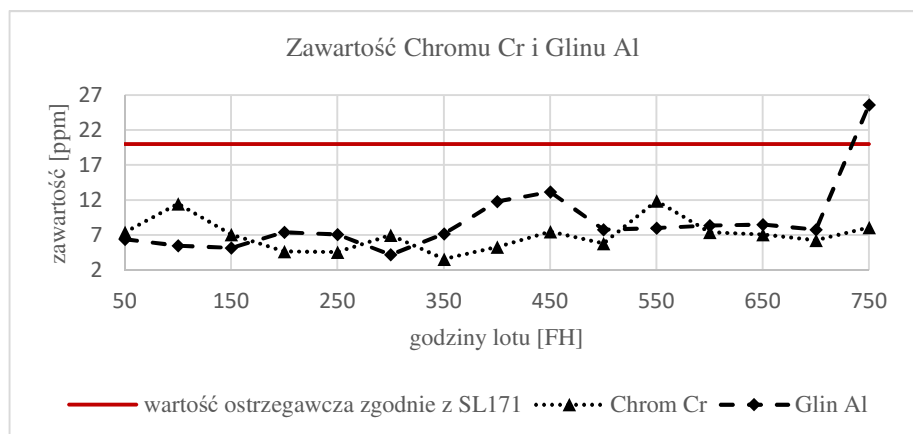
Silnik Continental TSIO-520-M to silnik sześciocyldrowy, z turbosprężarką i wtryskiem paliwa, w ustawieniu poziomym, chłodzony powietrzem. Turbosprężarka jest napędzana spalinami i zawiera regulator zmiennego ciśnienia, zespół zaworu upustowego, zespół turbiny i sprężarki oraz niezbędne węże, połączenia i kanały wymagane do funkcjonalnej instalacji. Turbosprężarka jest smarowana olejem silnikowym. Przewidziano montaż śmigła o zmiennym skoku i zespołu regulatora śmigła. Kołnierz wału korbowego ma sześć otworów na śruby, dwa kołki ustalające i środkowe przedłużenie prowadnicy przewidziane do mocowania śruby napędowej. W prowadnicy przewidziano hydrauliczne sterowanie śmigła, które jest dostarczane wewnątrz z regulatora. Wał korbowy jest również wyposażony w obciążniki amortyzatora skrętnego typu wahadłowego. Silnik posiada zdejmowane popychacze hydrauliczne. Dodatni obrót jest zapewniony zaworom wydechowym dzięki zastosowaniu wirników. Układ ciśnieniowy oleju silnikowego smaruje popychacze, końcówki popychaczy, tuleje wahaczy, zawory itp. Silnik jest wyposażony w adapter rozrusznika z napędem kątowym oraz rozrusznik z napędem bezpośrednim.

## 5. Analiza wyników

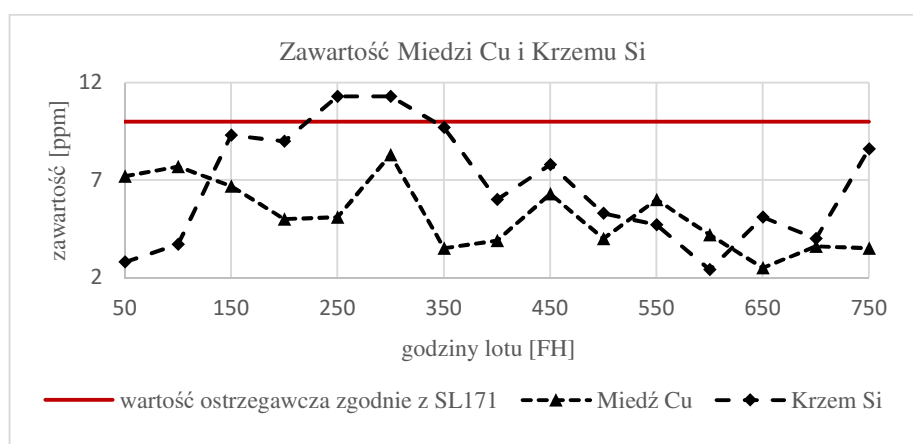
Okres jaki został poddany analizie to styczeń 2018r. – wrzesień 2020r. Wykresy zawarte w Rysunkach 1 do 4 poniżej zawierają zaznaczoną czerwoną linią ciągłą wartość ostrzegawczą danego pierwiastka chemicznego wg danych producenta [2]. Naprawa cylindrów została wykonana po 150 godzinach lotu. Ostatni pomiar został wykonany we wrześniu 2020r. przy okazji demontażu silnika po wykryciu usterki, jakim była nietypowa praca silnika oraz obecność drobnych elementów w filtrze oleju. Silnik wysłano do naprawy.



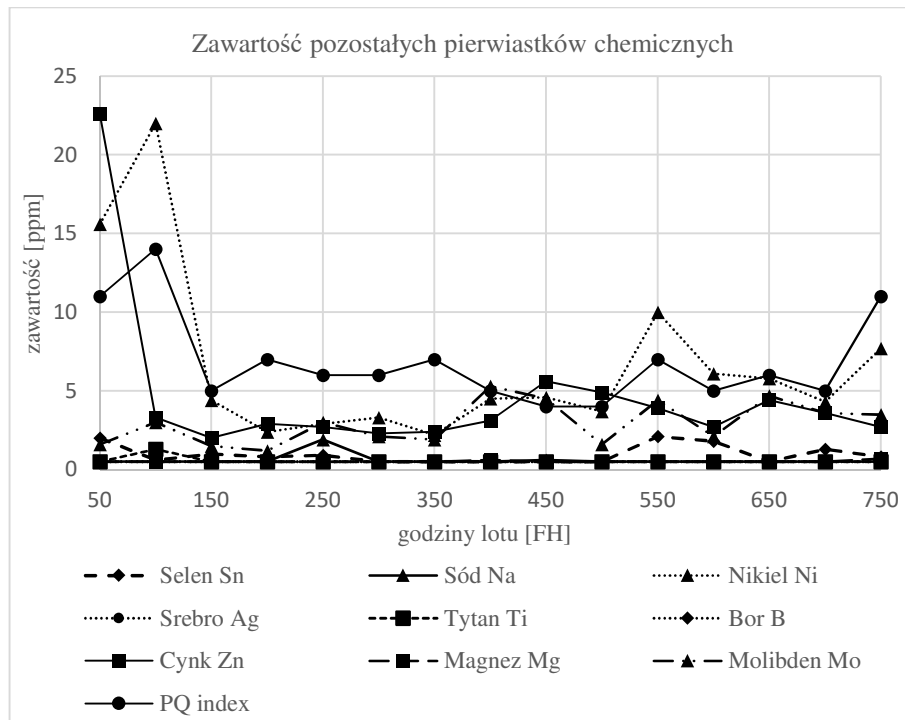
Rysunek 1. Wykres zawartości Żelaza w badanych próbkach



Rysunek 2. Wykres zawartości Chromu i Glinu w badanych próbkach



Rysunek 3. Wykres zawartości Miedzi i Krzemu w badanych próbkach



Rysunek 4. Wykres zawartości pozostałych pierwiastków chemicznych w badanych próbkach

Wykresy zawarte w Rysunkach 1 do 4 powyżej można podzielić na dwie części: okres przed naprawą cylindrów (0 – 150FH), oraz okres po naprawie a jednocześnie poprzedzający usterkę silnika (150 – 750FH). Przed naprawą cylindrów widać podwyższone stężenie Żelaza, Cynku, Niklu i zwiększoną ilość elementów ferromagnetycznych w próbkach oleju (indeks PQ – wykres na Rysunku 4). Wpis usterki w Pokładowym dzienniku technicznym (PDT) zmusił użytkownika do kontroli stanu silnika i w wyniku działań kontrolnych w maju 2019r. poddano naprawie wszystkie cylindry silnika. W okresie po wymianie cylindrów zauważono zwiększone stężenie Krzemu (około 200-350FH), mogło ono być efektem zanieczyszczenia z zewnątrz lub pozostałościami po środkach smarnych, wykorzystywanych w trakcie montażu cylindrów w silniku. Wskazania nie skutkowały dodatkowymi działaniami ze strony użytkownika.

Dalsze intensywne użytkowanie w okresie maj– wrzesień 2020r. doprowadziło do pojawienia się nietypowych drgań silnika oraz drobnych elementów na filtrze oleju. Po dokładnym sprawdzeniu stwierdzono uszkodzenie silnika i konieczność przeprowadzenia jego naprawy głównej. Wyniki badań, jakie wykonano przy okazji demontażu silnika wskazują na podwyższone wartości stężenia Żelaza, utrzymujące się wysokie wartości stężenia Chromu, Krzemu, przekroczenie w zakresie stężenia Glinu (Aluminium) oraz jednocześnie zwiększone stężenie pierwiastków ferromagnetycznych.

Żelazo, Aluminium i Chrom często można zobaczyć razem w próbkach oleju silnikowego, ponieważ tworzą one metalurgię tulei, tłoków i pierścieni. Jest to zwykle

widoczne w połączeniu z podwyższonym poziomem Krzemu, ponieważ przedostawanie się brudu przez układ wlotu powietrza może powodować nienormalne zużycie tych elementów. W silnikach tuleje cylindrowe i wał korbowy są głównymi elementami zużywającymi się, podobnie jak koła zębate rozrządu, wały i zawory. W skrzyniach biegów i elementach układu napędowego Żelazo jest głównym składnikiem kół zębatach, wałów i łożysk tocznych. Pierścienie są zwykle wykonane z Chromu lub pokryte nim. W rzadkich przypadkach wkładki mogą być chromowane, a pierścienie są wtedy wykonane z żeliwa. Źródłem Aluminium w oleju może być nadmierne zużycie korbowodu, obudowy akcesoriów, korpusu pompy oleju, głowicy cylindra, tłoków, wtyczek sworzni tłokowych, przegrody miski olejowej, obudowy wlotu turbosprężarki lub łożysk ślizgowych [4].

W wyniku naprawy stwierdzono zniszczenie tłoka spowodowane wypadniętą przeciwwagą wału korbowego. Uzyskane wartości stężeń poszczególnych pierwiastków chemicznych pokrywają się z rezultatem kontroli stanu silnika podczas jego naprawy głównej. W przypadku badanego silnika, jego uszkodzenie było nagłe i wcześniejsze analizy zużytego oleju silnikowego nie wskazywały na pojawiający się problem. Analizy nie wykazywały zwiększających się trendów stężenia Aluminium, a Żelazo pozostawało na stałym, wysokim poziomie, lecz nieprzekraczającym ostrzegawczego.

Silnik ten był użytkowany według stanu, stosując odstępstwo od rekomendowanego przez producenta czasookresu międzynaprawczego (1600FH/12lat [5]) i jego użytkowanie przekroczyło ustalony przez producenta czasookres między-remontowy o 167 godzin lotu/ 7 miesięcy.

Pozostałe badane silniki nie wykazywały żadnych usterek, jak również wyniki stężeń poszczególnych pierwiastków chemicznych nie przekraczały ostrzegawczego poziomu.

## 6. Wnioski

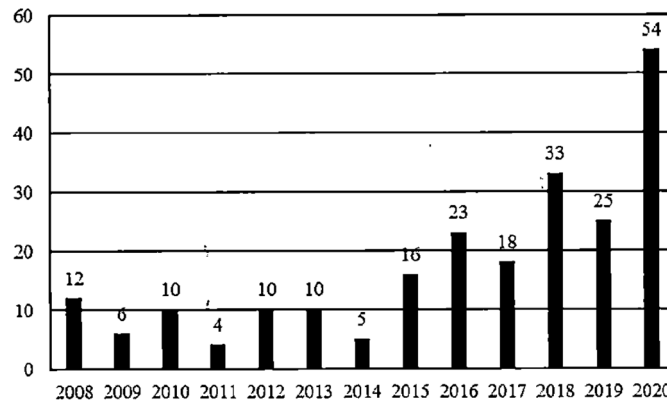
Jak wspomniano na początku artykułu czynności obsługowe cywilnych statków powietrznych lotnictwa ogólnego można podzielić na czynności obowiązkowe i nieobowiązkowe. Z uwagi na fakt, iż czasookres między-remontowy dla silników tłokowych jest wprowadzony w nieobowiązkowej dokumentacji na terenie Rzeczypospolitej Polski jest około 100 statków powietrznych, dla których silniki są użytkowane w trybie „wg stanu”. Prezes Urzędu Lotnictwa Cywilnego dnia 29 sierpnia 2016 r. wydał Wytyczne Nr 9, które opisują proponowaną metodologię postępowania w przypadku użytkowania silnika w trybie „wg stanu”. Opisane czynności dla statków powietrznych lotnictwa ogólnego, które nie są wykorzystywane w certyfikowanym przewozie lotniczym polegają na wprowadzeniu kontroli weryfikacyjnej co 100FH/12miesiące, w zależności co nastąpi wcześniej oraz ciągłej analizie spektrometrycznej oleju silnikowego.

Analiza spektrometryczna oleju silnikowego jest na tyle specyficzną czynnością obsługową, że praktycznie każdy jej etap może doprowadzić do zakłamania wyników badań. Czynniki jakie mogą wpłynąć na wyniki badania to: pobranie próbki na „zimnym” silniku, zabrudzenie próbki, zabrudzenie strefy pobrania próbki, pobranie zbyt wcześnie/zbyt późno próbki („okno czasowe” pobrania to 15-30minut licząc od wyłączenia silnika), pominięcie pobrania (i co się niestety zdarza – wysłanie próbki



z innego statku powietrznego), korzystanie z usług różnych laboratoriów (z uwagi na możliwość korzystania z różnych technik, wyniki dla jednej próbki będą się różniły od siebie), niewłaściwie wprowadzone dane do systemu, np. arkusza kalkulacyjnego excel. Oprócz wspomnianych czynników na etapie interpretacji wyników badań koniecznym jest posiadanie odpowiedniego doświadczenia, wiedzy z zakresu budowy silnika, materiałoznawstwa, wpływu czynników zewnętrznych wynikających ze sposobu użytkowania statków powietrznego oraz środowiska, w którym statek powietrzny jest użytkowany. Wszystkie powyższe wpływają na wyniki końcowe i w wyniku czego, z uwagi na brak odpowiedniej wiedzy i doświadczenia analiza spektrometryczna w przeważającej większości przypadków jest wykonywana jedynie w celu spełnienia wymagań Urzędu.

Instytut Lotnictwa Łukasiewicz opublikował w kwietniu 2021 pracę pt. "Analiza zdarzeń lotniczych powodowanych niesprawnościami instalacji płatowcowych i silnikowych w latach 2008 – 2020".



Rysunek 5. Usterki silnika tłokowego statków powietrznych lotnictwa ogólnego w latach 2008-2020 [6]

Opracowanie to w zakresie usterek związanych z silnikami tłokowymi statków powietrznych lotnictwa ogólnego zawiera informację o zwiększeniu ponad dwukrotnie ilości usterek silnika tłokowego w latach pomiędzy 2016 a 2020 [Rysunek 5 poniżej], gdzie w 2016r. opublikowane zostały Wytyczne Prezesa Urzędu Lotnictwa Cywilnego Nr 9 [1]. Jako jedną z możliwych przyczyn otrzymanych wyników Instytut wskazuje wprowadzenie wcześniej wspomnianych wytycznych i pewnego rodzaju dowolność w obsłudze silników tłokowych statków powietrznych [6]. Stosowanie programów analizy spektrometrycznej oleju silnikowego jest rekomendowane przez niemalże wszystkich producentów silników – wyniki tych analiz nie stanowią jednak jednoznacznej wskazówki odnośnie niekorzystnych procesów jakie zachodzą w danym silniku. Są one jedynie wskazaniem, że może rozpoczynać się degradacja danego elementu i należy silnik skontrolować np. poprzez inspekcję boroskopową, test kompresji, itp.

Podsumowując, analiza spektrometryczna zużytego oleju silnikowego jako samodzielne narzędzie nie stanowi poprawnego narzędzia analizy trendów zużycia silnika tłokowego, jednakże w powiązaniu z innymi narzędziami, takimi jak analiza parametrów pracy silnika, kontrola zużycia oleju silnikowego, kontrola zużycia

paliwa, inspekcja boroskopowa, itp. jest efektywnym narzędziem analizy trendów zużycia silnika tłokowego. Wykorzystanie wszystkich wyżej wymienionych dostępnych narzędzi kompleksowo pozwala na badanie stanu silnika podczas jego eksploatacji i reagowanie na wszelkie pojawiające się odstępstwa od trendów, które mogą wskazywać na ewentualne niesprawności silnika

Agencja Unii Europejskiej ds. Bezpieczeństwa Lotniczego wydała 8 lipca 2019 roku Rozporządzenie wykonawcze 2019/1383, które znacząco zmieniało obowiązujące bazowe Rozporządzenie 1321/2014 z dnia 26 listopada 2014 w sprawie ciągłej zdatości do lotu statków powietrznych. Zmiana ta polegała na wprowadzeniu nowych regulacji w zakresie użytkowania małych statków powietrznych nie wykorzystywanych w certyfikowanym przewozie lotniczym. Jednym ze znaczących „udogodnień” dla lotnictwa ogólnego jest możliwość wprowadzania odstępstw od rekomendowanych czynności obsługowych. W przypadku, gdy statkiem powietrznym zarządza właściciel odstępstwa te nie muszą być analizowane i uzasadniane, a jedynie odnotowane w deklarowanym Programie Obsługi Technicznej.

Stosowanie odstępstwa od rekomendacji producenta, mimo iż dopuszczalne w zakresie regulacji unijnych, wymaga przejęcia odpowiedzialności za jego wprowadzenie. Można wysnuć konkluzję, iż oprócz przejęcia odpowiedzialności za stosowanie odstępstwa i konsekwencji z nich wynikających (o ile nastąpią) wyłącznie posiadanie odpowiedniej wiedzy i doświadczenia w zakresie użytkowania i analizy parametrów statku powietrznego (tutaj: ogólnie, gdyż odstępstwa mogą dotyczyć jakiegokolwiek nieobowiązkowej czynności obsługowej) pozwala na wprowadzenie odstępstw od rekomendacji producentów sprzętu lotniczego. Zagadnienie to wymaga konieczności propagowania świadomości wśród użytkowników w zakresie odpowiedzialności, np. poprzez spotkania, seminaria, akcje reklamowe, ogłaszanie wyników z badań Państwowej Komisji Badań Wypadków Lotniczych.

## LITERATURA

1. Prezes ULC: Wytyczne Nr 9 z dnia 29 sierpnia 2016r. w sprawie okresów między-remontowych silników tłokowych.
2. Serwis internetowy producenta Lycoming – Oil Servicing, Metallic Solids Identification After Oil Servicing, and Associated Corrective Action: <https://www.lycoming.com/content/service-bulletin-no-480-f>, 2021-05-20.
3. Serwis internetowy producenta Lycoming – General aspects of Spectrometric Oil Analysis: <https://www.lycoming.com/content/service-letter-no-1171>, 2021-05-20.
4. Technical Bulletin Issue 47, Evans, J., Where does all that metal come from?, Wearcheck AFRICA, 2010r.
5. Serwis internetowy producenta Continental – Time between Overhaul Periods: <http://www.continental.aero/uploadedFiles/Content/xImages/TBO%20Page%20SIL98-9C.pdf>, 2021-05-20.
6. GŁOWACKI P.: Analiza zdarzeń lotniczych powodowanych niesprawnościami instalacji płatowcowych i silnikowych w latach 2008 – 2020: Instytut Lotnictwa Łukasiewicz, 2021r.