



Ryc. 1. Airbus A330neo i A350 (źródło: Airbus, 2015)

Kryteria wyboru silników napędowych do samolotów pasażerskich na przykładzie AIRBUS A330neo oraz A350

Kinga Joskowska, Piotr Bieńkowski
Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Chełmie

Streszczenie

Artykuł dotyczy analizy przyczyn, dla których w programie modernizacji samolotu Airbus A330 do wersji A330neo nie zastosowano silników Rolls-Royce Trent XWB znanych z modelu A350. Przedstawiono główne założenia konstrukcyjne programu A330neo oraz opisano zakres zmian wprowadzonych w stosunku do wcześniejszej wersji A330ceo (Current Engine Option). Scharakteryzowano zastosowane silniki Rolls-Royce Trent 7000 i porównano je z jednostkami Trent XWB pod względem parametrów technicznych, konstrukcji oraz dostosowania do specyficznych wymagań płatowca. Omówiono także czynniki ekonomiczne i logistyczne, w tym koszty przeprojektowania płatowca, pozycjonowanie rynkowe A330neo względem A350

oraz wpływ współpracy z firmą Rolls-Royce na realizację programu. Przedstawiono wymagania certyfikacyjne związane z ewentualną integracją silników Trent XWB z konstrukcją A330 oraz wynikające z tego ryzyka finansowe i czasowe. W artykule wykazano, że decyzja o wyborze silników Trent 7000 była uzasadnionym kompromisem między efektywnością technologiczną a opłacalnością ekonomiczną, co pozwoliło utrzymać konkurencyjność A330neo jako nowoczesnej, lecz mniej kosztownej alternatywy dla Airbus A350.

Słowa kluczowe: Airbus A330neo, Rolls-Royce Trent 7000, Rolls-Royce Trent XWB, modernizacja samolotu, certyfikacja EASA/FAA, analiza ekonomiczna

Wprowadzenie

Rodzina samolotów Airbus A330 od momentu debiutu w latach 90. XX w. stanowi jeden z filarów segmentu szerokokadłubowych samolotów pasażerskich średniego i dalekiego zasięgu. Dzięki elastyczności konstrukcji, szerokiemu wachlarzowi wersji oraz niezawodności, A330 zdobył uznanie linii lotniczych na całym świecie [1]. W odpowiedzi na rosnące wymagania rynku dotyczące efektywności paliwowej i redukcji emisji, Airbus podjął decyzję o modernizacji samolotu, wprowadzając A330neo (*New Engine Option*) – wersję napędzaną nowoczesnymi silnikami Rolls-Royce Trent 7000 oraz wyposażoną w udoskonaloną aerodynamikę i nowoczesne rozwiązania z Airbusa A350 [2].

Z kolei Airbus A350 reprezentuje zupełnie nową generację samolotów szerokokadłubowych, zaprojektowaną od podstaw z wykorzystaniem kompozytowych struktur kadłuba i skrzydeł oraz napędzaną przez zaawansowane silniki Rolls-Royce Trent XWB, charakteryzujące się wyjątkową sprawnością i niskim zużyciem paliwa [3]. A350 stanowi kluczowy element strategii Airbusa w segmencie dalekodystansowym, rywalizując bezpośrednio z Boeingiem 787 i 777X.

Pomimo bliskiego pokrewieństwa technologicznego między A330neo a A350, Airbus nie zdecydował się na zastosowanie w A330neo silników Rolls-Royce Trent XWB, które teoretycznie mogłyby zapewnić jeszcze wyższą efektywność. Problem badawczy, któremu poświęcony jest niniejszy artykuł, brzmi więc: dlaczego w procesie modernizacji A330 do wersji A330neo nie wykorzystano silników Trent XWB z A350?

Charakterystyka konstrukcyjna samolotu Airbus A330 NEO

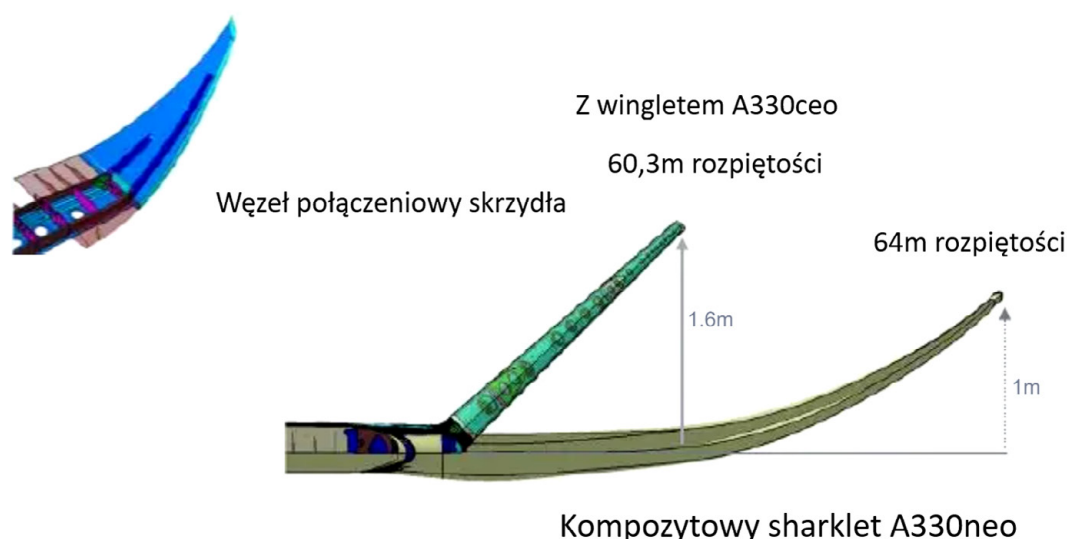
Airbus A330neo stanowi pogłębioną modernizację popularnego modelu A330, mającą na celu utrzymanie jego konkurencyjności w segmencie szerokokadłubowych samolotów

pasażerskich średniego i dalekiego zasięgu. Modernizacja ta nie ograniczała się jedynie do wymiany jednostek napędowych, lecz objęła kompleksowe usprawnienia aerodynamiczne, strukturalne i systemowe. Dzięki temu A330neo uzyskał wyraźnie lepsze osiągi przy jednoczesnym zachowaniu znanej i sprawdzonej konstrukcji bazowej.

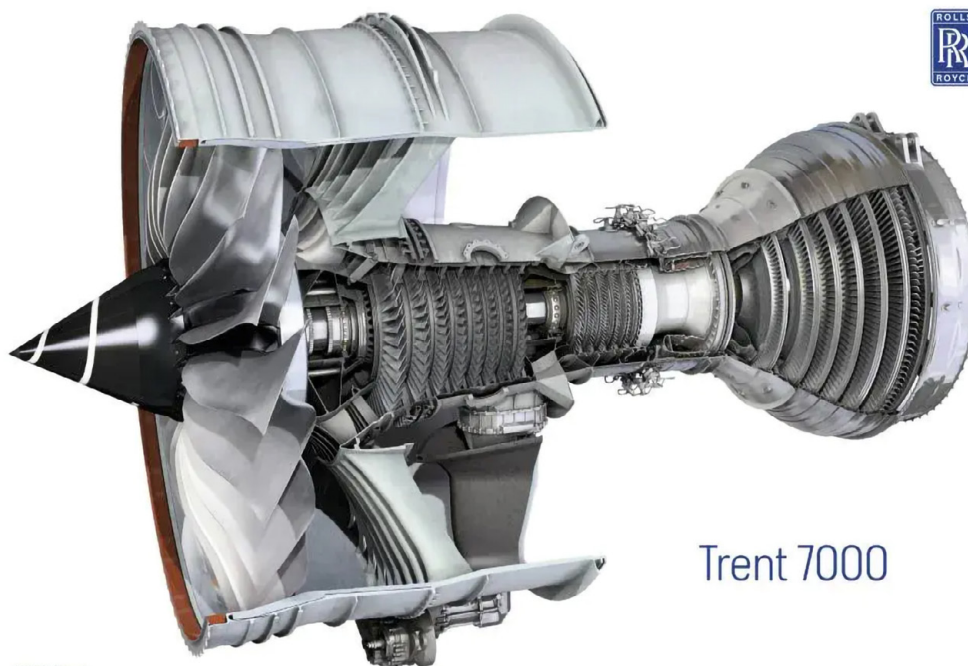
Największe zmiany konstrukcyjne dotyczyły skrzydeł, które zostały całkowicie przeprojektowane w celu poprawy efektywności aerodynamicznej. Rozpiętość wzrosła do 64 m, a nowy profil aerodynamiczny oraz kompozytowe zakończenia typu sharklet (ryc. 2) pozwoliły na redukcję oporu o około 4% w stosunku do poprzedniej generacji [4]. Zmodyfikowano również strukturę pylonu, dostosowując ją do większych i cięższych silników nowej generacji, a także wzmocniono podwozie główne, co umożliwiło zwiększenie masy startowej samolotu. Równolegle przeprowadzono modernizację systemów pokładowych i awioniki, które w znacznej części pochodzą z programu A350, zapewniając większą unifikację w obsłudze technicznej i szkoleniu załóg.

Wymagania wobec nowych jednostek napędowych dla A330neo były szczegółowo zdefiniowane. Silniki musiały zapewniać ciąg w zakresie od 67 000 do 72 000 funtów, co gwarantowało odpowiedni zapas mocy dla dwóch wersji – A330-800 i A330-900 – przy jednoczesnym ograniczeniu zużycia paliwa o około 10% względem wcześniejszego modelu A330ceo. Ważnym kryterium była również kompatybilność z istniejącą strukturą skrzydła, co wymagało zachowania określonej geometrii i masy jednostki napędowej, a także ograniczenia wymiarów tak, by nie naruszyć minimalnego prześwitu między silnikiem a pasem startowym. Dodatkowo nowe silniki musiały spełniać surowe wymagania w zakresie emisji hałasu i spalin, zgodne z normami ICAO Stage 4 oraz przewidywanymi przepisami Stage 5 [5].

Odpowiedzią na te wymagania stał się silnik Rolls-Royce Trent 7000 (ryc. 3), opracowany specjalnie dla programu A330neo. Konstrukcyjnie jest on blisko spokrewniony z Trent 1000 TEN, stosowanym w Boeingach 787,



Ryc. 2. Porównanie końcówki skrzydła A330 do A330neo5 (źródło: John Leahy, *The A330neo Powering into the future*, Airbus)



Trent 7000

Ryc. 3. Silnik Rolls-Royce Trent 7000 (źródło: Rolls-Royce, 2025)

jednak wprowadzono w nim szereg istotnych modyfikacji. Zastosowano nowy wentylator o średnicy 112 cali, zwiększający stopień dwuprzepływowości do 10 : 1, oraz spręż o wartości 50 : 1, co przełożyło się na wyższą efektywność termodynamiczną. Silnik osiąga maksymalny ciąg 72 000 funtów, a przy tym charakteryzuje się cichszą pracą – poziom hałasu został obniżony o 6 dB w porównaniu z Trent 700, stosowanym w starszych wersjach A330 [6].

Trent 7000 wykorzystuje rdzeń konstrukcyjny z modelu Trent 1000, lecz został zoptymalizowany pod kątem profilu operacyjnego A330neo. Maszyna ta wykonuje częściej loty średniego i dalekiego zasięgu z większą liczbą cykli start-ładowanie niż A350 czy Boeing 787, dlatego Rolls-Royce dostosował parametry pracy silnika do tych warunków. Wzmocniono układ chłodzenia, przeprojektowano system olejowy oraz wprowadzono zmiany w sprężarce niskiego ciśnienia, by poprawić osiągi przy wyższych temperaturach otoczenia. Usprawniono także system sterowania FADEC, który zapewnia bardziej precyzyjne zarządzanie parametrami pracy jednostki w różnych fazach lotu [7].

Charakterystyka silników Rolls-Royce Trent XWB

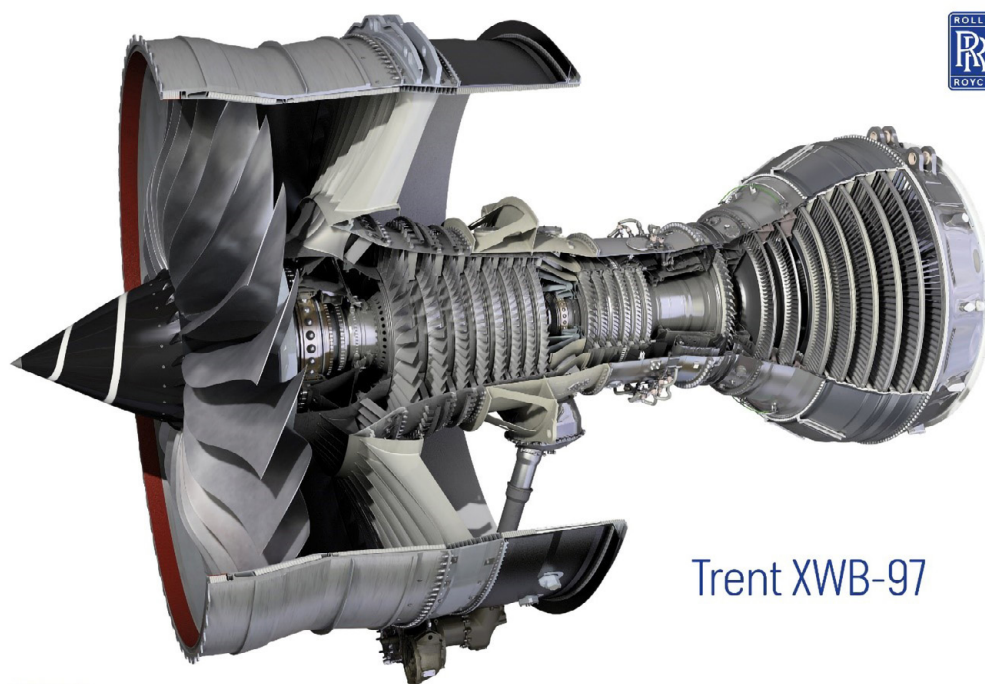
Silniki Rolls-Royce Trent XWB (ryc. 4) stanowią kluczowy element konstrukcji samolotu Airbus A350 XWB (Extra Wide Body), będącego jednym z najbardziej zaawansowanych technologicznie samolotów szerokokadłubowych na świecie. Silniki te zostały opracowane specjalnie z myślą o tej rodzinie maszyn i stanowią obecnie najbardziej efektywne jednostki napędowe w historii cywilnych silników odrzutowych Rolls-Royce'a. Projekt silnika był od początku integralną częścią procesu tworzenia całej konstrukcji A350,

co pozwoliło uzyskać wyjątkowo wysoką synergię aerodynamiczną, mechaniczną i eksploatacyjną [8].

Rodzina Trent XWB obejmuje trzy główne warianty: Trent XWB-75, Trent XWB-84 oraz Trent XWB-97. Pierwszy z nich, Trent XWB-75, był pierwotnie projektowany dla nieprodukowanej obecnie wersji A350-800, mającej być najmniejszym wariantem w rodzinie. Silnik ten generował ciąg około 75 000 funtów (lbf) i charakteryzował się mniejszym zapotrzebowaniem na przepływ powietrza, przy zachowaniu tej samej architektury rdzenia i technologii jak w pozostałych wersjach [9]. Wraz z rezygnacją z programu A350-800, silnik nie został wprowadzony do eksploatacji, lecz jego rozwiązania konstrukcyjne posłużyły w procesie udoskonalania późniejszych odmian XWB.

Wersja Trent XWB-84 napędza model A350-900 stanowiący podstawowy wariant rodziny. Silnik ten generuje maksymalny ciąg 84 000 lbf, osiągając przy tym wyjątkowo wysoką sprawność termodynamiczną. Z kolei Trent XWB-97, przeznaczony dla większego i cięższego A350-1000, zapewnia ciąg maksymalny 97 000 lbf, co czyni go najmocniejszym silnikiem w historii Rolls-Royce'a stosowanym w lotnictwie pasażerskim [10]. Obie wersje oparte są na architekturze trójwałowej, typowej dla rodziny Trent. Zapewnia ona lepszą elastyczność pracy poszczególnych stopni sprężarek i turbin oraz większą stabilność przepływu w szerokim zakresie obciążeń.

Pod względem parametrów konstrukcyjnych silniki Trent XWB wyróżniają się bardzo wysokim stopniem dwuprzepływowości (*bypass ratio*), wynoszącym około 9,6 : 1 dla XWB-84 i nieco mniej dla XWB-97 (około 9,0 : 1). Całkowity spręż (*overall pressure ratio*) osiąga wartość 50 : 1, co należy do najwyższych wyników wśród współczesnych jednostek napędowych. Dzięki temu uzyskano niezwykle efektywny



Trent XWB-97

Ryc. 4. Silnik Rolls-Royce Trent XWB (źródło: Rolls-Royce)

cykl termodynamiczny (TAC), charakteryzujący się wysoką temperaturą wlotową do turbiny, zoptymalizowanym spalaniem i niskim zużyciem paliwa [11].

Silniki Trent XWB są również jednymi z największych i najcięższych w swojej klasie. Wersja XWB-84 ma masę suchą około 7,3 t, natomiast XWB-97 około 7,8 t przy średnicy wentylatora 118 cali. Zastosowanie nowoczesnych materiałów kompozytowych oraz tytanowych łopatek wentylatora pozwoliło na zmniejszenie masy elementów wirujących i redukcję bezwładności dynamicznej, co przekłada się na bardziej płynną regulację mocy i niższy poziom drgań [9].

Projekt silnika Trent XWB został ściśle dostosowany do aerodynamicznych i konstrukcyjnych wymagań A350. Kadłub samolotu ma zwiększoną średnicę i tym samym większy opór czołowy (*drag*), a skrzydła zostały zoptymalizowane do pracy w zakresie wysokości przelotowych 35 000–41 000 stóp, gdzie opory są minimalne. W związku z tym silnik musiał zapewniać wysoki ciąg w długotrwałych warunkach dużego obciążenia cieplnego, przy jednoczesnym utrzymaniu niskiego zużycia paliwa. Rolls-Royce zastosował zaawansowany cykl pracy o podwyższonej temperaturze w rdzeniu, nową turbinę wysokiego ciśnienia z poprawionym chłodzeniem oraz sprężarkę o zwiększonej liczbie stopni, co podniosło efektywność cieplną układu [12].

Zintegrowany system FADEC (*Full Authority Digital Engine Control*) nowej generacji odpowiada za optymalizację pracy silnika w czasie rzeczywistym. System ten kontroluje tysiące parametrów, w tym temperatury, przepływy powietrza i ciśnienia, co umożliwia automatyczne dostosowanie charakterystyki pracy do aktualnych warunków lotu. Dodatkowo, system monitoringu *Engine Health Monitoring* (EHM) analizuje dane przesyłane z silnika do centrów operacyjnych

Rolls-Royce'a, co pozwala na predykcyjne planowanie obsługi technicznej i minimalizację przestojów floty [13].

Analiza ekonomiczna i logistyczna

Decyzja o wyborze silników Rolls-Royce Trent 7000 zamiast Trent XWB dla programu Airbus A330neo była uwarunkowana nie tylko czynnikami technicznymi, lecz przede wszystkim ekonomicznymi, logistycznymi i strategicznymi. Zastosowanie jednostki napędowej opracowanej pierwotnie dla A350 wiązałoby się z koniecznością głębokich modyfikacji płatowca A330, co zniweczyłoby podstawowy cel programu – stworzenie konkurencyjnego kosztowo samolotu nowej generacji przy minimalnym ryzyku finansowym.

1. Koszty przeprojektowania płatowca

Silnik Trent XWB, znacznie większy i cięższy od Trent 7000, wymagałby poważnej ingerencji w konstrukcję A330. Ze względu na większą średnicę jego wentylatora (118 cali w porównaniu do 112 cali w Trent 7000) konieczne byłoby zaprojektowanie nowego skrzydła z większym prześwitem pod silnik oraz bardziej wytrzymałego na obciążenia pylonu. Taka zmiana pociągnęłaby za sobą dalsze modyfikacje podwozia głównego, aby zapewnić odpowiedni odstęp od pasa startowego, a to z kolei wymagałoby ponownej certyfikacji całego układu strukturalnego i aerodynamicznego [14].

Koszt przebudowy skrzydła w projektach tej klasy szacuje się na setki milionów euro, a proces certyfikacji – obejmujący testy aerodynamiczne, wytrzymałościowe i bezpieczeństwa – mógłby potrwać 3–4 lata. Dodatkowo, wprowadzenie

zupełnie nowej jednostki napędowej wymagałoby uzyskania osobnego certyfikatu EASA/FAA dla integracji silnika z płatowcem, co wiązałoby się z dodatkowymi kosztami i ryzykiem przesunięcia harmonogramu. W efekcie cały program A330neo straciłby swoją przewagę w postaci krótkiego czasu wdrożenia i niskich nakładów inwestycyjnych w porównaniu do nowego projektu, jakim był A350 [15].

2. Pozycjonowanie rynkowe produktu

Z ekonomicznego punktu widzenia Airbus dążył do utrzymania wyraźnej różnicy między segmentami rynkowymi modeli A330neo i A350. Program A350 miał być flagowym, całkowicie nowym samolotem dalekiego zasięgu klasy premium, natomiast A330neo – tańszą, bardziej ekonomiczną alternatywą dla przewoźników szukających samolotu o mniejszych kosztach zakupu i eksploatacji. Wprowadzenie silników Trent XWB do A330neo nie tylko podniosłoby koszty jednostkowe maszyny, ale także spowodowałoby ryzyko kanibalizacji rynku A350, osłabiając jego pozycję sprzedażową w segmencie *long-haul* [16].

Airbus świadomie utrzymał różnicę w kosztach operacyjnych i cenie katalogowej między A330neo a A350. Cena katalogowa A330-900neo w momencie wejścia na rynek była o około 25–30% niższa od A350-900, co czyniło go atrakcyjnym wyborem dla linii operujących na trasach o średnim natężeniu ruchu. Gdyby w A330neo zamontowano silniki o osiągnięciach zbliżonych do A350, różnica w zużyciu paliwa nie zrekompensowałaby wzrostu kosztów zakupu i utrzymania, a segmentacja rynkowa między produktami Airbusa uległaby zatarciu [17].

3. Łańcuch dostaw i współpraca z Rolls-Royce

W momencie opracowywania A330neo Airbus i Rolls-Royce posiadały już rozbudowaną sieć współpracy w zakresie programów Trent 700, Trent 1000 oraz Trent XWB. Z ekonomicznego punktu widzenia naturalnym rozwiązaniem było opracowanie nowej jednostki w oparciu o istniejącą technologię Trent 1000, co doprowadziło do powstania Trent 7000. Silnik ten, dzielący znaczną część komponentów ze stosowanym w Boeingach 787 modelem Trent 1000 TEN, pozwalał na zwiększenie wspólności produkcyjnej i wykorzystanie istniejących linii montażowych Rolls-Royce'a, co obniżyło koszty jednostkowe [18].

Przystosowanie Trent XWB do innego typu samolotu byłoby przedsięwzięciem skomplikowanym zarówno technicznie, jak i logistycznie. Silnik ten został zaprojektowany specjalnie pod wymagania aerodynamiczne i termodynamiczne A350, w tym pod większy opór kadłuba i specyficzne warunki pracy na mniejszych wysokościach dragowych. Jego adaptacja wymagałaby opracowania nowego systemu mocowania, wlotu powietrza, układów chłodzenia i instalacji paliwowych, co wiązałoby się z ogromnym nakładem finansowym. Dodatkowo oznaczałoby to konieczność utrzymywania osobnego łańcucha dostaw i serwisu, co zwiększałoby koszty logistyczne i serwisowe zarówno dla Airbusa, jak i dla przewoźników [19].

Wymagania certyfikacyjne

Wprowadzenie do samolotu Airbus A330neo jednostki napędowej innej niż pierwotnie przewidziana, takiej jak Rolls-Royce Trent XWB, wiązałoby się z koniecznością przeprowadzenia pełnego procesu ponownej certyfikacji nie tylko silnika, ale całego płatowca. W świetle obowiązujących przepisów Europejskiej Agencji Bezpieczeństwa Lotniczego (EASA) oraz Federalnej Administracji Lotnictwa (FAA) każda istotna zmiana w strukturze, napędzie lub aerodynamicie samolotu traktowana jest jako modyfikacja wpływająca na charakterystykę lotną, bezpieczeństwo i osiągi, co wymaga uzyskania nowego certyfikatu typu bądź certyfikatu zmiany głównej (*Major Change to Type Certificate*) [20].

W przypadku hipotetycznego zastosowania silników Trent XWB w A330neo, proces ten objąłby nie tylko certyfikację samego silnika (już istniejącego dla A350), ale również jego integrację z płatowcem, co jest odrębnym, kompleksowym procesem regulowanym przez wymagania EASA CS-25 oraz FAA Part 25. Integracja innego napędu oznacza konieczność przeprowadzenia nowych analiz strukturalnych (obejmujących skrzydło, pylon, system mocowania i gondole), testów dynamicznych (drżania własne, wibracje skrętne, rezonans konstrukcji) oraz badań aerotermicznych (rozpraszanie ciepła, przepływ powietrza, chłodzenie instalacji) [21].

Zmiana jednostki napędowej na większą i o innym profilu pracy skutkuje również zmianą klasy trakcji samolotu, co pociąga za sobą konieczność weryfikacji licznych parametrów aerodynamicznych i operacyjnych. EASA i FAA wymagają w takich przypadkach przeprowadzenia pełnego zestawu testów lotnych (*flight test campaign*), obejmujących m.in. pomiary osiągnięć, stateczności i sterowności czy procedur awaryjnych (np. utrata ciągu jednego silnika), a także testy zachowania płatowca w krytycznych warunkach pracy napędu. Wymagana byłaby również ponowna certyfikacja systemów pomocniczych, takich jak instalacje paliwowe, hydrauliczne, elektryczne i przeciwpożarowe, które musiałyby zostać dostosowane do nowej jednostki napędowej o odmiennych parametrach termicznych i energetycznych [22].

Kolejnym aspektem jest konieczność potwierdzenia zgodności z normami środowiskowymi, w tym przepisami ICAO Annex 16 Volume II (emisje spalin) oraz Volume I (hałas). Silnik o większej średnicy i wyższym ciągu wymagałby odrębnych pomiarów emisji NO_x, CO₂ i poziomów hałasu w fazach startu i lądowania. Dopiero po uzyskaniu wyników zgodnych z limitami możliwe byłoby wydanie *Supplemental Type Certificate* (STC) dla zmodyfikowanej wersji A330neo z nowym silnikiem [23].

Z punktu widzenia Airbusa oznaczałoby to ogromne ryzyko czasowe i finansowe. Proces pełnej recertyfikacji strukturalno-napędowej mógłby potrwać od dwóch do pięciu lat, wymagałby tysięcy godzin testów naziemnych i lotnych oraz ponownej kwalifikacji komponentów dostarczanych przez podwykonawców. Dodatkowo, konieczne byłoby uzgodnienie nowego programu testowego i dokumentacji technicznej zarówno z EASA, jak i FAA, co mogłoby znacząco opóźnić wejście samolotu na rynek i podważyć jego konkurencyjność względem Boeinga 787 [24].

Z tych powodów Airbus zdecydował się utrzymać certyfikację w ramach tzw. *derivative model certification*, która pozwala na wprowadzenie istotnych ulepszeń (nowe silniki, skrzydła, awionika) bez konieczności uzyskiwania zupełnie nowego certyfikatu typu. Dzięki temu A330neo mógł zostać dopuszczony do eksploatacji jako zmodernizowany wariant istniejącej konstrukcji A330, co pozwoliło ograniczyć koszty i przyspieszyć wdrożenie programu przy zachowaniu pełnej zgodności z normami bezpieczeństwa [4].

Wnioski

Analiza techniczna, ekonomiczna i certyfikacyjna przeprowadzona w niniejszej pracy jednoznacznie wskazuje, że decyzja Airbusa o zastosowaniu silników Rolls-Royce Trent 7000 zamiast Trent XWB w programie A330neo była rozwiązaniem racjonalnym i uzasadnionym z wielu względów. Choć na pierwszy rzut oka silniki Trent XWB, stosowane w nowoczesnym A350, mogły wydawać się atrakcyjną alternatywą ze względu na wyższą sprawność i większy ciąg, ich wykorzystanie w konstrukcji A330neo byłoby technicznie problematyczne, ekonomicznie nieopłacalne oraz logistycznie skomplikowane.

Konstrukcyjnie – pod względem masy, średnicy i charakterystyki pracy – silnik Trent XWB znacząco różni się od Trent 7000. Jego zastosowanie wymagałoby głębokiej ingerencji w strukturę płatowca, w tym przeprojektowania skrzydeł, pylonu, gondoli oraz podwozia. Taka ingerencja wiązałaby się z koniecznością pełnej recertyfikacji samolotu, obejmującej nowe testy aerodynamiczne, strukturalne i eksploatacyjne, a tym samym z wydłużeniem harmonogramu programu o kilka lat i wzrostem kosztów o setki milionów euro. Z punktu widzenia inżynierskiego, integracja tak dużego silnika z konstrukcją A330 byłaby bliska projektowaniu nowego samolotu, co przeczyłoby idei modernizacji typu w ramach tzw. *New Engine Option*.

Z ekonomicznego punktu widzenia Airbus dążył do zachowania wyraźnej różnicy między A330neo a A350, zarówno pod względem ceny zakupu, jak i docelowego rynku operacyjnego. A330neo miał stanowić bardziej przystępną finansowo alternatywę dla linii lotniczych, oferując nowoczesne rozwiązania technologiczne przy niższych kosztach eksploatacji. Zastosowanie Trent XWB mogłoby zatrzeć tę granicę, prowadząc do kanibalizacji wewnętrznej – sytuacji, w której dwa produkty tego samego producenta rywalizują ze sobą w tym samym segmencie rynkowym. Utrzymanie Trent 7000, jako jednostki pośredniej między Trent 700 a Trent XWB, pozwoliło Airbusowi utrzymać logiczną i zróżnicowaną ofertę dla przewoźników.

Od strony certyfikacyjnej i organizacyjnej, wprowadzenie Trent XWB oznaczałoby konieczność rozpoczęcia praktycznie nowego programu testowego pod nadzorem EASA i FAA. Zmiana klasy traktacji oraz profilu pracy silnika wymagałaby ponownych badań w zakresie bezpieczeństwa strukturalnego, integracji układów paliwowych i hydraulicznych oraz zgodności środowiskowej (hałas, emisje spalin). Proces ten nie tylko znacząco wydłużyłby czas wprowadzenia samolotu

na rynek, ale też stanowiłby istotne ryzyko w kontekście certyfikacji międzynarodowej. Zastosowanie procedury *derivative model certification* w przypadku Trent 7000 pozwoliło uniknąć tych trudności i skrócić cały cykl rozwojowy.

Nie mniej istotne były względy logistyczne i przemysłowe. Rolls-Royce dysponował już rozwiniętym łańcuchem dostaw i zapleczem produkcyjnym dla silników Trent 1000, na bazie których powstał Trent 7000. Umożliwiło to szybsze wdrożenie, obniżenie kosztów jednostkowych i utrzymanie spójności serwisowej w ramach istniejących programów napędowych. W przypadku Trent XWB konieczne byłoby stworzenie nowej infrastruktury produkcyjnej i serwisowej, co znacząco zwiększyłoby zarówno koszty wytwarzania, jak i eksploatacji.

Bibliografia:

- [1] Airbus. (2015). *A330 Family – incremental development for a versatile widebody (FAST special edition)*. Airbus S.A.S. <https://aircraft.airbus.com/sites/g/files/jlcbta126/files/2021-11/Airbus-FAST-special-edition-Oct2015.pdf>.
- [2] Rolls-Royce. (2016). *The Rolls-Royce Trent 7000 engine* [product factsheet]. Rolls-Royce plc. <https://www.rolls-royce.com/~media/Files/R/Rolls-Royce/documents/civil-aerospace/engine-data-sheets/trent-7000.pdf>.
- [3] Airbus. (2021). *A350 Aircraft Characteristics – Airport and Maintenance Planning*. Airbus S.A.S. <https://aircraft.airbus.com/sites/g/files/jlcbta126/files/2021-07/AC-A350.pdf>.
- [4] Kaminski-Morrow, D. (2019, February 19). *The flight test of Airbus's refreshed widebody – the A330neo*. FlightGlobal. <https://www.flightglobal.com/aircraft/the-flight-test-of-airbuss-refreshed-widebody-the-a330neo/131729.article>.
- [5] Airbus. (2024, September 11). *A330neo: Advanced to future proof your widebody fleet*. Airbus.com – Case studies. <https://aircraft.airbus.com/en/aircraft/a330/a330neo>.
- [6] Rolls-Royce. (2016). *Trent 7000 – facts and figures* [data sheet]. Rolls-Royce plc. <https://www.rolls-royce.com/products-and-services/civil-aerospace/airlines/trent-7000.aspx>.
- [7] European Union Aviation Safety Agency. (2024). *Type-Certificate Data Sheet EASA.A.004 – Airbus A330 (incl. A330-841/-941 with Trent 7000 engines)*. EASA. <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/type-certificates/easaa004>.
- [8] Rolls-Royce. (2023). *Trent XWB – value through innovation*. Rolls-Royce plc. <https://www.rolls-royce.com/media/our-stories/discover/2023/trent-xwb-value-through-innovation.aspx>.
- [9] European Union Aviation Safety Agency. (2019). *Type-Certificate Data Sheet E.111 – Rolls-Royce Trent XWB series engines*. EASA. <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/type-certificates/e111>.
- [10] Airbus. (2025, July 15). *A350 Aircraft Characteristics – Airport and Maintenance Planning (AC_A350_20250715)*. Airbus S.A.S. https://aircraft.airbus.com/sites/g/files/jlcbta126/files/2025-07/AC_A350.pdf.
- [11] Norris, G. (2009, March 6). *R-R details Trent XWB development strategy*. FlightGlobal. <https://www.flightglobal.com/rr-details-trent-xwb-development-strategy/85647.article>.
- [12] Aircraft Commerce. (2019). *The in-service performance of the Trent XWB*. Aircraft Commerce, 127, 32–40.

- [13] Rolls-Royce. (2019, January 29). *Intelligent Engine Health Monitoring*. Rolls-Royce plc. <https://www.rolls-royce.com/media/our-stories/insights/2019/intelligent-engine-health-monitoring.aspx>.
- [14] Airbus. (2024, April 1). *Airbus A330: Facts & Figures – April 2024*. Airbus S.A.S. <https://aircraft.airbus.com/sites/g/files/jlcbta126/files/2024-04/Airbus-A330-Facts-and-Figures.pdf>.
- [15] Federal Aviation Administration. (2024). *AC 25.901-1 – Safety Assessment of Powerplant Installations*. FAA Advisory Circular. https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/AC_25.901-1.pdf.
- [16] Fehrm, B. (2014, January 12). *The case for an A330neo*. Leeham News. <https://leehamnews.com/2014/01/12/the-case-for-an-a330neo/>.
- [17] Fehrm, B. (2014, July 15). *Airbus A330-800 and -900neo, first analysis part 2: Engines and maintenance costs*. Leeham News. <https://leehamnews.com/2014/07/15/airbus-a330-800-and-900neo-first-analysis-part-2/>.
- [18] Rolls-Royce. (2024). *Time on Wing webinar – Trent 7000, Trent 1000, Trent XWB* [presentation]. Rolls-Royce plc. <https://www.rolls-royce.com/media/our-stories/discover/2024/time-on-wing-webinar.aspx>.
- [19] Wendt, F. T. (2016). *Supply chain strategies in aerospace industry: Case studies of Airbus A350 XWB and Boeing 787 Dreamliner* (Master's thesis). HAW Hamburg. <https://reposit.haw-hamburg.de/handle/20.500.12738/1546>.
- [20] European Union Aviation Safety Agency. (2023). *Commission Regulation (EU) No 748/2012 – Part 21 (consolidated version)*. EASA. <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/regulations/commission-regulation-eu-no-7482012>.
- [21] Federal Aviation Administration. (2024). *AC 25.901-1 – Safety Assessment of Powerplant Installations*. FAA. https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/AC_25.901-1.pdf.
- [22] Airbus. (2018, September 26). *Airbus A330-900 receives EASA Type Certification*. Airbus.com – Press release. <https://www.airbus.com/en/newsroom/press-releases/2018-09-airbus-a330-900-receives-easa-type-certification>.
- [23] ICAO. (2023). *Annex 16 – Environmental Protection, Volumes I & II*. International Civil Aviation Organization. <https://store.icao.int/en/annex-16-environmental-protection>.
- [24] Federal Aviation Administration. (2024, August 27). *System Safety Assessments; Final rule*. Federal Register. <https://www.federalregister.gov/documents/2024/08/27/system-safety-assessments>.