

# PRZEGLĄD TECHNICZNY



GAZETA INŻYNIERSKA

Z A Ł O Ż O N Y W 1 8 6 6 r .

**Oddychać  
zdrowo**

**Sięganie  
po chmurę**

**Groza  
przyszłości**

**Zmagania  
z NFZ-em**

**Laur Innowacyjności  
2019**

# Proponowane metody optymalizacji organizacji bezpiecznej pracy w procesach montażowych w przemyśle lotniczym

## Proposed methods of optimization of safe work organization in assembly processes in the aviation industry

**mgr inż. Artur Bociąg**

Główny Specjalista ds. BHP i Ochrony Środowiska. Wytwórnia Sprzętu Komunikacyjnego PZL Świdnik

**dr inż. Mariusz Dąbrowski**

Główny Specjalista Badawczo-Techniczny. Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

**Streszczenie:** Procesy montażowe, w których stosuje się technologie nitowania, klejenia lub zgrzewania są niezwykle istotną, ze względów technologicznych i jakościowych, i odpowiedzialną częścią produkcji statków powietrznych. Realizacja tych procesów powoduje charakterystyczne, wręcz typowe dla tego przemysłu, zagrożenia, dla pracowników, zwłaszcza zagrożenia mechaniczne, hałas i drgania a także znaczne uciążliwości wynikające z niewygodnej pozycji ciała i utrudnionego dostępu do miejsc łączenia, czy też narażenia na czynniki chemiczne ze względu na zastosowanie substancji chemicznych służących do zapewnienia szczelności połączeń.

W artykule omówiono typowe wypadki oraz zagrożenia i uciążliwości występujące w procesach łączenia stosowanych w przemyśle lotniczym. Omówiono proponowane metody optymalizacji organizacji bezpiecznej pracy w procesach montażowych określone na podstawie prowadzonych badań.

**Słowa kluczowe:** przemysł lotniczy, łączenie materiałów, bezpieczeństwo pracy, zagrożenia, problemy ergonomiczne

**Abstract:** Processes of joining aircraft structures and materials, which apply riveting, adhesive bonding or thermal welding are very important, for technological and qualitative reasons, part of aircraft production. Realization of these processes produces specific (typical for this industry) hazards for workers. The most important among them are mechanical hazards, noise and vibrations. There are also present considerable arduousnesses results from inconvenient work posture and difficult reach the access points, or exposure to chemical agents due to the use of chemicals to ensure the tightness of connections, or exposure to chemical agents due to the use of chemicals to ensure the tightness of connections.

The paper reviews typical accidents as well as hazards and arduousnesses which are present in processes of joining in aircraft industry. Proposed methods of optimization of safe work organization in assembly processes, determined on the basis of conducted research, are discussed.

**Key words:** aircraft industry, joining of materials, occupational safety, hazards, ergonomic problems

### WSTĘP

Procesy montażowe statków powietrznych, w tym łączenia struktur lotniczych należą do kluczowych w budowie samolotów i innych statków powietrznych. Istotną rolę, jaką odgrywa bezpieczeństwo i ergonomia pracy podczas realizacji tych procesów docenia nie tylko przemysł lotniczy, lecz zauważają to również inne organizacje i instytucje w Polsce. Naczelna Organizacja Techniczna zaproponowała podjęcie badań nad poprawą bezpieczeństwa pracy w lotniczych procesach łączenia materiałów metodami nitowania, klejenia oraz zgrzewania. Propozycja ta znalazła się wśród innych propozycji tematycznych zgłoszonych do Ministerstwa Gospodarki przez resorty i partnerów społecznych w 2015 roku. W związku z tym Centralny

Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy zgłosił taki temat w zakresie zadań służb państwowych do IV etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” realizowanego w latach 2017-2019 i finansowanego przez Ministerstwo Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej.

Projekt ten jest obecnie realizowany przez CIOP-PIB przy współpracy czołowych przedsiębiorstw lotniczych w naszym kraju.

Ergonomia i bezpieczeństwo w procesach łączenia mają wpływ nie tylko na komfort pracy i bezpieczeństwo pracowników uczestniczących w tych procesach, lecz również przekładają się na niezawodność budowanych statków powietrznych [1], gdyż w złych lub uciążliwych warunkach pracy może pojawić się więcej błędów i wadliwie wykonanych połączeń.

W procesach montażowych w przemyśle lotniczym stanowiących istotną część produkcji, decydującą o trwałości i wytrzymałości konstrukcji lotniczej, a w konsekwencji o bezpieczeństwie podróży i załogi wykorzystuje się m.in. technologie nitowania, klejenia, zgrzewania, hermetyzacji między pakietowej, lutowania twardego i spawania [2, 3 i 4]. W procesach tych konieczne jest też transportowanie elementów wielkogabarytowych oraz wykonywanie wielu prac na wysokości oraz w ciasnych przestrzeniach wewnątrz montowanych statków powietrznych.

Warunki pracy, występujące zagrożenia i problemy natury ergonomicznej są oczywiście dobrze rozpoznane, lecz cały czas w przedsiębiorstwach lotniczych dąży się do optymalizacji tych procesów oraz do zmniejszania ryzyka zawodowego przez działania techniczne, takie jak automatyzacja procesów, wprowadzanie nowych technologii, maszyn i urządzeń, stosowanie zaawansowanych technicznie środków ochrony indywidualnej, a także przez działania organizacyjne jak np. specjalistyczne szkolenia, ćwiczenia gimnastyczne, systematyczne badania lekarskie itp. Przemysł lotniczy, zwłaszcza faza montażu struktur lotniczych, jest technologicznie wymagający i specyficzny, stąd też rozwiązania organizacji pracy i jej optymalizacji mogą się różnić od tych, które znajdziemy w innych gałęziach przemysłu, np. w przemyśle motoryzacyjnym ukierunkowanym na wielkoseryjność. W przemyśle lotniczym produkcja oparta jest o krótkie serie o większej różnorodności, – przez co rozwiązania dotyczące optymalizacji takie jak automatyzacja procesów (np. zgrzewania lub nitowania) jest w porównaniu z przemysłem motoryzacyjnym bardziej utrudniona, ze względu na rentowność takich przedsięwzięć, – więc zazwyczaj są one wprowadzane w ograniczonym zakresie. Dlatego bardzo ważne jest odpowiednie poznanie procesu produkcyjnego i uciążliwości z nim związanych na etapie jego projektowania, aby rozplanować odpowiednio stanowisko pracy, pomoce techniczne oraz zaplanować optymalnie organizację pracy z jednoczesną redukcją narażenia i uciążliwości, które się z nimi wiążą

Celem artykułu jest przybliżenie występujących w procesach montażowych realizowanych w przemyśle lotniczym problemów ergonomicznych i dla bezpieczeństwa pracy oraz przedstawienie wybranych działań podjętych w ramach realizowanego projektu w celu optymalizacji organizacji bezpiecznej pracy w tych procesach.

## METODYKA BADAŃ

Poszczególne etapy projektu nie byłyby możliwe do zrealizowania bez ścisłej współpracy między CIOP-PIB i wiodącymi przedsiębiorstwami przemysłu lotniczego.

Przeprowadzono między innymi kilka spotkań technicznych w przedsiębiorstwach przemysłu lotniczego, których pierwszym etapem celem była inwentaryzacja procesów montażowych tj. określenie:

- rodzajów operacji i prac występujących w procesach łączenia materiałów w przemyśle lotniczym a także
- stosowanych technologii i wyposażenia produkcyjnego.

W trakcie wizyt zebrano informacje na temat występujących przy montażu statków powietrznych:

- zdarzeń wypadkowych i istotnych zagrożeń dla zdrowia pracowników oraz
- sygnalizowanych przez przedstawicieli przemysłu problemów ergonomicznych.

Zapoznano się również ze stosowanymi w praktyce przemysłowej technicznymi i organizacyjnymi metodami ograniczania ryzyka zawodowego, związanego z istotnymi zagrożeniami podczas wykonywania

tych prac. W rezultacie tych wizyt oraz na podstawie zebranych materiałów i udostępnionych danych opracowano:

- zalecenia dla poszczególnych, wcześniej zidentyfikowanych blisko 30 prac występujących w procesach łączenia materiałów stosowanych w zakładach lotniczych produkujących statki powietrzne, obejmujące wymagania dla pracowników, wyposażenia i obsługi

Następnym etapem było opracowanie innych materiałów dedykowanych uczestnikom procesów montażowych w przemyśle lotniczym, a zwłaszcza pracownikom służb BHP, technologom oraz pracownikom nadzorującym procesy produkcyjne. Przy realizacji niektórych działań zostali zaangażowani pracownicy z kilku zakładów instytutu, będący ekspertami w dziedzinach obejmujących zidentyfikowane w pierwszym etapie zadania najistotniejsze problemy dla bezpieczeństwa i higieny pracy występujące przy realizacji procesów łączenia materiałów w przemyśle lotniczym.

Wykonano również pogłębione obserwacje realizowanych w przemyśle lotniczym procesów łączenia oraz pomiary hałasu in situ w jednym z zakładów.

Rezultatem tych działań było opracowanie:

- wytycznych dotyczących ochrony przed występującymi w procesach montażowych istotnymi zagrożeniami zawodowymi oraz
- list kontrolnych, jako narzędzi umożliwiających przeprowadzanie sprawdzenia obszarów produkcyjnych zakładów lotniczych, w których realizowane są procesy montażowe oraz identyfikowanie niezgodności i wykrywanie tzw. „słabych punktów”.

Wszystkie powyższe opracowania zostały następnie zweryfikowane z udziałem specjalistów z zakładów lotniczych, przy czym uwzględniono ograniczenia wynikające z konieczności ochrony m.in. „know how” poszczególnych zakładów i ich umów z kontrahentami.

Realizowanym obecnie etapem prac jest opracowanie aplikacji mobilnej dla ww. grup pracowników w zakładach lotniczych, umożliwiającej im szybki dostęp i korzystanie z narzędzi wspierających bezpieczną i ergonomiczną organizację procesów montażowych, a więc opracowanych zaleceń, wytycznych oraz list kontrolnych. Narzędzia te, zwłaszcza w postaci aplikacji mobilnej będą mogły znacząco przyczynić się do optymalizacji bezpiecznej organizacji pracy i ograniczenia ryzyka zawodowego w procesach montażowych w przemyśle lotniczym.

## WYNIKI PRAC

### WYPADKI W PRZEMYŚLE LOTNICZYM

Na podstawie danych zebranych przez GUS [5] można wywnioskować, że wypadkowość w przemyśle lotniczym w ostatnich latach systematycznie malała. Można także określić czynności robocze, przy których często dochodziło do wypadków. Były to zwłaszcza czynności związane z przemieszczaniem się pracowników, operowaniem narzędziami i przedmiotami oraz transportem. Szczegółowy udział poszczególnych czynności wykonywanych przez poszkodowanych w wypadkach przedstawiono na rys. 1.

Udostępnione przez jedno z dużych przedsiębiorstw lotniczych opisy zdarzeń wypadkowych z ostatnich 5 lat, wskazują m.in., przy jakich operacjach najczęściej dochodziło do wypadków (patrz rys.2).

Największy udział mają wypadki podczas operacji wiercenia otworów pod nity. Do urazów dochodziło najczęściej wskutek zgniecenia lub zmiążdżenia, przewiercenia, przekucia, skałeczenia, uderzenia lub zaproszenia oczu. W trakcie prowadzonej analizy opisów wypadków stwierdzono również, że w wielu przypadkach przyczyniły się do nich znacząco przeszkody i nierówności na drogach transportowych oraz trudności przy porozumiewaniu się podczas prac wykonywanych zespołowo.

*Ciąg dalszy na str. 18*

## ZAGROŻENIA PRZY MONTAŻU STATKÓW LOTNICZYCH

Na podstawie dostępnych wyników pomiarów środowiskowych na stanowiskach pracy, wypadkowości oraz sygnalizowanych przez pracowników problemów zdrowotnych i uciążliwości stwierdzono, że do istotnych zagrożeń występujących w procesach montażu statków powietrznych należą hałas i drgania, a także zagrożenia mechaniczne, chemiczne i biomechaniczne [6].

**Hałas** występujący przy nitowaniu udarowym elementów konstrukcji statków powietrznych jest szczególnie uciążliwy. Narażeni na hałas są zwłaszcza uczestniczący w tym procesie pracownicy, z których jeden obsługuje młotek, a drugi trzyma podtrzymkę. Źródłami hałasu są też maszyny stacjonarne oraz ręczne, jak np. pneumatyczne wiertarki używane do wiercenia otworów pod nity oraz szlifierki oscylacyjne używane w zakładach lotniczych.

**Drgania mechaniczne** występują zwłaszcza podczas wiercenia otworów montażowych oraz ręcznego nitowania lotniczych elementów konstrukcyjnych z wykorzystaniem młotków pneumatycznych i podtrzymek. Drgania mechaniczne mogą negatywnie wpływać, wywołując zaburzenia w organizmie, zwłaszcza w układach naczyniowym, nerwowym i kostno-stawowym, a przy długotrwałej ekspozycji doprowadzając w nich do trwałych, nieodwracalnych zmian

chorobowych. Zespół tych zmian chorobowych, tzw. zespół wibracyjny, jest zaliczany do chorób zawodowych.

**Zagrożenia mechaniczne** w przemyśle lotniczym stanowią główną przyczynę wypadków, których skutkiem są różnego rodzaju urazy. Źródłami zagrożeń mechanicznych w tych procesach jest przede wszystkim używany sprzęt roboczy i wyposażenie pracy oraz stosowane materiały. Do wypadków powodowanych czynnikami mechanicznymi dochodzi również podczas wykonywania prac na wysokości zaliczanych do szczególnie niebezpiecznych oraz prac wykonywanych zespołowo. W tym ostatnim przypadku, wynika to z problemów z porozumiewaniem się oraz koordynacją działań w zespole realizującym dane zadanie.

**Zagrożenia chemiczne** oddziaływaniem substancji chemicznych i ich mieszanin mogących stwarzać zagrożenie dla zdrowia pracowników występują zwłaszcza w procesach klejenia oraz przy hermetyzacji połączeń, oraz np. podczas mycia elementów kadłubów statków powietrznych oraz odtłuszczania oczyszczonych elementów przed przyklejeniem uszczelek w rozpuszczalnikach (benzyna ekstrakcyjna, aceton). W technologiach klejenia i laminowania stosowane są żywice epoksydowe i utwardzacze.

Wszystkie wymienione wyżej substancje są to przede wszystkim substancje o działaniu drażniącym i uczulającym na skórę i oczy.

**Zagrożenia biomechaniczne** w procesach montażowych wynikają z obciążenia statycznego oraz wymuszonych pozycji ciała zwłaszcza podczas wiercenia i nitowania. Wiele prac uciążliwych dla pracowników polega na żmudnych, powtarzanych wielokrotnie czynnościach wykonywanych w stałej często niewygodnej pozycji, wymagających jednocześnie precyzji i skupienia uwagi, a często także koordynacji między współpracownikami. Mogą to być prace wykonywane w belce ogonowej i innych ciasnych przestrzeniach statków powietrznych, a także z podestów lub bezpośrednio na zewnątrz kadłubów.

Do typowych należą prace wykonywane przez pracowników w pozycji: stojącej, siedzącej, leżącej na plecach, oraz w pozycji kucznej lub klęczącej (rys.3). Prace wykonywane w pozycji kucznej lub klęczącej należą do najbardziej uciążliwych i są przez pracowników nielubiane, uznawane za męczące i powodujące drętwienie kończyn dolnych. Jednak również w innych pozycjach pracownicy uskarżają się np. na bóle kręgosłupa lub na konieczność operowania uniesionymi do góry i obciążonymi narzędziami rękoma.

## NARZĘDZIA WSPIERAJĄCE PROCESY MONTAŻOWE

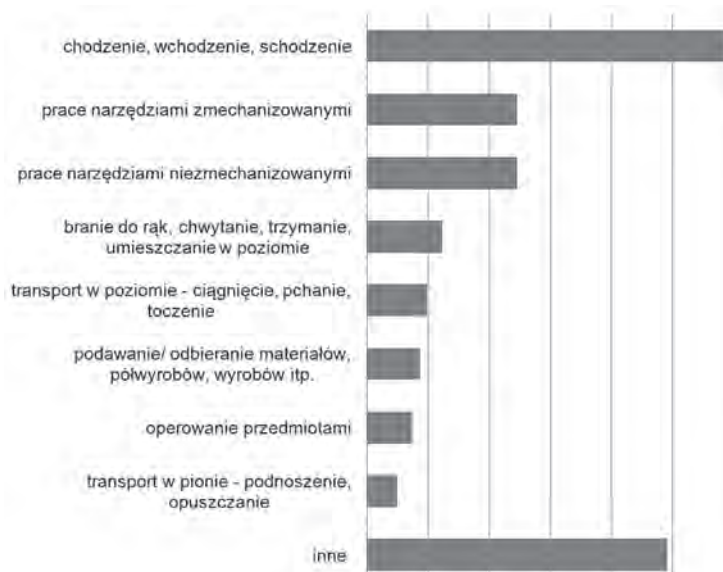
Zestaw narzędzi wspierających procesy montażowe w przemyśle lotniczym, który został opracowany w ramach projektu składa się z:

- wytycznych bezpiecznej organizacji pracy w procesach łączenia materiałów uwzględniających istotne zagrożenia występujące w tych procesach,
- zaleceń ograniczania ryzyka zawodowego w procesach łączenia materiałów z wykorzystaniem technologii nitowania, zgrzewania oraz klejenia, a także
- list do kontroli warunków bezpieczeństwa pracy podczas montażu statków powietrznych.

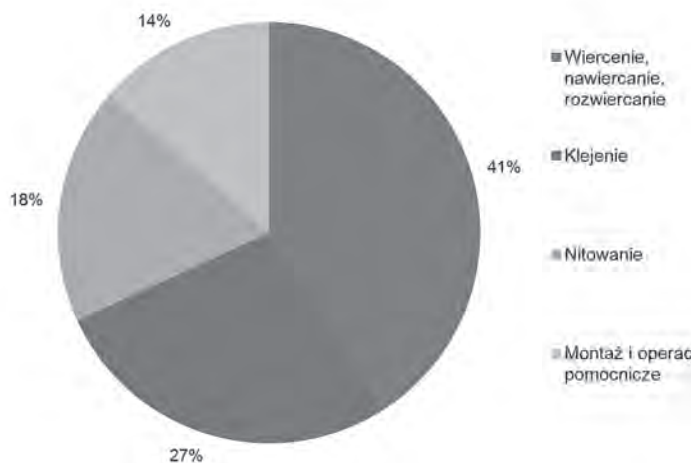
Opracowane **wytyczne** obejmują wymienione wcześniej istotne zagrożenia występujące w procesach montażu samolotów i innych statków powietrznych.

Omówiono w nich źródła tych zagrożeń w procesach montażowych w przemyśle lotniczym i charakterystykę szkodliwego oddziaływania poszczególnych zagrożeń na człowieka, a także potencjalne konsekwencje tego oddziaływania.

Wymieniono prace i czynności robocze w procesach łączenia materiałów w przemyśle lotniczym o zwiększonym ryzyku zawodowym ze względu na ww. zagrożenia.



Rys. 1. Czynności wykonywane przez poszkodowanych przy montażu statków powietrznych. Udział procentowy (opracowanie własne na podstawie [5])



Rys. 2. Rodzaj operacji w procesach łączenia, podczas których doszło do wypadku. Udział procentowy

Dla każdego z istotnych zagrożeń omówiono stosowane lub możliwe do zastosowania techniczne oraz organizacyjne metody prewencji.

**Zalecenia** opracowano po przeprowadzeniu analizy przebiegu procesów montażowych realizowanych w zakładach lotniczych celem wyodrębnienia wykonywanych podczas nich prac i czynności oraz określenia występujących przy tych pracach zagrożeń [7].

W odniesieniu do każdej z tych prac sformułowano zalecenia ujęte w postaci zwięzłych wymagań, nakazów i zakazów odnoszących się do osób wykonujących dane prace, stosowanego sprzętu i wyposażenia roboczego oraz metod prawidłowego postępowania podczas realizacji tych prac.

Uzupełnieniem zestawu opracowanych narzędzi są **listy kontrolne**. Listy kontrolne sprawdziły się niejednokrotnie w odniesieniu do różnych zagadnień oraz stopnia ich szczegółowości w różnych gałęziach gospodarki, jako doskonałe i proste w użyciu narzędzie do oceny bezpieczeństwa procesu, inspekcji stanowiska pracy lub identyfikowania braków i niezgodności w sprawdzanym obszarze.

Zaproponowano trzy niezależne listy kontrolne, przeznaczone dla: technologów procesu, pracowników nadzoru produkcji oraz dla służb BHP w zakładach lotniczych. Na każde z pytań możliwe są odpowiedzi: tak, nie lub nie dotyczy. Pytania sformułowano w taki sposób, aby odpowiedź „tak” oznaczała spełnienie wymagań bezpieczeństwa.

#### APLIKACJA MOBILNA

Propozycja optymalizacji organizacji bezpiecznej pracy w procesach montażu statków powietrznych z wykorzystaniem opracowanego zestawu narzędzi wspierających procesy montażowe w postaci dedykowanej w tym celu aplikacji mobilnej spotkała się z dużym zainteresowaniem i została bardzo dobrze przyjęta przez przedstawicieli zakładów lotniczych uczestniczących w realizowanym projekcie.

Na wstępie opracowane zostały ogólne założenia techniczne do nowotworzonej aplikacji mobilnej, z których najistotniejsze to, że aplikacja:

- powinna być przeznaczona do wykorzystania za pomocą komputera lub urządzeń mobilnych (tabletów, telefonów komórkowych) pracujących pod kontrolą aktualnie stosowanych najbardziej popularnych systemów operacyjnych,
- będzie mogła być zainstalowana na serwerze przedsiębiorstwa lotniczego, aby pracownicy mogli korzystać z niej za pomocą urządzeń mobilnych (przez sieć lokalną WiFi, Intranet lub Internet),



Rys. 3. Przykład uciążliwych prac montażowych wykonywanych w pozycji kucznej

- będzie umożliwiać przedsiębiorstwu lotniczemu modyfikację wymagań, np. przez uzupełnienie o własne instrukcje, czy standardy. Dzięki takiemu rozwiązaniu:

- zainstalowana na serwerze aplikacja będzie umożliwiała korygowanie i aktualizowanie (przez upoważnionego pracownika) zawartości, tj. dopisywanie, usuwanie treści, zmianę zapisów, dodawanie ilustracji, a
- pracownicy korzystający z aplikacji za pomocą urządzeń mobilnych będą mieli zawsze aktualną jej wersję.

Szczegółowe założenia techniczne objęły zawartość merytoryczną aplikacji, schemat jej działania oraz niezbędne funkcjonalności, takie jak możliwość:

- wyboru poziomu uprawnień dostępu do aplikacji
- edytowania tekstu i wprowadzania zmian
- archiwizowania wyników
- wklejania plików w PDF, graficznych i filmowych
- wydruku wyników

Założenia te objęły również dążenie do maksymalnej intuicyjności przy obsłudze oraz zapewnienie czytelności aplikacji nawet na niewielkim ekranie telefonu komórkowego.

Na obecnym etapie powstała już wersja prototypowa aplikacji, aktualnie testowana w zakładach lotniczych. Pierwsze sygnały od potencjalnych użytkowników aplikacji są obiecujące. Zgłaszane uwagi są na bieżąco analizowane i jeżeli jest to możliwe i uzasadnione, wprowadzane są korekty do aplikacji. Finalna wersja aplikacji powinna powstać do końca bieżącego roku.

#### PODSUMOWANIE

Współpraca specjalistów z przedsiębiorstw przemysłu lotniczego i Centralnego Instytutu Ochrony Pracy – Państwowego Instytutu Badawczego w ramach realizowanego projektu zaowocowała opracowaniem zestawu narzędzi, w postaci wytycznych bezpiecznej organizacji pracy, zaleceń ograniczania ryzyka zawodowego i list do kontroli warunków bezpieczeństwa pracy w procesach montażu statków powietrznych, wspierających prace służb BHP, technologów i pracowników nadzoru produkcji w ich codziennych obowiązkach. Rozproszone w różnych instrukcjach, opracowaniach i dokumentach wewnętrzzakładowych materiały oraz informacje dotyczące zasad bezpieczeństwa pracy przy montażu statków powietrznych zostały zebrane i uporządkowane w tym zestawie narzędzi.

Aplikacja mobilna zawierająca opracowane narzędzia niewątpliwie umożliwi jej użytkownikom bezpośredni i szybki dostęp do aktualnych danych niezbędnych do prawidłowej realizacji procesów montażowych w zakładach lotniczych. Duża elastyczność aplikacji, umożliwiająca m.in. modyfikację i aktualizację zawartych w niej treści oraz dodawanie materiałów graficznych i filmowych stwarza użytkownikom dogodne warunki do udoskonalania i dostosowywania aplikacji do własnych potrzeb.

#### LITERATURA

- [1]. Bagiński A, J. Zurek., 2008. *Problemy bezpieczeństwa w lotnictwie*, Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych. Journal of KONBiN 3(6)
- [2]. Dunkerton S.B., C. Vlattas. 1998. *Joining of aerospace materials – an overview*, International Journal of Materials and Product Technology, 13:105-121
- [3]. Mały leksykon techniczny. *Technologia mechaniczna*. Wydanie drugie poprawione i uzupełnione. 1988. WNT, Warszawa
- [4]. Bielawski R. 2017. Łączenie kompozytowych elementów konstrukcji lotniczych, *Fastener*, 2:26-30
- [5]. Elektroniczna baza danych o wypadkach 2005 – 2014. GUS, Warszawa
- [6]. PN-EN ISO 12100: 2012 *Bezpieczeństwo maszyn. Ogólne zasady projektowania. Ocena ryzyka i zmniejszanie ryzyka*
- [7]. M. Dąbrowski, *Bezpieczeństwo pracy i ergonomia podczas łączenia elementów statków powietrznych*, *Bezpieczeństwo Pracy* 2019, 4, s.18-21

*Publikacja opracowana na podstawie wyników IV etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2017-2019 w zakresie zadań służb państwowych przez Ministerstwo Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.*