

**Brno University of Technology
Faculty of mechanical engineering
Institute of Aerospace engineering**

University of Žilina
Faculty of Operation and Economics of Transport and Communications
Air Transport Department

Czech Technical University in Prague
Faculty of Transportation Sciences
Department of Air Transport



Conference proceeding

New Trends in Civil Aviation 2018

8. November 2018

Brno

**PROCEEDINGS OF THE 20TH INTERNATIONAL KONFERENCE ON NEW TRENDS IN
CIVIL AVIATION 2018 (NTCA 2018), BRNO, CZECH REPUBLIC, 8 NOVEMBER 2018**

New Trends in Civil Aviation 2018

Editors:

Ing. **Miroslav Šplíchal**, Ph.D. & Ing. **Jiří Chlebek**, Ph.D

Brno University of Technology, Czech Republic

Preface

This publication contains papers which were presented at the 20th Conference „New Trends in Civil Aviation 2018“, held in Brno, Czech Republic, November 8, 2018.

The main mission of the NTCA conference is to provide a platform for interaction between communities interested in aviation developments and application. The conference serves both practitioners and academics, providing a space for sharing experiences from civil aviation in these main areas:

Aircraft operation

- Transport industry legislative of EU
- air navigation services
- security in aviation
- maintenance

Aircraft design

- Design of engines
- Aircraft systems

Human factors and Pilot training

Scientific Programme Committee

Chairmen: doc. Ing. Jaroslav Juračka, Ph.D.

Members:

doc. Ing. Slavomír Vosecký, CSc.

Ing. Jiří Chlebek, Ph.D.

Ing. Miroslav Šplíchal, Ph.D.

doc. Ing. Jaroslav Juračka, Ph.D.

doc. Ing. Jakub Kraus, Ph.D.

doc. Ing. Peter Vittek, Ph.D.

doc. Ing. Bc. Jakub Hospodka, Ph.D.

doc. Ing. Jidřich Ploch, Ph.D.

doc. Ing. Martin Bugaj, PhD.

doc. Ing. Branislav Kandra, PhD.

doc. Ing. Benedikt Badánik, PhD.

doc. Ing. JUDr. Alena Novák Sedláčková, PhD.

doc. Ing. Anna Tomová, PhD.

Secretary: Radka Hliněnská

All papers in these proceedings were subject to peer review.

These scientific proceedings are an output of the project of the Ministry of Education, Science, Research and Sport of the Slovak KEGA 011ŽU-4/2018 „New technologies and best practices in education in the Air Transport and Professional Pilots“.

CONTENT

APPLICATION OF PROGNOSTIC METHODS IN AIR TRANSPORT	5
INTERNATIONAL STANDARDIZATION IN TRANSPORT	11
AUTONOMOUS MEANS OF TRANSPORT	15
COMMERCIALISATION OF AIR NAVIGATION SERVICE PROVIDERS AS AN ISSUE OF DEFINITION	19
DETECTION AND TRACKING OF UNMANNED AERIAL SYSTEMS FROM THE ATM POINT OF VIEW	23
IMPACT OF UNMANNED AERIAL VEHICLES ON THE AVIATION SAFETY	27
LETECKÝ DEN NA MEZINÁRODNÍM LETIŠTI A BEZPEČNOST	31
HODNOTENIE ZÁŤAŽE PILOTOV S VYUŽITÍM PROGRESÍVNYCH TECHNOLOGIÍ	36
DECLARED TRAINING ORGANISATIONS (DTO)	42
MONITOROVANIE PARAMETROV LIETADLOVÝCH POHONNÝCH SYSTÉMOV	46
THE CONCEPT OF SMALL EXPERIMENTAL SHAFT-LESS TURBOFAN ENGINE	50
CHAMBERS OF LABYRINTH SEALS OF TURBINE ENGINE	54
DIAGNOSTIC SYSTEMS USED IN INSPECTION OF THE AIRCRAFT CONSTRUCTION	57
VYUŽITIE GNSS V LETECKÝCH PRÁČACH.....	64

APPLICATION OF PROGNOSTIC METHODS IN AIR TRANSPORT

Assoc Prof. Ing. Helena Bínová, Ph.D.

Department of Air Transport, CTU in Prague, Faculty of Transportation Sciences, Czech Republic
binova@fd.cvut.cz

Ing. Vladimír MRÁČEK

Department of Air Transport, CTU in Prague, Faculty of Transportation Sciences, Czech Republic
mracev11@fd.cvut.cz

Abstract – The aim is to determine a forecast of a future development of air freight transport using selected prognostic methods. Development of air transport is an interesting and important topic nowadays. Its intensity is growing especially between Asia and Europe. Asia, more precisely The People's Republic of China, exports products to the entire world as a dominant major trading partner. It is important to identify all effecting factors for development of any mode of transport, including air transport, that may cause growth or decline of transport such as global financial crisis, social impacts, GDP development and geographical conditions. Possibility of using different prognostic methods for Asia-Europe route is discussed in this contribution. Results of relevant prognosis are presented in this contribution for comparison.

Key words – air transport, prognosis, prognostic method, development, influence.

Introduction

Air freight transport is an important tool for transport of goods, especially at this time, when huge amount of goods is transported on long routes from Asia to North America and from Asia to Europe. The route from Asia to Europe was chosen for this contribution. If we are talking about European market, then The People's Republic of China is the major business partner from Asia, because products from China dominate in Europe.

This contribution contains an overview of development in air freight transport especially between Europe and Asia. A conclusion includes an evaluation of future development prognosis using different prognostic methods.

Kinds of Transported Goods

Goods flow along countries is determined by size of export and import between each two countries. A value of export and import is an important macroeconomic indicator. From a long-term point of view, export and import should be balanced. [1]

There are six main groups of different kinds of goods in direction from Europe to Asia transported by air transport, which cover 60% of all goods transported by air transport in this direction:

- Electrical equipment and machinery (22,2 %),
- Computers and accessories (9,5 %),
- Means of transport and their parts (4,8 %),
- Documents and small consignments (8,5 %),
- Perishable goods (11,3 %),
- Clothes (3,7 %).

The remaining share belongs to other kinds of goods. [2]

ASIA – EUROPE DIRECTION

There are four main groups of different kinds of goods in direction from Asia to Europe transported by air transport, which cover 81% of all goods transported by air transport in this direction:

- Electrical equipment and machinery (24,8 %),
- Computers and accessories (27,8 %),
- Documents and small consignments (14,7 %),
- Clothes (14,1 %).

The remaining share belongs to other kinds of goods. [2]

The largest Asian exporter of goods worldwide is China at present. [3]

Development of Air Transport between Europe and Asia

Development of air freight transport between Europe and Asia is influenced by many factors, which characterize these regions. Development between these regions is different in some areas:

- An amount of goods transported, where transport in the Asia-Europe direction predominates,
- Different impact of world events in relation to air transport,
- Different development after world events in relation to air transport,
- An increasing trend in the volume of cargo transported.

EUROPE

Figure 1 shows development of transported cargo by European airlines between 1992 and 2015. The graph shows, that an average annual growth rate (AAGR) was 7.3% in the period from 1992 to 2000 due to deregulation and growth of economies of European countries. A slowdown occurred during an Asian currency crisis and along rising of oil prices.

Development of air freight transport is slower from 2000 due to events such as the terrorist attack on the World Trade Center (WTC) in 2001, which had noticeable and long lasting impact on European carriers than on Asian carriers. [4, 5]

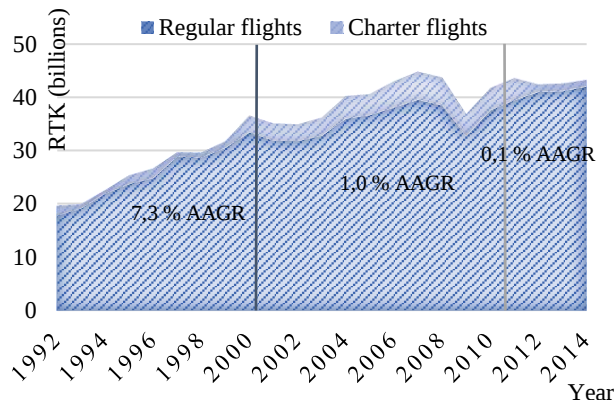


Figure 1 – Development of transported goods by European carriers (Source: Authors using data from Boeing, [6])

ASIA

Figure 2 shows development of transported goods by Asian airlines between 1992 and 2015. The graph shows, that an average annual growth rate (AAGR) was 9.6% in the period from 1992 to 2000 due to market liberalization as a result of deregulation and thanks to growth of economies of European countries. A slowdown occurred during an Asian currency crisis and along rising of oil prices.

This follows a different development in Asia from the European continent. The development of air freight transport in Asia was more affected by Asia's currency crisis than it was in Europe. [5]

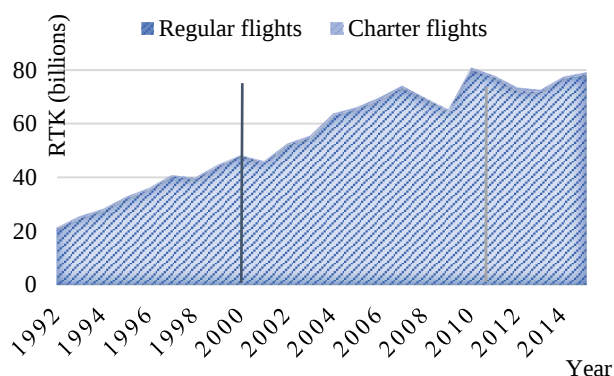


Figure 2 - Development of transported goods by Asian carriers (Source: Authors using data from Boeing, [6])

Between 2000 and 2010, development of air freight transport was similar to the previous period. Different is frequency of events that reduced a volume of air transport in Asia.

Comparing an impact of the terrorist attack on the World Trade Center (WTC) in 2001, a comparable decline in air transport in Europe and in Asia can be observed.

Figure 3 shows development of transported goods between Europe and Asia. A share of freight transport between Europe and Asia in tonne-kilometers has a value of around 20% of the total freight transport worldwide. Economic development of these two continents was important. As a result of growing national economies on the European as well as on the Asian continent and deregulation of air transport, there was an increase in air freight transport in the period from 1996 to 2000 in amount of 220%. [2]

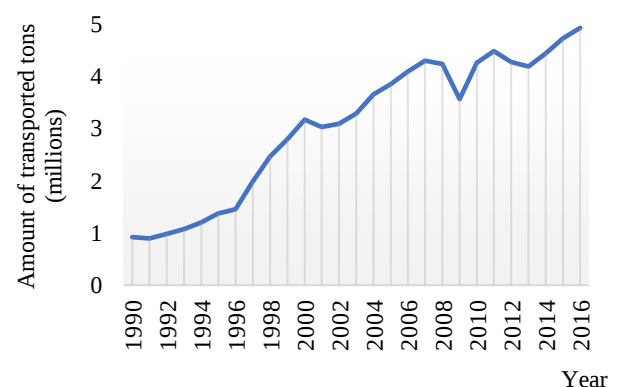


Figure 3 – Development of transported goods between Europe and Asia (Source: Authors using data from Boeing, [6])

Figure 4 illustrates development of transported goods according to directions. It is clear from the figure, that volume of transport on the Asia - Europe route significantly exceeds volume of transport in direction of Europe - Asia, in some cases up to two times.

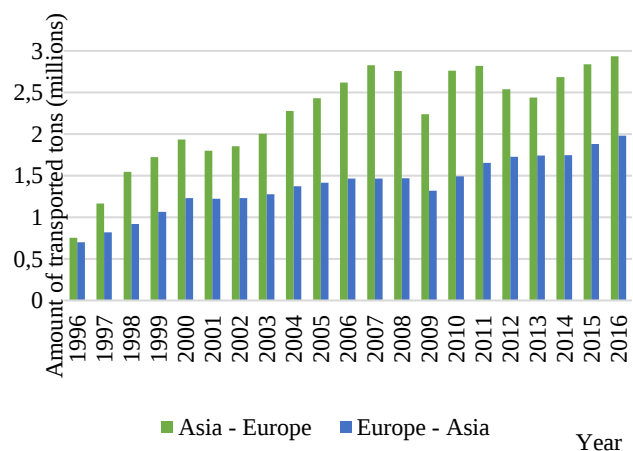


Figure 4 – Development of transported goods according to directions (Source: Authors using data from Boeing, [6])

Air Transport and Need of Connection to Other Transport Modes

Air transport, due to its specific characteristics, needs to be linked to other modes of transport, so that cargo can be transported to a final destination. A state of transport infrastructure is therefore one important aspect for development of air transport. The main features of state of transport infrastructure are speed, capacity, reliability, safety and environmental impact of each mode of transport. Interconnection between air and rail transport, air and road transport, air and water transport is possible, if it's operationally efficient, technically feasible and economically sustainable. [7]

Road transport is often used in connection with air transport, especially for short distances. Rail transport can be used for long distances, if it's directly connected to an airport. Combination of different modes of transport can be used to transport goods from door-to-door. [7]

The main advantages of air transport are as follows:

- Speed of transport,
- Accessibility of difficult to reach or inaccessible areas,
- Transport on long distances,
- Safety, low risk of goods destruction.

Prognosis of Air Freight Transport Development between Europe and Asia

Prognostic Method

A prognosis is a forecast of future events and conditions under which these events can happen. Targets for prognosis are a complex assessment, a time horizon of development and probability of assigned variants.

Prognostic methods are different and their use have to be considered with respect to specific requirements of a particular prognosis. Historical data needs to be analyzed to required extent. Use of these prognoses is important for large companies, where this tool provides a source of information of future likely development. [8]

Quantitative methods are based on application of mathematical statistics. A prediction according to this method depends on a character of a time line based on a historical data analysis. It isn't entirely possible to exclude a change in a predicted time line, because of unpredictability of crisis events that affect a change in character of a given curve. Other methods are data extrapolation based on a time lines analysis, or method using a regression (correlation) analysis based on a relationships between individual indicators. [9]

Qualitative methods are based on a gradual approach of issues in order to get a certain knowledge. Unlike to the previous methods, intuitive thinking and expert practices are used based on industry-specific experience. An advantage is an identification of the most probable solutions and exclusion of less likely variants. Recently, a scenario method is used more and more, when a prognosis of future development is based on real-life scenarios.

For long-term prognoses, a combination of qualitative and quantitative methods is appropriate. [9]

Both prognostic methods, i.e. data extrapolation and a scenario method, are used for a prognosis of future development of air freight transport between Europe and Asia. Data extrapolation is used for evaluation of known data and for a subsequent prognosis for a future. The scenario method is used for possibilities, which it offers. The current development of air transport isn't defined by a constant growth, but it's influenced by events that can be used in the scenario method. Both of these prognostic methods can complement each other.

Prognosis of Data Extrapolation

This procedure is applied for air freight transport between Europe and Asia:

- Creation of a data file,
- Analysis,
- Regression line estimate and regression function calculation,
- Trend calculation outside a data scope,
- A conclusion based on a trend.

A prerequisite for determining of future development is a fact, that an amount of transported goods between Europe and Asia correspond to transported goods according to each direction.

21 historical values from the period between 1996 and 2016 were used to create a data file about development at that time. An analysis of this data is used for further processing.

It's necessary to find a suitable curve, which matches best a progress of air freight transport up to now for an estimation of a regression line and calculation of a regression function. It's possible to think of a predominant trend of exponential and linear curves. However, with a regard to length of a period under review, it's possible to assume a trend change during development. If curves are matched by development, a dependence of values can be determined using confidence coefficient R^2 . The more this coefficient approaches a value of one, the more development is dependent on the trend.

A conditionality of data on a linear trend for the direction from Europe to Asia can be determined according to the confidence coefficient R^2 . This reliability represents 92% dependence of historical data on the linear trend. Although the confidence value depending on the linear trend is relatively high, an exponential character of development can be considered. When development is matched by the exponential curve, 87% of dependence is reached. This signals relatively high reliability of the given trend. [9, 10]

A dependence of values on any trend isn't clear for the direction from Asia to Europe. Only the financial crisis between 2007 and 2009 had more significant impact on this development. Although this trend is characterized by a higher confidence level, namely 86%, use of the exponential trend can be considered. A relation of historical values and exponential

function is given by 82% reliability, which results in a similar dependence as for the linear trend.

In a view of the fact that a volume of transported goods between the continents is still increasing and economic power of the People's Republic of China (PRC) is increasing as well, the exponential trend is considered in both directions. A regression function of an estimated exponential trend can be expressed in a form according to the following formula:

$$y = ae^{bx} \quad (1)$$

where:

a average value of data in the reference period

bannual average increase in the reference period

Resulting equations of each exponential trend are shown in following Figures 5 and 6.

Found equations of regression functions can be used for a calculation of a trend outside the data file. A calculation of future development values is possible using the exponential trend function with defined parameters (a , b). When a required year is set as x parameter in the exponential function, an estimated value of transported goods can be determined. The result is data, which corresponds to the exponential trend, but they are only estimated with a relatively high inaccuracy. A reliability of predictions can be expressed by the confidence coefficient R^2 . [9,10]

A resulting progression of an expected future development in the direction from Europe to Asia is shown in Figure 5. Probability of correct determination of future development in the intended direction is given by dependence of values on the exponential trend, expressed by the coefficient R^2 .

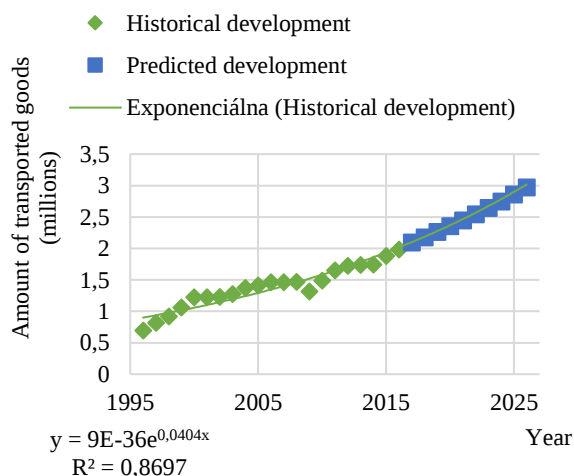


Figure 5 – Prognosis of development between Europe and Asia (Source: [10])

A prognosis of air freight transport in the direction from Asia to Europe is shown on Figure 6. The resulting exponential trend is determined by a constant growth coefficient with an annual increase of 3.61%. Future development is calculated from a modified data file in order to suppress fluctuations during development.

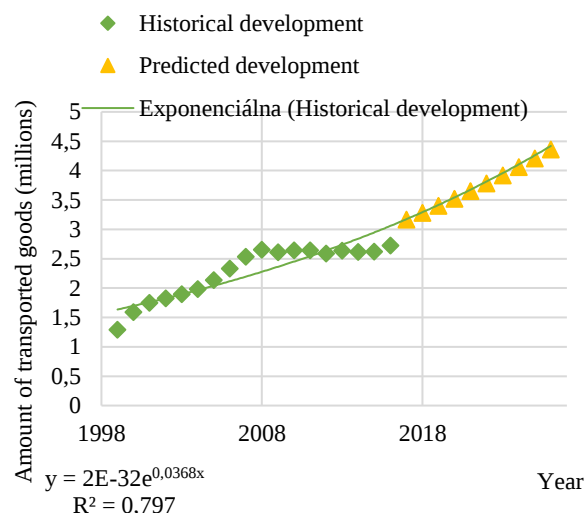


Figure 6 – Prognosis of development between Asia and Europe (Source: [10])

Continuing development of air freight transport can be expected in the next period based on a trend conclusion. Due to the prognostic technique used, it isn't possible to deduce. A conclusion can be formulated for the entire period of prognosis, but not for each year separately. An important parameter for a long-term prognosis is a compound annual growth rate (CAGR), which reflects a growth rate in a forecast period. Determination of this measure depends on starting and final values and a length of the reference period as shown by the following formula. Assuming an existence of an exponential trend, a rate of growth for the period from 2016 to 2026 can be determined for each direction.

$$CAGR = \sqrt[n]{\frac{\text{initial value}}{\text{final value}}} - 1 \quad (2)$$

CAGR of 4,1% can be achieved for transport of goods in the direction from Europe to Asia in the considered period. In the opposite direction from Asia to Europe is the growth of 4.8% of CAGR due to a sliding average method used, which has a rather significant effect on the growth rate. There is a rather significant increase in transported cargo between 2016 and 2017. The increase is 5.4% for the direction from Europe to Asia and 14% for the direction from Asia to Europe. The forecast of such large growth between 2016 and 2017 can't be directly verified with an amount of transported goods between the continents due to unavailability of data. This estimate can be only compared with already published world-wide quantities of transported goods. [10, 11]

The calculated CAGR annual growth values are confronted with a prognosis published by Airbus. There is CAGR percentage in the prognosis for the period between 2016 and 2026, which is the same period for which data extrapolation was performed. An expected growth based on Airbus data and the data extrapolation already processed, is shown in Table 1 below. The prognosis of Airbus between the contiguous continents is divided into two transport flows. Transport flow between Europe and developing countries of

Asia (like China, Malaysia, Thailand, Vietnam) and between Europe and developed Asian countries (like Japan, Hong Kong, Singapore, Taiwan).

It can be assumed, that an annual growth rate estimate for Asian region will tend to grow more favourably with developing countries. Based on this fact, we can assume from 3.9% to 4.2% of CAGR for both directions. [10, 11]

As can be seen from Table 1, growth predicted on a basis of the exponential trend corresponds to real forecasts, especially in the Europe-Asia direction. Based on the elaborated extrapolation, a continuing growth in air freight transport can be expected for the period from 2016 to 2026. This growth can be estimated as slightly faster in the direction from Asia to Europe, which also follows the forecast of Airbus. By 2026, we can expect up to 60% growth of transported goods between the continents. [10, 11]

Table 1 – Prognosis of Air Freight Transport (Source: [10, 11])

Transport Flow	2016 - 2026 CAGR
Europe – Asia (Exponential trend)	4,13 %
Europe – Asia (Developed countries)	3,33 %
Europe – Asia (Developing countries)	4,27 %
Asia – Europe (Exponential trend)	4,82 %
Asia – Europe (Developed countries)	3,45 %
Asia – Europe (Developing countries)	4,28 %

Prognosis by Scenario Method

Air transport is influenced by many factors that need to be assessed using the scenarios method. When using the scenario method, it's necessary to define events that may affect future development. The issue is an interpretation of various events, that may occur under certain conditions. [9]

There are historical events in context presented in Figure 7 for clarity. These events influenced development of air freight transport between Europe and Asia. Of these, only the global financial crisis, that affected air transport between 2008 and 2009, can be labelled as critical. It's possible to argue, if a similar effect on air transport didn't have the terrorist attack in 2001, because this event needs to be viewed globally and not just on the designated Europe-Asia route. Before this event, economies of developed countries were characterized by a great growth. It was a long phase, after which there had to be a slowdown.

For this reason, the terrorist attack can be considered as a peak, which caused a more pronounced decline in air freight transport. [12] Similar characteristics can be found during the Eurozone crisis (a debt crisis). As a common feature, we can identify a economic instability of different countries on different levels. In view of this fact, it is necessary to create scenarios, that are defined by economic stability of Asian and European countries. The aim is to create such scenarios, that would be crucial and probable for a further

development of air freight transport between the contemplated continents.

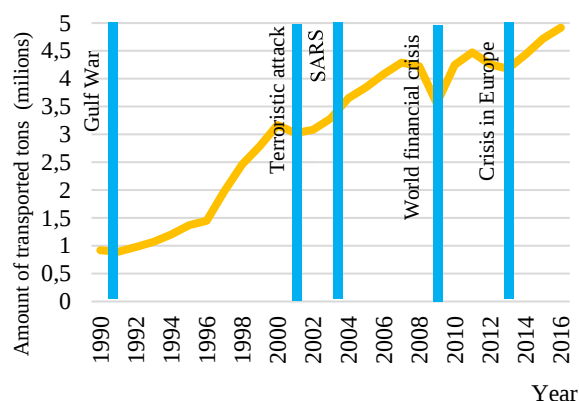


Figure 7 - Significant events during development of air freight transport (Source: [6, 10])

According to some sources, Chinese economy shows the similar signs to US economy before an outbreak of the financial crisis. [13] In view of current knowledge, whether transport or economic, it isn't possible to predict a scenario of air freight development in a context of a possible economic crisis in China.

It is possible to assess a scenario of development of freight air transport on European continent. At the time of the Eurozone crisis (2011-2013), we saw how unstable economy of EU member countries using almost one currency can be.

Conclusion

Air freight transport between Europe and Asia shows an increasing volume of goods. Asia is currently the main producer of products, that are transported all over the world, to Europe inclusive.

Prognoses processing using prognostic methods is important for companies linked with air transport like product producers and furthermore for economic development of a country. The impact of critical events in the world on air transport development, including the Europe-Asia route, is described in this contribution. Air freight traffic is sensitive to crisis events. An exception is an event known as SARS, which caused a noticeable increase of transported goods.

Data extrapolation and scenario method was used as prognostic methods. Data extrapolation was compared with the prognosis issued by Airbus.

References

- [1] MANAGEMENTMANIA. Import (v ekonomice). *ManagementMania.com* [online]. [vid. 2018-03-19]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/import-v-ekonomice>.
- [2] World Air Cargo Forecast [online]. B.m.: Boeing. 2016. Dostupné z: <http://www.boeing.com/resources/boeingdotcom/commercial/aboutour-market/cargo->

market-detail-
wacf/downloadreport/assets/pdfs/wacf.pdf.

- [3] *China: Trade Statistics* [online]. [vid. 2018-03-19]. Dostupné z: <https://globaleledge.msu.edu/countries/china/tradestats>
- [4] *Jet Fuel - Monthly Price (Euro per Gallon) - Commodity Prices - Price Charts, Data, and News - IndexMundi* [online]. [vid. 2018-03-31]. Dostupné z: <https://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=jet-fuel&months=180¤cy=eur>
- [5] Rodrigue, J.P., Comtois, C., Slack, B. *The geography of transport systems*. 4th edition. London ; New York: Routledge, Taylor & Francis Group, 2017. ISBN 978-1-138-66956-7.
- [6] *Boeing: Freighters* [online]. [vid. 2018-02-08]. Dostupné z: <http://www.boeing.com/commercial/freighters/#/design-highlights/747-8/cargo-arrangements/>
- [7] Bína, L., Bínová, H., Ploch, J., Žihla, Z. *Provozování letecké dopravy a logistika*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2014. ISBN 978-80-7204-855-7.
- [8] Kutscherauer, A. *Regionální ekonomická analýza a prognóza* [online]. 2004 [vid. 2018-04-20]. Dostupné z: http://www.alkut.cz/rap_html/reap00.htm#kap2
- [9] Žihla, Z. *Provozování podniků letecké dopravy a letišť*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2010. ISBN 978-80-7204-677-5.
- [10] Hejzlar, T. Vývoj a prognóza letecké nákladní dopravy mezi Evropou a Asií, FD ČVUT, 2018, vedoucí práce doc. Bínová.
- [11] Oxley, D. *Air Freight Market Analysis*. 2018, 4
- [12] Daněk, O. *Nákladní letecká doprava*. B.m., 2012. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta.
- [13] *Long-Term-Asset-Return-Study-The-Next-Financial-Crisis-db.pdf* [online]. [vid. 2018-05-07]. Dostupné z: <http://www.tramuntalegria.com/wp-content/uploads/2017/09/Long-Term-Asset-Return-Study-The-Next-Financial-Crisis-db.pdf>

INTERNATIONAL STANDARDIZATION IN TRANSPORT

Ing. Martin Kašpar

Department of Air Transport, Faculty of Transportation Sciences, Czech Technical University in Prague,
Horská 3, 128 03, Prague, Czech Republic
Email: kaspam16@fd.cvut.cz

Abstract – This article deals with transport sectors that are significant in our geographical areas. It focuses mainly on the aspect of international cooperation and the resulting need for standardization. This article describes the development of air, road and rail transport with a focus on the formation and development of international cooperation, and the necessary unification of conditions. At the end, it summarizes and outlines the steps needed for the future development.

Key words – international, transport, cooperation, standardization, aviation, railway, road

Introduction

One of the main conditions of life is movement. There is no life without moving. Movement is going on inside the living organisms to ensure functionality. The movement is also going on to obtain food, for getting a better place in the sun, etc. The more complicated organic structures, the more movement must be ensured for their survival. This scheme also fits the human evolution. Mankind has promoted moving to traffic and has been using it more and more with progressive development. People make transport more complex and more dependent on it. As a result, people overcome borders and many taboos. Transport requirements are rising in line with human development. Progress in transport is helping to develop humanity.

Already at the beginning of the development of human civilization there was trade, the necessary condition of which was transportation. Military campaigns, conquest of more and more new territories also require transport. Humankind has transport in its genes. Life can't exist without moving. Human society can't exist without transport. People first started to use the power of animals in their favor, later significantly increased the efficiency of the traffic through the invention of the wheel. Human society at a higher level of development has begun to adapt the environment to make transport simpler, faster, and more reliable. Rome, during its existence, created tens of thousands of kilometers of hardened roads, as it was a necessary condition of its existence, as evidenced by a password: „Via est vis - via est vita“, or: „road is power - road is life“. In modern times, especially during the industrial revolution, new technologies emerged. Once again, they have made it possible to accelerate and streamline transport. This allowed traffic to be carried out at greater distances and at higher intensity. Railroad, steam engine, combustion engine, heavier flying machine, jet engine, these

are some of the major inventions that have significantly affected traffic.

development of modern transport disciplines

Modern transport has been divided into several separate sectors. They develop to a certain extent independently, to some extent hand in hand with other modes of transport and the overall development of society. This work focuses mainly on air transport and other transport sectors most important within the Czech Republic. It is about road and rail transport.

The actual global society requires transport in an international space. Therefore, it is necessary to ensure the standardization and usability of means of transport and operating systems. A human society, focusing on efficiency, performance and maximization of utility, predicts these features even in terms of traffic used. Operation must be rapid, least disturbed due to outages or accidental effects and maximum reliability. If a transport industry develops too differently between countries, it would nowadays, more than ever, be destined to become bankrupt, to extinction as it would not allow international operations. Virtually all transport systems must therefore ensure international operability. Deficiencies in this area bring a loss of customers in favor of competing modes of transport.

Rail transport

Rail transport began to develop in the 19th century. The first beginnings of the development of the railway took place within the sovereign state. Great Britain was a pioneer in railway development. The first functional locomotive was put into operation in 1804 by Richard Trevithick. It is interesting to note that one of the impulses for the development of steam propulsion was the increase in feed for horses as a result of Napoleonic wars. The first international railway line was opened in 1843 from Liege to Cologne. Already in 1870, an international conference on timetables was held for the first time, defining the times for passenger trains, in particular for cross-border operations, as well as international trains and connections with domestic services. 1882 is the year when the technical unification of railway vehicles began to be defined for the first time. The following two conferences (1886, 1907) laid down further unified conditions, which are still largely used today.

A necessary condition for easy international interoperability is the same track gauge. In most developed parts of the world, it is used the so-called normal track gauge which is 1435mm. This dimension dates back to ancient Rome. There are opinions that even the ancient Romans have just

taken it from older civilizations. It was designed to use carriage with 2 horses and the cars were easy to control at this width. This dimension was very advantageous. After the end of Rome, this dimension has been used for centuries to maintain its existence, although there was no authority to do so or to demand. Since the first railway vehicle was derived from wagons and carriages, this track gauge was established. Although railways originated separately in the beginning, in most European countries, this track gauge is used. It has expanded, among other things, thanks to the export activities of a British locomotive manufacturer. The disadvantage of a united single gauge has been attributed in the past to the possibility that, in the case of military aggression, an attacker can easily use the railroad to his advantage. This was the main reason why, for example, Russia uses a different track gauge. In Europe, cooperative interests prevailed over military and defense interests, allowing a gradual international, though limited, development.

Except track gauge, it is necessary to ensure international co-operation so that vehicles can be safely and, if possible, easily combined. In the early days of the railroad, the vehicles were chained together, gradually a unified system with bumpers and couplings was developed. Connecting vehicles with couplings is now a very old method, which is introduced uniformly in many countries. However, it is a system that requires much manual work when connecting and dismantling vehicles, which is also very dangerous. It is usually necessary to move between wagons, and it brings a high risk of injury, including fatalities. Today there are automatic couplings that allow a higher degree of automation and higher security. However, there has never been a consensus on their universal introduction in European countries.

The International Union of Railways (UIC) was established in 1922 (in French Union Internationale des Chemins de fer – UIC). This organization aims to "establish a permanent railway administration with a focus on international transport for the standardization and improvement of railway construction and traffic conditions". It is therefore about creating conditions so that member states can cooperate and international traffic is possible without complications and barriers. Since then, international standardization has taken place under the auspices of this organization. In 1937, the UIC was defined as an international gauge cross-section area. It is a space above the track, which must remain free for safe driving. Vehicles including cargo must enter this area and its international action allows, without specific organizational measures and the danger of crossing the borders of neighboring countries. In the 1960s and 1970s under the auspices of UIC, internationally used codes for data transmission were defined by information systems.

The railways were established as a unitary organization. This is basically a model where one company owns the infrastructure and uses it. Railways in most countries originated as private companies and later were usually taken over by the state. International cooperation focused in particular on standardization, on the facilitation of the transit of cars between businesses and on similar aspects. The usual regime was based on the exchange of locomotives at the border

crossings, with the cars continuing with cargo. Particularly in passenger transport, a model was adopted, when locomotives were going abroad, usually reciprocally in different sections, only personnel changed. However, this operation means delays and, thus, a worse position over competing modes of transport.

In the 1990s, conditions for increasing rail competitiveness were recommended, similarly to the deregulation rules in air transport. It was recommended to separate the railway infrastructure manager and allow it to be used by several carriers for a fee. New competing companies have emerged that exploit the possibilities to operate their trains on the territory of several states, many of which have been previously strictly national transport companies are also operating on the territory of neighboring countries. However, this model is complicated by technical infrastructure constraints. It is common for different countries to use different train security systems, despite some degree of standardization. Systems had similar behaviors, similar to functional principles, but they transmitted the signal signs in a different historical way. For example, in the former Austria-Hungarian countries it is possible to see similar, already outdated, signal transfer systems from the time of the original track construction, while the newer systems are already different. In countries outside the former Austria - Hungary, the signaling systems are, of course, even more different. Also traffic regulations for the operation of the lines were made on the national principle and vary considerably. For example, the original Czechoslovak Railways regulations, after the splitting of Czechoslovakia, started to move away from each other, and now the Czech and Slovak regulations are similar, but they are already very different. In Europe, the introduction of a uniform train management system is currently being promoted. The ERTMS, or the European Rail Traffic Management System, should gradually replace many national systems to allow trains in different countries to operate without further action. This would practically eliminate the time and organizational barrier to the crossing of national borders.

Road transport

Road transport began to develop intensively later than rail. In fact, the invention and development of the rail has slowed the development of future cars. The first vehicle, which can be regarded as the predecessor of the car, was equipped with steam propulsion and was developed already in 1769 in France. However, actual cars could only be produced after the invention of a functional combustion engine. In 1885 patents were granted to the first cars of Daimler and Benz. This can be considered the beginning of modern automobile. The development of traffic was so fierce and intense that in England, the first traffic signs were used in 1903. In the same year, Henry Ford began production with large-scale production that greatly reduced and made available to the general public.

In 1906, the PIARC World Road Association was founded in Paris. The original English name "Permanent International Association of Road Congresses", abbreviated to PIARC, was changed to "World Road Association AIPCR / PIARC" in 1995. This organization addresses practically all aspects and aspects of road transport development. The need

to ensure international traffic brought about the adoption of the International Convention on the Carriage of Cars in 1909. This contract included, *inter alia*, the first traffic signs, which at that time were marked a warning table.

In Austria - Hungary, in the early days of the operation there was a practice where the countries themselves set the rules in their territory. This fragmentation was not suitable for future development. In 1908 a joint law on compulsory liability was adopted, in 1909 Austria - Hungary adopted the International Convention on the Driving of Cars. Uniform rules for the territory of the Czechoslovak Republic were modified only in 1935. A certain complication in terms of international traffic was left-hand traffic in Czechoslovakia. The issue of left-hand traffic was resolved by the coincidence after the creation of the Protectorate of Bohemia and Moravia. The German occupation administration, on the basis of previously accepted international treaties, ordered the transfer to the right-hand traffic. After the end of World War II, right-wing traffic was maintained.

All previous steps have already led to the establishment of a certain degree of unification of rules already at the beginning of road transport, which was a prerequisite for the development of international transport co-operation. The next steps are the practice of driving license recognition, vehicle homologation, etc. Economic developments in car production have led to a gradual reduction in the number of manufacturers by fusion and bankruptcy. This has resulted in the existence of a smaller number of producers with large volumes of production. As a result, there is even greater unification of production, the need to use the same cars in many countries with minimal or no modifications. It can also be considered as one of the factors supporting international traffic.

Road transport is very well adapted to the development of international traffic and definitely has no further stage in the unification of technical conditions, as is the case with rail transport. The next step is to improve the technical level of cars, reduce consumption, further strengthen security features and automate control. Recently, demands have been made for the introduction of longer driving capabilities, mainly due to the lack of drivers in the economic boom.

Air transport

Air transport is the youngest in the transport sector described here. If we commence the beginning of the road transport of the first vehicle with an internal combustion engine, the beginning of air transport is not significantly delayed. If we consider the first flight of heavier air to be the beginning of air transport, we date it at 1903. The period of World War I brought a rapid development of aviation technology. After its end, there was a need to agree on rules for international cooperation. Similarly to rail transport, an international "Aviation Convention" was concluded in 1919 which laid the foundations for the establishment of the International Commission for Air Navigation (ICAN), which can be regarded as the predecessor of today's ICAO. It was constituted in the context of the end of World War II and included a large number of airlines and countries.

With regard to the nature of air transport, it has been developed from the outset as international. Only very few countries are so large that it is beneficial to operate air transport exclusively as domestic. Shortly after the end of World War II, the electronic reservation system was used for the first time by American Airlines. This system has gradually grown into a global booking system. This is one of the steps in the development of international co-operation, though it was not originally intended. The development of jet engines in the fifties of the twentieth century allowed the extension of flight distances and flight speeds. This was another positive impact on the international aspect of air transport.

The massive development of air transport came after the introduction of liberalized rules. The US President in 1978 signed the law that started liberalization. When the positive effects of this move began to appear, other countries gradually joined. Liberalization has led to the emergence of new companies, bringing down flight prices, improving access to air transport. Thanks to liberalization, a number of low-cost airline companies could also emerge.

From the point of view of future developments, it can be said that air transport does not have a period of adaptation to international co-operation, since it is inherently linked to air force. From the point of view of technologies, the development of navigation technology, the abandonment of flying in the corridors and the free movement in space. Gradually, a greater proportion of composite materials are promoted in the construction, which results in lower production and maintenance costs, and also a reduction in the weight of the machines.

Conclusion

Humankind is totally dependent on transport. As there can be no life without movement, there can be no human society without transport. With the increasing maturity of civilization, the complexity of transport increases. It also increases its use, increasing the requirements for speed, reliability and safety. The number of passengers increases, the number of connections increases, the distance being extended. At the same time, the interdependence of countries and regions is increasing. This reduces the risk of conflict and violent resolution of disputes.

All major modes of transport have been developing internationally since their inception. This means that many technical and organizational solutions are standardized. Both air and road transport do not have significant restrictions when crossing national borders, which is their competitive advantage over rail transport.

The specificity of road transport is that users are also operators. In other words, the road user is simultaneously a person together with others ensuring traffic safety. As a result, road traffic has a higher accident rate. However, in terms of standardization of international conditions, road transport has no major problems to solve.

Rail transport has many standardized features. But it also has a significant limitation given by historical developments that have not yet been overcome. But it also has a significant limitation given by historical developments that

have not yet been overcome. To reduce this disadvantage, the single European train management system is gradually being introduced. The new system consists of a stationary part but also a mobile part which is located on the vehicles and ensures their co-operation. This will allow international traffic to be streamlined and to reduce the lead of other modes of transport. It is a prerequisite for the railways to beat or conquer their competitors.

References

- [1] PRUŠA, J. – BRANDÝSKÝ, M. – HLINOVSKÝ, L. – HORNÍK, J. – PAZOUREK, M. – SLABÝ, F. – TŘEŠŇÁK, M. – ŽEŽULA, J. – World of air transport II
- [2] Ministry of Industry and Trade of the Czech Republic – Vision of road transport in the year 2030
- [3] Official sites of UIC – <https://uic.org>
- [4] Official sites of PIARC – <http://www.piarcorp/en/>

AUTONOMOUS MEANS OF TRANSPORT

Ing. Vladimír MRÁČEK

Department of Air Transport, CTU in Prague, Faculty of Transportation Sciences, Czech Republic

E-mail: mracev11@fd.cvut.cz

Abstract – Autonomous means of transport have one of the greatest potentials for development in transport. No doubt that autonomous air transport is one of the most important new trends in civil aviation. The aim of this article is to compare current status of development of autonomous means of transport on rails, roads, in air and on water and summarize differences among all of the four main means of transport.

Key words – Means of transport; Autonomous; Rail transport; Road transport; Air transport; Water transport.

Introduction

Autonomous means of transport are means of transport, which are able to drive itself from a starting point to a predetermined destination in autopilot mode using various in-vehicle technologies and sensors, including adaptive cruise control, active steering (steer by wire), anti-lock braking systems (brake by wire), GPS navigation technology, lasers, radar and other devices depending on exact mean of transport. [6]

There are plenty of reasons to use autonomous means of transport. If we think of the Czech Republic, the unemployment rate is about 2,5%. Companies are searching for new employees to develop, but there almost aren't any free unemployed people on the market. Therefore, it makes sense to let robots and machines work, that doesn't have to be done by people and hire free people for jobs, which can't be done by robots and machines.

Another advantage of autonomous systems is, that they increase safety, if we accept an assumption, that otherwise autonomous system couldn't be put into operation. This contribution focuses mainly on development of autonomous trains, aircrafts, ships and cars, but there are other autonomous means of transport like hyperloop or underground railways, which aren't mentioned in this contribution.

Autonomous means of transport

The history of all autonomous means of transport begins the same way. The first autonomous controlled machine appeared in 1866. At that time, English engineer Robert Whitehead built the first self-propelled torpedo, which was powered by compressed air and it had a reach of 300 meters. The torpedo had a hydrostatic device, which kept the torpedo at the same depth in water after launch. [1]

Autonomous Cars

It's expected, that there will be about 10 million of data interconnected vehicles and autonomous vehicles in 2020. The Czech Republic would like to be prepared and therefore European project C-ROADS was started. This project brings higher safety of road transport in Europe and it puts foundations for using cooperation systems and automatic vehicle control including autonomous ones. Within the C-ROADS project, C-ITS systems (ITS stands for Intelligent Transport Systems) will be deployed by 2020 to Czech highways D1, D5, D11, but also in cities, to urban public transport and on railway crossings. [2]

C-ITS unit in a vehicle is a gadget, which communicate with other infrastructure units or units in surrounding vehicles. Equipped vehicles will receive safety information, information about imminent danger, information about work on a road, travel time, train of vehicles and other dangers, which C-ITS will display to a driver in a form of warning messages on an on-board information system. It's expected to integrate received messages into vehicle control systems in a future, which will automatically prevent an accident or occurrence of a dangerous event. [2]

Ministry of Transport in the Czech Republic doesn't want to miss development of autonomous vehicles, and therefore their employees initiated the first meeting of Platform for Fully Autonomous Vehicles on 28th April 2017. A goal of this meeting was to integrate and use the effort of various entities and interest groups to develop autonomous vehicles. Economy of the Czech Republic is based on the car industry, therefore Ministry of Transport would like to create the first government strategy concerning development of autonomous control of road vehicles in the Czech Republic based on the mentioned platform. [4]

There are several levels of autonomy in self-driving cars. It's useful to recognize these levels that follow zero automation:

- Level 1: Advanced driver assistance system (ADAS) aid the human driver with either steering, braking or accelerating, though not simultaneously. ADAS includes rear view cameras and features like a vibrating seat warning to alert drivers when they drift out of the travelling lane.
- Level 2: An ADAS that can steer and either brake or accelerate simultaneously while the driver remains fully aware behind the wheel and continues to act as the driver.

- Level 3: An automated driving system (ADS) can perform all driving tasks under certain circumstances, such as parking the car. In these circumstances, the human driver must be ready to re-take control and is still required to be the main driver of the vehicle.
- Level 4: An ADS is able to perform all driving tasks and monitor the driving environment in certain circumstances. In those circumstances, the ADS is reliable enough that the human driver needn't pay attention.
- Level 5: The vehicle's ADS acts as a virtual chauffeur and does all the driving in all circumstances. The human occupants are passengers and are never expected to drive the vehicle. [5]

There is an opinion, that fully autonomous vehicles won't be ever seen on roads. There are many reasons for this opinion. One of them is that governments, thanks to laws, won't let autonomous vehicles to be a part of road traffic. Even if governments let autonomous vehicles to ride roads, car makers won't probably take responsibility for their system, that their autonomous system in cars wouldn't make any mistake. The question is also, how should an autonomous car behave, if an accident is unavoidable, if autonomous car should protect car crew or to try to save a life of a pedestrian, who made a mistake and entered a road in front of the autonomous car. Therefore, likely a human driver will be probably always responsible for solving crisis situations. [3]

Autonomous Trains

Rail transport has preconditions for more or less easy start of autonomous operations, because rail vehicles follows arches easily thanks to rails unlike road vehicles, which need sophisticated systems to follow bends and these sophisticated systems aren't 100% reliable, but rails are. Another fulfilled conditions is a free transport route. Even today there shouldn't be any obstacles on railway transport route.

An automatic system of acceleration, driving and braking of trains is solved for trains. Such ATO system (Automatic Train Operation) are used on railways daily. ATO systems are able to hold an exact train speed with accuracy of 1 km/h, to reduce speed of a train to stop in front of a signal forbidding a ride or to stop in a railway station or in a railway stop with accuracy of 1 meter, to maintain the maximum speed of all vehicle in the train, maximum speed of a train according to a time table a maximum speed of track.

Some ATO systems have other useful systems like optimization of driving to come to the next railway station or to the next railway stop just in time according to time table with regard to using as little energy as possible. ATO system are based on loops around rails, magnets in the middle of tracks or on GPS system.

Even ATO systems are able to ensure many things linked with railway transportation, they can't alone ensure autonomous movement of railway vehicles. ATO is a subsystem of main system of autonomous movement of a vehicle, but ATO itself can't ensure autonomous movement, because ATO systems aren't able to find out speed restriction

given by main signals without train driver. Nowadays, railways in Europe are trying to implement ETCS (European Train Control System), which should unify all of train control systems used in Europe. ETCS from level 2 is able to hand over information about speed restrictions given by main signals to other systems in a train. ETCS knows the speed restriction particularly thanks to GSM-R (Global System for Mobile Communications – Railway). On the other hand, ETCS isn't meant and prepared to serve as an autonomous train system.

Autonomous trains are starting to become real in the real world. The first autonomous train started to be operated in Australia in west Australia on a 100 km long railway line in 2017. On the other hand, there are still drivers on each train just in case that something happens.

There are other trial tests with automatic or almost autonomous trains. One of the most famous cases is a giant mine of LKAB in Kiruna in Sweden, where lots of locomotives are run using remote control or automatic ride. Also Czech company AŽD is preparing for trial operations of autonomous trains. Therefore, this company bought a railway line from Čížkovice to Obrnice. They would like to start to run a trial autonomous train in 2020. The question is, if the legislative will be ready for running autonomous trains at that time. An amendment of a relevant law was already prepared, but the amendment isn't still in validity. The Swiss are also planning to test autonomous trains in real traffic with passengers in 2020.

Autonomous Aircrafts

Increasing urbanization means the skies above our cities hold the key to fast, efficient travel in the future. One of the reasons towards greater aircraft autonomy is a rapid growth in air travel. Commercial aviation traffic is set to double in the next 15 years. By harnessing powerful computer technology and increasing levels of autonomy, flight trajectories can be optimized and multiple social and environmental benefits, such as saving fuel and reducing noise, as well as allowing for easier aircraft sharing and easing the burden on our natural resources can be reached. Autonomous systems are already in place in a number of products used for intelligence, surveillance and reconnaissance of aircrafts. Satellites and remotely piloted aircraft are able to fly alone under supervision from a ground-based operator. In case communication is lost, they can still execute certain pre-programmed actions. [10]

In many respects, modern aircraft are already automated to the degree that pilots spend a lot of time monitoring instruments while the plane flies automatically. But you'd be mistaken if you were to assume this makes them superfluous. It's true that today's aircrafts offer tools that a pilot from the 1980s could only dream about. It's also true that the world's airspace is more congested and complex than it's ever been. American, for example, requires that each plane in its fleet conduct an autopilot approach and automated landing at least once every 60 days. The policy doesn't apply to American's Boeing 737s, which operate with a different system. The aircraft flies the approach according to the path programmed into the flight management system (FMS), following all speed and altitude restrictions and optimizing the

descent. Instruments guide the aircraft to touchdown and braking. The autopilot disengages once the aircraft slows to taxi speed. These systems are typically used when visibility is extremely limited and weather is unfavorable. As a passenger, you'll probably never know when your aircraft lands itself; pilots rarely announce the occasions. This technology, which is employed with two pilots monitoring its performance, increases an airline's ability to operate in conditions in which a human would be less capable. People get to their destinations, fewer flights are canceled, and the nation's economy avoids the costs of delays. But—and this is the key point pilots make—they can intervene at any time to override the machine's decisions during the approach and landing. Airlines are afraid, that passengers will be upset, if a cockpit will be empty without any pilot. This isn't an obstacle for air cargo industry. [11]

Autonomous aircrafts are interesting topic for military. First step for autonomous aircraft was already made in past, when the military started do use UAVs (Unmanned Aerial Vehicles) with no on-board crew or passengers. The first pilotless vehicles were built during the First World War. These early models were launched by catapult or flown using radio control. During the inter-war period the development and testing of unmanned aircraft continued. In 1935 the British produced a number of radio-controlled aircraft to be used as targets for training purposes. UAVs can be automated or Remotely Piloted Vehicles (RPVs). Reconnaissance UAVs were first deployed on a large scale in the Vietnam War. Drones also began to be used in a range of new roles, such as acting as decoys in combat, launching missiles against fixed targets and dropping leaflets for psychological operations. The biggest advantage for military is killing targets without risk of loss of a human life. [8]

As unmanned aerial vehicle technology improved in the military sector, those same technological improvements could be used in the private sector. According to a Wall Street Journal report, the history of non-military drone usage began in earnest in 2006. Government agencies used them for disaster relief, border surveillance and wildfire fighting, while corporations began using drones to inspect pipelines and spray pesticides on farms. 2006 was the first year that the FAA issued a commercial drone permit. They issued an average of two of these permits a year for the next eight years. In 2015, the FAA issued 1000 drone permits, a number which more than tripled to 3100 permits in 2016 and which has continued to grow in the time since, now that the technology's growing exponentially. Commercial drones have one of the biggest potentials of autonomous aircrafts. They are starting to be used as a delivery methods, especially in large cities, where common delivery by trucks starts to be ineffective due to stay of trucks in trains of vehicles. [9]

The first autonomous helicopters came into the air. Aerospace firm Airbus successfully completed a test flight of its Vahana electric vertical take-off and landing (eVTOL) aircraft earlier this year, with the flying taxi spending 53 seconds in the air. The company hopes to create a fleet of eVTOL aircraft and position them on rooftops in major cities, enabling commuters to get around densely populated areas

where road traffic is deadlocked. If all goes to plan, a fully operational aircraft will be ready within two years. [7]

Autonomous Ships

Due to falling oil prices, fierce competition for orders and emissions from ships, the recent shipbuilding industry is promoting development of technical advantages that are safe, fuel efficient and able to cope with international regulations through preemptive research and development of eco-friendly technology and strengthening of ship design capability. Shipping companies are concentrating on enhancing the operational efficiency of ships by introducing highly economical ships as a mean of securing safe transportation and cost competitiveness. Unmanned autonomous ships should be the answer for above mentioned requirements. [12]

Recently completed research projects concluded that, from the technical and economical point of view, the implementation of autonomous cargo ships can be feasible, although some legal issues must first be resolved. Although unmanned by design, such vessels might be required to unberth and leave the harbour waters under a direct control of a 'conning crew', due to the relative complexity of such manoeuvres and port authorities' likely reluctance to accept unmanned vessels' operations in restricted waters. The vessel would therefore need to accommodate a crew of a size comparable to today's ones for a limited period of time. Such crew would need to be capable of controlling the vessel and most of her equipment in a similar way to today's. The 'conning' crew would then disembark the vessel by a launch boat or helicopter as soon as she leaves the port and it is considered safe to leave her, and leave her under the supervision of a shore-based operator. Such a person would assume an overall command and navigate the vessel from the office-like facility located ashore. Both-way communication would most likely be provided by the satellite communication link, perhaps augmented by other means of short-range data transfer, if applicable. The feasibility of such a solution has been to some extent proven in August 2017 when an Offshore Supply Vessel performed several operations in the North Sea while being remotely controlled from California. The operator would make system-level decisions based on data received from the shipborne sensors. Both data and decisions would be relayed to the vessel by a communication link and executed by actuators including thrusters and rudders. Nevertheless, certain fail-to-safe mechanisms would still be required in order to maintain system's safety should the communication link fail for any reason. [13]

The vessel would in such case be left on her own and would need to handle the situation autonomously. This might require going dead in the water or navigating to a safer area. Since the autonomous navigation mode needs to be built-in to handle such emergencies, it can also be used to a greater extent – for the whole process of navigation itself. Herein, as soon as the vessel leaves high traffic density areas, operator's attention could be directed to other unmanned ships facing more difficult conditions. The level of ship's autonomy might be increased up to the point where she would require no more attention than a periodical check. Information provided by

sensors would be analysed by highly sophisticated data fusion algorithms in order to automatically create decisions regarding virtually all aspects of navigation, cargo conditioning, machinery operations, stability and any other aspect of a vessel's operation. The human operator will retain a position of a merely passive supervisor, person in charge of strategic decision-making (i.e. general passage planning) or a trouble-shooter. It is the vessel's control algorithms that will be responsible for making operational decisions and performing routine tasks. [13]

Conclusion

There is a big potential for autonomous means of transport, when we talk about aircrafts, cars, trains or ships. Development possibilities are different for each type of means of transport, but one thing is common to all. Social aspect. Passengers are afraid to be transported without a human driver, a human train driver, a human captain or a human pilot. It's probably a question of almost no previous practice with autonomous means of transport and question of habit of using such means of transport, but some of them are used on a daily basis without any claims of passenger like automatic underground trains. There is also the mentioned social topic, how should autonomous means of transport react in case of danger of life of crew, passengers and people around autonomous means of transport.

Another topic is legislation, which isn't prepared worldwide and sometimes not at all in some countries. It's a question, if such legislation can be prepared really well, when autonomous means of transport are developing every day. Therefore, the legislation has to adapt to continuous development of autonomous means of transport, otherwise it will hinder this development.

References

- [1] Soukal, M. *Autonomní automobily. Retrospektiva, současná situace, etické aspekty autonomních vozů*, FF Masarykovy univerzity, 2016. 42 stran.
- [2] TISKOVÁ ZPRÁVA: *Evropský projekt C-ROADS Czech Republic odstartoval, položí základy pro autonomní vozidla a „chytré“ dálnice* [online]. [Cit. 2018-10-30]. Dostupné z: <http://www.czechspaceportal.cz/3-sekce/its---intelligentni-dopravni-systemy/tiskova-zprava-evropsky-projekt-c-roads-czech-republic-odstartoval-poloji-zaklady-pro-autonomni-vozidla-a-chytre-dalnice.html>
- [3] Plně autonomní vozidla na běžných silnicích možná nikdy neuvidíme, říká britský zástupce BMW [online]. [Cit. 2018-10-31]. Dostupné z: <https://www.novinky.cz/auto/476522-plne-autonomni-vozidla-na-beznych-silnicich-mozna-nikdy-neuvidime-rika-britsky-zastupce-bmw.html>
- [4] Událo se – Platforma pro plně autonomní vozidla, 28.4. 2017, Praha [online]. [Cit. 2018-11-01]. Dostupné z: <http://www.czechspaceportal.cz/3-sekce/its---intelligentni-dopravni-systemy/udalo-se---platforma-pro-plne-autonomni-vozidla-284-2017-praha.html>
- [5] Self-driving car (autonomous car or driverless car) [online]. [Cit. 2018-11-04]. Dostupné z:

<https://searchenterpriseai.techtarget.com/definition/driverless-car>

- [6] Autonomous vehicles [online]. [Cit. 2018-10-26]. Dostupné z: <https://www.gartner.com/it-glossary/autonomous-vehicles/>
- [7] Five futuristic modes of transport transforming travel [online]. [Cit. 2018-10-26]. Dostupné z: <https://www.raconteur.net/business-innovation/five-futuristic-transport-modes>
- [8] A BRIEF HISTORY OF DRONES [online]. [Cit. 2018-10-28]. Dostupné z: <https://www.iwm.org.uk/history/a-brief-history-of-drones>
- [9] The History Of Drones (Drone History Timeline From 1849 To 2018) [online]. [Cit. 2018-11-06]. Dostupné z: <https://www.dronethusiast.com/history-of-drones/>
- [10] Autonomous Skies [online]. [Cit. 2018-11-09]. Dostupné z: <https://www.airbus.com/innovation/Autonomous-skies.html>

COMMERCIALISATION OF AIR NAVIGATION SERVICE PROVIDERS AS AN ISSUE OF DEFINITION

Ing. Matúš Materna

Air transport department, University of Žilina, Slovakia
matus.materna@fpedas.uniza.sk

Abstract – Commercial interests of many air navigation service providers have been increasing for past couple of years as some of the countries had been introducing competitive drivers and legislative framework allowing liberalization of previously monopolistic national markets. Interest for the topic of commercialization has been emerging in the field of management and economic research as well. Researchers throughout the world are using term “commercialization”, but comprehensive definition of this term related to air navigation services is missing. This article analyzes various definitions of the term commercialization and provides comprehensive definition of term by using linguistic analysis method.

Key words – commercialization, air navigation service providers, ANSPs, linguistic analysis

I. Introduction

Chicago convention took place more than 70 years ago. As a result, industry with providing air navigation services became structured as a series of geographical state-based monopoly organizations. Geographically based monopoly status of individual providers and protectionist character of corresponding (local) markets caused virtually non-existing competition within individual providers on international scale.

In the period of last couple of years, there has been increasing focus on liberalization of the industry, or more precisely liberalization of individual (national) markets, mostly particular parts of them. There are strong evidences from several European countries, whose introduced competitive drivers supported by governance arrangements focused on liberalization.

United Kingdom was the pioneering country in the terms of liberating market with air navigation services (Tomová, 2017). United Kingdom introduced legislative framework for liberalization APP and TWR services at all airports, excluding London Heathrow in 1985. More than two decades later, in 2006, Germany was the second European country which introduced free competition on the market with terminal services. Germany liberalized terminal services at all regional airports in 2009. Third European country which partly established competitive drivers on the market with terminal services was Spain. APP services were liberalized at 19 airports, TWR services at 45 airports and AFIS services were available for open competition at four airports. The most

recent example from Europe is Sweden, which liberalized terminal services at all airports in 2010.

Liberalization brought new business opportunities for providers via possibility to enter another (foreign) markets, which was never possible before, due to monopolistic nature of whole industry. Opening parts of local markets for free competition did not end without reaction from air navigation providers. Many providers gradually started to claim their interest in various forms of commercial activities. Tomová (2016) made overview of public statements from several air navigation service providers regarding to their commercial interests. Examples can be found in Table 1:

Table 2 – Statements about commercial interests by several air navigation service providers. Source: (Tomová, 2016). Edited by author.

Quote	ANSP (Country)
“DFS is improving its competitiveness and is systematically expanding its commercial business . It analyses the competition and acquires new business”.	DFS (Germany)
“LFV will have a leadership function which can meet the future, has a customer focus and acts in a commercial manner . ”	LFV (Sweden):
“We are continuing to develop our commercial capabilities and placing increased emphasis on international partnerships to access new markets while minimizing commercial risk . ”.	NATS (United Kingdom):
“ANS CR will continues to strengthen and expand its commercial activities in the field of training and special consultations and will keep trying to set a footholds in new markets.”	ANS CR (Czech Republic)
“The goal of AENA air navigation to expand its business beyond Spain border became a reality in 2013 with continuing a new projects to expand its business abroad . ”	ENAI (Spain): claimed

It is obvious that process of commercialization of air navigation service providers is closely connected with process of liberalizing previously monopolistic markets. Relationship between these two industry transformation drivers described Tomová et al. (2016), where authors described on-going changes of the industry as the resultant force between liberalization of markets and changes in organization structures of various air navigation service providers related to commercial activities.

II. Linguistic analysis

Commercialization as a term is occurring in the multiple different areas of scientific interest. One of the incidences of the term commercialization can be found in the field of global media research. Term is used for processes of privatization and deregulation of various medial areas which used to be matter of public interest. Second meaning of commercialization is identified in scientific research in general, as an implementation of results from scientific research for commercial use (e.g. in medicine). Third, and most important segment for topic of commercialization of air navigation service providers is definition of the term in fields of economy and marketing, where commercialization is often used as a term for practices used for creating financial gain based on commercial principles.

Overview of definitions

Various definitions of the term commercialization from authors, organizations and dictionaries are used in linguistic analysis. All definitions of the term used in analysis can be found in the Table 2.

Table 2 – Definitions of term commercialization. Source: (Compiled by author).

Definition	Authors (Year)
<i>"Commercialization can be applying business methodology to exploit or profit."</i>	Kaylson, M. (2004)
<i>"Commercialization and is the supply chain management process that provides structure for developing and bringing to market new products jointly with customers and suppliers. Effective implementation of the process not only enables management to coordinate the efficient flow of new products across the supply chain, but also assists supply chain members with the ramp-up of manufacturing, logistics, marketing and other related activities to support the commercialization of the product."</i>	Rogers, D., S. et al. (2004)
<i>"Commercialization involves creating a suitable product with fair price in an attempt to satisfy market demand."</i>	Ghazinoori, S., R. (2005)

"Generally, commercialization can be categorized into three different layers of infrastructure, namely technical and market issues, attitudes and policies, and services. There appears to be a widely expressed belief that people's negative attitudes may impede the commercialization cycle. Experience shows that changes in scientific and technological policies of different countries have helped them make a giant leap in technology development."

Bahreini, M., A. & Shadnam, M., R. (2007)

"Commercialisation is term related to the various commercial strategies and types of activities that have been undertaken by European airports in response to external sectoral changes and highlights how the pattern and level of commercial activity varies widely."

Freathy, P. (2010)

"At implementation of innovation, the promotion of innovative products is traditionally defined as commercialization."

Iskoskov, M., O. & Dana V., Ch. (2013)

"We define commercialization as the capability of a market actor to gain other market actors' acceptance of its value propositions."

Sløk-Madsen, S., K. et al. (2017)

"Commercialization is the point where innovation products or services are accepted by the marketplace."

Lai, P., C. (2018)

"Commercialisation is the process of transforming ideas, knowledge and inventions into greater wealth for individuals, businesses and/or society at large. Commercialisation is a subset of the broader process of innovation. It is driven by market and profit motives, with firms and others seeking to gain a positive return on investment in research, licensing, product development, and marketing, including through the creation of competitive niche markets."

Australian Government (2003)

"The organization of something in a way intended to make a profit."

Cambridge dictionary

"The process of managing or running something principally for financial gain."

Oxford dictionary

“The stage in product development process where the decision to order full-scale production and launch is made.”

Business dictionary

“The various processes by which the commercial value of new discoveries and innovative ideas are developed to fruition.”

Glossary of the CQ University of Australia

Text analysis

Depending on definitions from Table 2, it is possible to make linguistic analysis based on word-count method for determining most common words throughout definitions, using text analytic tool Textalyser.

Table 3 – Most used words longer than 3 characters used in definitions. Source: (Author).

Word	Occurrences	Frequency	Rank
commercialization ¹	13	5.9%	1
product(s) ²	8	3.6%	2
process	6	2.7%	3
market	6	2.7%	3
innovation ³	5	2.3%	4
commercial	3	1.4%	5
gain	3	1.4%	5
supply	3	1.4%	5
new	3	1.4%	5
chain	3	1.4%	5
development	3	1.4%	5
management	2	0.9%	6
different	2	0.9%	6
marketing	2	0.9%	6
activities	2	0.9%	6
implementation	2	0.9%	6
policies	2	0.9%	6

Based on the word-count analysis and frequency statistics, we have created generalized comprehensive definition of the term commercialization, which is combining all available definitions from Table 2:

“Commercialization is a process of supplying commercial product(s) and activities into the new markets with implementation of innovative management and policies to create gain.”

Decomposition of new definition

It is important to acknowledge, that generalized definition was created without using any existing definition for description of commercialization of air navigation services. However, our generalized definition is fully applicable at current situation on the markets with air navigation services described in first part of this paper.

“Commercialization is a process..”

Commercialization is long term activity for air navigation service providers, that have been happening for several years (Badanik, 2015).

“..process of supplying commercial product(s) and activities..”

Commercialized air navigation service providers are supplying commercial services and products as an opposite to traditional approach. Tomová (2016) claims that traditional approach to providing air navigation services is situation where ANSPs supply services only in regulated segment at their local markets.

“..into the new markets..”

Commercialized providers entering on to new liberalized markets, which has been previously monopolistic. Those markets are open for free competition because of process of liberalization (Badanik & Červinka, 2015).

“..with implementation of innovative management and policies..”

New forms of corporate management, strategy and organizational structure are being used in order to maximize efficiency of commercial focus of ANSPs. Tomová (2018) uses NATS as an example.

“..to create gain.”

Additional revenues are main drive for commercial activities of air navigation providers, due to heavily regulated nature of their main activities (Tomová, 2015).

III. Conclusion

New generalized definition of the term “commercialization” has been created based on linguistic analysis of existing definitions. However, this definition is not fully suitable for describing commercialization in the terms of air navigation services due its overall general nature. After decomposition of generalized definition and applying its content to “real-world” situation, it is possible to adjust its form to more suitable for describing commercialization as a term used in research of air navigation service providers:

“Process of supplying commercial services and products into ANS markets, using innovative forms of management for purpose of creating additional revenues.”

¹ Merged count for “commercialization” and “commercialisation”

² Merged count for „product“ and „products“

³ Merged count for “innovation” and “innovative”

IV. Acknowledgement

This paper is an output of the project of the Ministry of Education, Science, Research and Sport of the Slovak Republic VEGA 1/0624/18 "Economic integration of european airspace as a structural and regulatory problem".

V. References

- Australian Government. 2003, Mapping Australian Science and Innovation: Main Report, page 37.
- Badánik, B.: Airlines in social media. In: Air transportation : a management perspective. - Burlington: Ashgate publishing company, 2015, - ISBN 978-1-4724-3681-8. - S. 309-326
- Badánik, B., Červinka, M.: Marketing leteckých spoločností a letísk, Bratislava : DOLIS, 2015, ISBN 978-80-8181-024-4
- Bahreini, M., A., & Shadnam, M., R. 2007. Technology commercialization: How to create value from research and development.
- Freathy, P. 2010. The commercialisation of European airports: successful strategies in a decade of turbulence J. In: Air Transp. Managazine issue 10, vol. 3), pages 191-197.
- Ghazinoori, S., R. 2005. Strategies and trends for commercialization and marketing of high technologies case study: Nanotechnology in Iran. Paper presented at the second Management of Technology Iranian Conference.
- Iskoskov, M., O. & Vyacheslavovna-Chernova, D. 2013. Methods for Commercializing the Results of the Innovation Project. In: Middle-East Journal of Scientific Research 13. ISSN 1990-9233
- Kaylson, M. 2004. Commercialization of research results in United States: An overview of federal and academic technology transfer. Swedish Institute for Growth Policy Studies, Embassy of Sweden.
- Lai, P., C. 2018. Research, Innovation and Development Strategic Planning for Intellectual Property Management. Economic Alternatives, 2018, Issue 3, pages 303-310.
- Rogers, D., S. et al. 2004. The Product Development and Commercialization Process. In: The International Journal of Logistics Management. 15, pages 43-56.
- Sløk-Madsen, S., K. et al. 2017. Commercialization in Innovation Management: Defining the Concept and a Research Agenda. In: Academy of Management Annual Meeting Proceedings.
- Tomová, A. (2015). The need for new directions in airspace economics: Seventy years after Chicago. In: Journal of Air Transport Management, vol 44-45, pages 1-7.
- Tomová, A. (2016). Are commercial revenues important to today's European air navigation service providers?. In: Journal of Air Transport Management. vol. 54, pages 80-87.
- Tomová, A. et. al, (2016). Dimenzie a varianty štruktúrálnej reformy vzdušného priestoru: komparácia prístupov v Severnej amerike a Európe. In: AeroJournal 2/2017, pages: 58-63.
- Tomová, A. (2017). Two businesses of air navigation service providers: The case study of NATS. In: Transportation Research Procedia, vol 28, pages 99-105.
- Tomová, A., et.all : Ekonomika leteckých spoločností : pravidelná osobná doprava Žilina : Žilinská univerzita, 2017, ISBN 978-80-554-1359-4

DETECTION AND TRACKING OF UNMANNED AERIAL SYSTEMS FROM THE ATM POINT OF VIEW

Bc. Martin Hájek

Department of Air Transport, Faculty of Transportation Sciences, Czech Technical University in Prague
hajekm17@fd.cvut.cz

Ing. David Hůlek

Department of Air Transport, Faculty of Transportation Sciences, Czech Technical University in Prague
hulekdav@fd.cvut.cz

Abstract – The goal of this paper is to summarize and analyse current possibilities of unmanned aerial systems detection and tracking. The paper is primarily focused on the area of the UAS and ATM. The first part of the paper is about defining the unmanned aerial systems and threats that can be done by these systems. The threats are defined from the ATM point of view. The next part is about description and analysis of the current detection systems that can be used. The detection systems are divided into an active and passive one. The active detection systems require cooperation with the UAS as a two-way signal transmission. The passive systems do not need this cooperation. The third part is about description and evaluation of a future detection systems development. This development is estimated based on the current development of the UAS detection systems and authors' expert estimates. The final part of the paper is about possibilities how to resist and eliminate the UAS. This paper is based on the bachelor's thesis that has been written by one of the authors. The thesis was approved and published in 2018.

Key words – unmanned aerial systems, UA, UAS, detection, tracking, elimination, threats.

Introduction

In these days, a topic of unmanned aerial systems (UAS) is discussed at scientific and also general groups of peoples very often. A UAS usage is growing in a civil area. The UAS will be a one part of the Smart Cities and also everyday life of civil people. A term "Unmanned Aerial System" includes Unmanned Aircraft (UA), control station and other elements needed for a flight [1]. The most developing category of the UAS are multicopters. Their rapid development is caused by simple accessibility and low costs. Other types of the UAS are airplanes, helicopters, airships, balloons and others.

From the ATM point of view, threads caused by the UAS are primarily disruptions of flight corridors that are for manned aircraft. This disruption can cause an incident or an accident. The UAS incidents and accidents can be caused by two main reasons. The first reason is a failure of any UAS part

(e.g. engine failure or connection lose). All UAS heavier than 0.91 kg (lighter in some cases) must have a fail-safe system because of this. When there is a problem, the fail-safe system lands with the UAS [1]. The second reason is a pilot's fault. This reason is more frequent. It is mostly an overestimation of pilot's abilities and skills or a flying under inconvenient meteorological conditions [2]. It is necessary to have an overview of each UAS because of these threads. The Air Navigation Services of the Czech Republic (ANS) decides to apply a UAS detection technology. This technology should monitor a UAS movement at landing corridors at the Václav Havel Airport in Prague. It is assumed that this technology starts its operation at 2019 [3].

Current Detection Systems

UAS detection and monitoring can be divided into two groups. The first one is an active detection. It means that the UAS actively cooperate and it transmits data about its position. The second one is a passive detection. This group does not transmit any data and it must be detected somehow else.

Active detection

The UAS, that transmit the data automatically, are integrated into an ATM/UTM system and they are visible for the ANS. There is a UTM system that has worked from 2018 in the Czech Republic. This system has been created by AirMap and UpVision companies. The system should facilitate a communication between ANS and UAS operators and it has advantages for both sides [4]. External GPS tracker, SSR transponder and ADS-B are used for active position transmission.

The external GPS tracker can be placed on almost every UA. It is because its small dimensions. The tracker uses the GPS system and it transmits flight information by the GMS to an operator's mobile device or directly to the UTM system. It is capable to save the data in its memory. 3D accelerometer, gyroscope, barometer and thermometer are parts of the GPS Tracker too. So the data is complex. For instance, there is a MAIA GPS tracker on the market. This tracker weighs 48 g and it has battery of 700 mAh. It can transmit for 3 hours [5].

The SSR transponders are very often used by the ANS for the manned aircraft detection. They are not very suitable for the UAS. It is because of bigger dimensions and weight and especially because of higher price. The SSR transponders are mainly used by professional and bigger UAS because of this. For instance, the German KTX2 weigh 360 g and its price is 1 900 € [6, 7].

The ADS-B system is an extension of the SSR. The extension is information about actual aircraft position. This information is determinate by onboard navigation systems [7]. The ADS-B is more compact than the SSR. It is more suitable for the UAS because of this. On the other hand, the price is very high. For instance, the Ping20Si, that is especially for the UAS, weigh only 20 g but the price is 2 700 €. It is least accessible system for amateur and also professional users [8].

Passive detection

There is a bigger interest in the passive detection because of the above described threads. The interest is primarily from the side of the ANS. It needs to protect the landing corridors. Basic passive detection systems are primary radar, spectrum monitoring, acoustic sensors and cameras with thermal imaging [9].

Primary Surveillance Radar (PSR) is radar type that is used for the aircraft detection. It uses aircraft radar cross section. The electromagnetic wave send by the PSR reflects from its cross section [7]. The classic PSR cannot be used for the UAS detection because of its small dimensions, low flight height and flying between buildings. The special PSRs are developing. These PSRs should face these specific conditions. Radar with millimetre wavelength, ultra-broadband radar and others can be used [10]. The millimetre wavelength radar has very wide wavelength so it has high resolution. This resolution facilitates accurate detection and monitoring non-cooperative UAS. The Doppler spectrum can be analyzed accurately so a specific UAS can be classified [11]. Doppler's micro signs can distinguish if it is the UAS or a bird. The micro signs are determined by moving and rotating of some UA parts with compared to a main part of the UA. The moving parts causes frequency and amplitude modulation at the reflect waves. These modulations cause a specific Doppler's frequency shift. The micro sign is calculated from this shift and a position of front and rear rotors can be determined [12].

The spectrum monitoring uses a signal that is transmitted between the control station and the UA. This detection system is suitable and it has wide use because of that the transmission between the station and the UA is happening at almost all UAS except autonomous aircraft [9]. A detection range depends on receiver sensitivity, transmitter performance and directivity of used antennas. It can be assumed that the detection range is the same like a communication range between the station and the UA [9]. There are many spectrum monitoring systems around the world. The system examples are American DroneTracker, German Ardronis or German Aartos DDS. The Ardronis can detect the UA and the pilot too. It can capture transmit video, decode it a display [13].

The acoustic detection system is possible thanks to a UAS engines noise. The range of sensors is between 20 and

600 m. If more sensors are used, a UA azimuth can be determined. It also increases accuracy and detection range [14]. The usage of only the acoustic sensors is not common. This system cooperates with other ones, for instance the spectrum monitoring.

The cameras with thermal imaging are strongly dependent on an environment and meteorological conditions. So it has limited range. There is a problem with recognition between the UA and birds when it detects the UA for long distance. This system is used in cooperation with other systems because of this, for instance the spectrum monitoring or the PSR [9].

Advantages and disadvantages

Advantages of the active detection systems are big range, scope and quality of received information. These advantages are good for the ANS and for the operators too. The operators that are connected into the UTM can easily and quickly communicate with the ANS. For instance, they can ask for a permit to fly. A disadvantage of the active systems is purchase necessity and high prices. Advantages and disadvantages of the passive detection systems are in table 1.

Table 1 – An evaluation of the passive detection systems

ADVANTAGES			Conclusion
DISADVANTAGES			
PASSIVE	PSR	• range • accuracy • 24/7 • weather independence	• price • false alarms • radar cross section influence
	Spectrum monitoring	• UA and pilot detection • immediate detection after UAS turn on • 24/7 • video signal decoding • system extensibility	• UAS have to transmit • Need device for azimuth determination • need of many sensors • continuous update of signal parameters
	Acoustic sensors	• price • system extensibility	• range • false alarms • not suitable for some areas
	Cameras	• price • system extensibility	• range • weather dependency • need of infrared sensor

Future UAS detection

The detection systems are developing and will be developing because of development of the UAS and other techniques. All will depend on new legislation that is necessary for right operation. A creation of the new UAS legislation is a goal of the WG-105 group and the European organization EUSCQ (European UAS Standards Coordination Group) [15]. There will be a big development in an area of the active detection systems because of a UTM start-up. The passive detection systems will connect into one complex system that will have better accuracy, range and quality. It can be assumed that there will be cooperation between active and passive systems and there will be their combination too. Continuous information about UAS position can be expected thanks to these things.

UAS Elimination

It is necessary to eliminate the UAS after its detection in some cases. The elimination can be divided into two categories: destructive and non-destructive. The destructive eliminations are electromagnetic impulse (EMI), laser or special UA that hit the dangerous UA and takes it down. This type of the UA is used only by armies and it is not applicable in civil traffic [16]. The non-destructive eliminations are a jamming of a radio signal or the GPS, shooting a net and capturing the UA, cybernetic attack, capturing the UA by trained birds, capturing it by other UA equipped with a net or spoofing [9, 10]. The spoofing is an interesting elimination. A principle of the spoofing is that a false GPS data is transmitted to the UA. The UA can be controlled by this false data and it can be redirected to a safer area. Scientists from the Texas University in Austin successfully tested the spoofing [17].

The development of actual detection systems and UTM platform creation leads to a better communication between unmanned systems and civil aviation authorities and it also leads to safer air traffic. The most used passive detection system is the spectrum monitoring. It has good detection ability, if it is used with other systems. On the other hand, no current detection system can guarantee one hundred percent reliability of the UAS detection. But combination of several detection systems has advantages of all used systems and it can form complex and reliable system.

References

- [1] ÚŘAD PRO CIVILNÍ LETECTVÍ. *Letecký předpis L2 – Pravidla létání* [online]. [cit. 2018-09-12]. Available from: <http://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/index.htm>
- [2] KARAS, Jakub. *222 tipů a triků pro drony*. Brno: Computer Press, 2017. ISBN 978-80-251-4874-7.
- [3] *Národní elektronický nástroj (NEN) na zadávání veřejných zakázek – Řízení letového provozu ČR s.p.* [online]. NASA [cit. 2018-08-23]. Available from: <https://nen.nipez.cz/SeznamPlatnychProfiluZadavatelu/MultiprofilZakladniUdajeOZadavatelim-191312505/MultiprofilZakladniUdajeOZadavatelim-191312505>
- [4] ŘLP ČR, S.P. *Řízení letového provozu – tiskové zprávy* [online]. [cit. 2018-09-12]. Available from: <http://www.rlp.cz/spolecnost/tisk/tiskzpravy/Stranky/default.aspx>
- [5] *MAIA Drone Tracker* [online]. UpVision [cit. 2018-09-12]. Available from: <https://flymaia.com/tracker>
- [6] *KTX2 Mode S Transponder* [online]. [cit. 2018-09-12]. Available from: <https://www.gliderpilotshop.com/ktx2-mode-s-transponder.html>
- [7] VOSECKÝ, Slavomír. *Radionavigace (062 00 00 00)*. Brno. ISBN 978-80-7204-764-2.

- [8] UAS – uAvionix [online]. [cit. 2018-09-13]. Available from: <https://uavionix.com/uas/>
- [9] BISIO, Igor, Chiara GARIBOTTO, Fabio LAVAGETTO, Andrea SCIARRONE a Sandro ZAPPATORE. Unauthorized Amateur UAV Detection Based on WiFi Statistical Fingerprint Analysis. *IEEE Communications Magazine* [online]. 2018, 56(4), 106-111 [cit. 2018-09-13]. DOI: 10.1109/MCOM.2018.1700340. ISSN 0163-6804. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8337905/>
- [10] GUVENC, Ismail, Ozgur OZDEMIR, Yavuz YAPICI, Hani MEHRPOUYAN a David MATOLAK. Detection, localization, and tracking of unauthorized UAS and Jammers. In: *2017 IEEE/AIAA 36th Digital Avionics Systems Conference (DASC)* [online]. IEEE, 2017, 2017, s. 1-10 [cit. 2018-09-14]. DOI: 10.1109/DASC.2017.8102043. ISBN 978-1-5386-0365-9. Available from: <http://ieeexplore.ieee.org/document/8102043/>
- [11] GUVENC, Ismail, Farshad KOOHIFAR, Simran SINGH, Mihail L. SICHITIU a David MATOLAK. Detection, Tracking, and Interdiction for Amateur Drones. *IEEE Communications Magazine* [online]. 2018, 56(4), 75-81 [cit. 2018-09-14]. DOI: 10.1109/MCOM.2018.1700455. ISSN 0163-6804. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8337900/>
- [12] MOLCHANOV, Pavlo, Ronny I.A. HARMANNY, Jaco J.M. DE WIT, Karen EGIAZARIAN a Jaakko ASTOLA. Classification of small UAVs and birds by micro-Doppler signatures. *International Journal of Microwave and Wireless Technologies* [online]. 2014, 6(3-4), 435-444 [cit. 2018-09-14]. DOI: 10.1017/S1759078714000282. ISSN 1759-0787. Available from: http://www.journals.cambridge.org/abstract_S1759078714000282
- [13] ROHDE & SCHWARZ GMBH&CO. KG. R&S®ARDRONIS [online]. [cit. 2018-09-12]. Available from: https://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_brochures_and_datasheets/pdf_1/ARDRONIS_bro_en_5214-7035-12_v0400.pdf
- [14] BENYAMIN, Minas a Geoffrey H GOLDMAN. Acoustic Detection and Tracking of a Class I UAS with a Small Tetrahedral Microphone Array [online]. ARMY RESEARCH LAB ADELPHI MD, September 2014, s. 34 [cit. 2018-09-12]. Available from: <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a610599.pdf>
- [15] EUROCAE. EUROCAE – Standards for future aviation [online]. [cit. 2018-0-12]. Available from: <https://www.eurocae.net>
- [16] VOJENSKÝ TECHNICKÝ ÚSTAV S.P. Vzdušné bezosádkové systémy – aktuální hrozba současnosti [online]. [cit. 2018-09-14]. Available from: <http://www.rlp.cz/spolecnost/tisk/PrezentaceAMaterialy/Seminár%20o%20problematice%20detekce%20a%20integrace%20dronů%20do%20systému%20řízení%20letového%20provozu%2027.%206.%202017/Vzdušné%20bezosádkové%20systémy%20aktuální%20hrozba%20současnosti.pdf>
- [17] VATTAPPARAMBAN, Edwin, Ismail GUVENC, Ali I. YUREKLI, Kemal AKKAYA a Selcuk ULUAGAC. Drones for smart cities: Issues in cybersecurity, privacy, and public safety. In: *2016 International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC)* [online]. IEEE, 2016, 2016, s. 216-221 [cit. 2018-09-14]. DOI: 10.1109/IWCMC.2016.7577060. ISBN 978-1-5090-0304-4. Available from: <http://ieeexplore.ieee.org>

IMPACT OF UNMANNED AERIAL VEHICLES ON THE AVIATION SAFETY

Ing. Viliam Ažaltovič

Air Transport Department, University of Žilina, Univerzitná 1, 010 26 Žilina, Slovakia
viliam.azaltovic@gmail.com

doc. Ing. Branislav Kandra, PhD.

Air Transport Department, University of Žilina, Univerzitná 1, 010 26 Žilina, Slovakia
kandra@fpedas.uniza.sk

Abstract – The main topic of the article is the safety of the operation of unmanned aerial vehicles and their impact on aviation safety. Drones can bring many benefits in terms of economy and safety at the workplace, but to ensure that, it's important that anyone who flies with unmanned aerial vehicles do it as safe as possible. The article also contains an analysis of currently available devices, which serve to increase the safety of operations of unmanned aerial vehicles. During the processing of the article, possible risks were defined. At the end of the article, measures were proposed to increase safety during operations of unmanned aerial vehicles.

Key words – UAV, aviation safety, drones, risks, accidents.

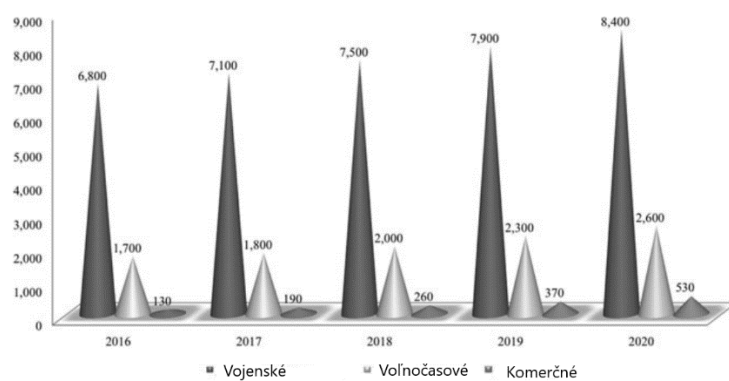
Úvod

Bezpilotné prostriedky zažívajú v posledných rokoch obrovský rozmach. Čoraz viac sa tieto stroje dostávajú do množstva ďalších odvetví. V súčasnosti snáď neexistuje odvetvie, v ktorom by sa drony nepoužívali. Využívanie dronov neustále rastie a s ním rastie aj ich hustota vo vzdušnom priestore čím naopak rastie nebezpečenstvo zrážky buď medzi dvomi dronmi alebo medzi dronom a lietadlom. Aj z tohto hľadiska je možné povedať, že prevádzka týchto prostriedkov zvyšuje nebezpečenstvo v leteckej doprave.

V posledných rokoch rastie využívanie dronov pričom dva hlavné trhové segmenty (vojenský a hobby) sa zmenili na tri, v závislosti od ich konečného použitia: vojenský, komerčný a hobby. Obrázok 1 predstavuje odhadovaný vývoj troch segmentov. Hoci vojenský segment je hlavným trhom, tento údaj naznačuje, že ďalšie dva segmenty sa v nasledujúcich rokoch rozšíria.

Hoci používanie dronov spôsobilo značnú diskusiu z dôvodu problematiky o ochrane osobných údajov a bezpečnosti, v súčasnosti sa vnímanie ľudí o "dobrých" použitíach dronov súvisiacich s civilným používaním (obchodné a hobby) zmenilo. Medzi akceptovanými spôsobmi použitia bezpilotných prostriedkov môžeme uviesť tie, ktoré súvisia so zdravotníctvom (napr. preprava krvi), humanitárne činnosti (drony pre sociálne a humanitárne účely), preprava produktov zákazníkom (doručovacie drony) alebo ekologické

aplikácie (sledovanie fauny a monitorovanie lesných požiarov).



Obrázok 1 – Odhadovaný vývoj troch hlavných segmentov
[Zdroj: The Drone sector in Europe]

Bezpilotné prostriedky môžu disponovať rôznymi veľkosťami pričom aj drony vážiace len niekoľko sto gramov môžu mať katastrofálny dopad pri zrážke s lietadlom letiacom niekoľko sto kilometrovou rýchlosťou.

Bezpečnosť

Na zabezpečenie čo najvyššieho stupňa bezpečnosti sa zavádzajú rôzne regulácie a predpisy. Prevádzka bezpilotných prostriedkov by nebola taká nebezpečná ak by prevádzkovatelia dodržovali regulácie. Medzi takéto regulácie patria aj napríklad Notices of Proposed Amendment (NPA) alebo v preklade oznámenia o navrhovanej zmene a doplnení.

Európska agentúra pre bezpečnosť letectva (EASA) vypracovala tento NPA v súlade so základným nariadením a postupom tvorby predpisov. Táto činnosť tvorby predpisov je zahrnutá do päťročného programu tvorby pravidiel EASA v rámci úlohy tvorby predpisov (RMT). Text tohto NPA bol vypracovaný EASA na základe príspevku expertnej skupiny UAS (Unmanned Aerial System). Týmto sa predkladá všetkým zainteresovaným stranám na konzultáciu.

Počiatočný návrh EASA sa zamerával na technické požiadavky a kompetencie pre pilotov UAV a vymedzil niekoľko podkategórií doplnených určením zón členskými štátmi. Tento systém zón by mohol umožniť členským štátom určiť, ktoré podkategórie UAV sú povolené v jednotlivých zónach. Ako alternatívu k tomuto návrhu, 21 členských štátov

vypracovalo protinávrh (Obrázok 2), ktorý obsahoval jednoduchšie pravidlá zamerané na zodpovednosť pilotov a na malé množstvo alebo žiadne požiadavky na zmiernenie rizika.

V rámci NPA boli definované 3 hlavné podkategórie:

A1 – lietanie ponad ľudí

A2 – lietanie v blízkosti ľudí

A3 – lietanie ďaleko od ľudí

Každá z týchto podkategórií jasne definuje, aké veľké bezpilotné prostriedky je možné prevádzkovať a takisto aj vzdialenosti do akých sa je možné s nimi pohybovať.

Okrem týchto podkategórií boli v NPA definované aj kategórie prevádzky UAS. Boli definované tieto tri:

Otvorená kategória je kategória prevádzky UAS, ktorá vzhľadom na príslušné riziká nevyžaduje predchádzajúce povolenie príslušného orgánu ani vyhlásenie prevádzkovateľa UAS pred uskutočnením prevádzky.

Špecifická kategória je kategória operácie UAS, ktorá so zreteľom na príslušné riziká vyžaduje schválenie príslušným orgánom pred uskutočnením prevádzky, pričom sa zohľadnia zmierňujúce opatrenia určené pri hodnotení prevádzkového rizika, s výnimkou určitých štandardných scenárov. Vyhlásenie prevádzkovateľa je dostatočné alebo ak prevádzkovateľ vlastní ľahké osvedčenie prevádzkovateľa UAV s príslušnými privilegiami.

Certifikovaná kategória je kategória prevádzky UAV, ktorá so zreteľom na príslušné riziká vyžaduje certifikáciu UAS, licencovaného diaľkového pilota a prevádzkovateľa schváleného príslušným orgánom s cieľom zabezpečiť primeranú úroveň bezpečnosti.

UAS Podkategória	UAS MTOM	Vzdialenosť od ľudí	Maximálna výška prevádzky	Potrebná kvalifikácia pilota	Vek diaľkového pilota	Elektronická identifikácia	Technické požiadavky
A0 Lietanie nad ľuďmi	<250 g alebo AIS<3	Bez obmedzenia	Maximálna dohľadná vzdialenosť a v žiadnom prípade vyššie ako 30 m pod ICAO VFR minimálnu výšku, bežne 120 m	Žiadna	Rozhodnú jednotlivé členské štáty	Nepotrebná (alebo dobrovoľná)	Áno, ak AIS<3, alebo Directive 2009/48/EC
A1 Lietanie v blízkosti ľudí	Od 250 g do 25 kg	Viac ako 50 m od davov ľudí		Online kurz		Potrebná ak je k dispozícii U-Space	Žiadne
A2 Lietanie ďaleko od ľudí	Od 250 g do 3 kg	Menej ako 50 m od davov ľudí ale nikdy nie priamo nad nimi		Skúška pozostávajúca z teoretických a praktických zručností			

Obrázok 2 – Protinávrh členských štátov [Zdroj: Notice of proposed amendment, EASA]

Pokiaľ sa na palube bezpilotného prostriedku nachádzajú kamery, prípadne iné snímacie zariadenia, je potrebné vyčleniť isté pravidlá, ktoré by sa zaoberali ochranou súkromia osobných údajov. Touto problematikou sa zaoberá Opinion No 01/2018 s názvom “Introduction of a regulatory framework for the operation of unmanned aircraft systems in the open and specific categories”, ktorý uverejnila EASA. Ako je spomenuté v názve spisu, zaoberá sa výlučne otvorenou a špecifickou kategóriou.

Hlavnou témou tohto spisu je definovanie požiadaviek na vykonávanie bezpečnej prevádzky v

“otvorenej” a “špecifickej” kategórii. Úlohou bolo dosiahnuť rovnováhu medzi technickými požiadavkami, pilotnými kompetenciami a prevádzkovými obmedzeniami, umožňujúcimi bezpečnú prevádzku UAS pri rešpektovaní súkromia ľudí, ochrane životného prostredia a zároveň umožnením rozvoja trhu s UAV.

Riziká

Je podstatné aby každá časť lietadla bola nepoškodená a správne fungujúca počas letu. Lietadlo je stroj, ktorý je zároveň na jednej strane veľmi odolný ale na strane druhej krehký. Aj najmenšia netesnosť resp. poškodenie spôsobené zrážkou napríklad s dronom môže vyústiť do katastrofálneho poškodenia, ktoré môže skončiť haváriou celého lietadla.

Počet prípadov, kedy piloti hlásia bezpilotné prostriedky blízko svojich lietadiel sa zvyšujú po celom svete. Najpravdepodobnejším dôvodom je to, že väčšinu dronov obsluhujú prevádzkovatelia, ktorí buď nemajú dostatočnú znalosť predpisov týkajúcu sa leteckej prevádzky, alebo sa ju rozhodli prasto ignorovať. Okrem toho existujú ešte ďalšie dôvody, ktoré môžu viesť k havárii dronov, napríklad:

- Nespoľahlivé komunikačné spojenie.
- Zlyhanie komponentov spojené so softwarom.
- Nedostatočné konštrukčné metódy používané počas výroby, ktoré by mohli viesť k zlyhaniu lietadla. Takmer 50% nehôd úzko súvisí s týmito poruchami.
- Ľudský faktor– chyba pilota, najmä počas pristávania.
- Prítomné mechanické defekty.



Obrázok 3 – Havarovaný vojenský dron na Seycheloch

ELOS (ekvivalentná úroveň bezpečnostného prístupu) sa používa na definovanie kritérií miery poruchy v systémoch bezpilotných prostriedkov. Pre lietadlá s posádkou je katastrofický stav definovaný ako udalosť spôsobujúca úplnú stratu lietadla a smrteľné následky pre posádku a cestujúcich. Katastrofický stav môže byť definovaný napríklad ako strata kontroly nad riadením letu vedúca k neschopnosti pokračovať v bezpečnom lete na pristátie. Pri UAV sa vylučuje zavinenie prvej strany (t.j. letovej posádky) alebo druhej strany (t.j. cestujúcich) keďže ani jednu z nich neobshauje. Preto katastrofický stav pre bezpilotné lietadlo je definovaný ako

neúspešná udalosť, ktorá má za následok aspoň jednu obeť tretej strany v dôsledku zrážky počas letu alebo na zemi.

Zariadenia

Zvýšenie bezpečnosti prevádzky bezpilotných prostriedkov vo vzdušnom priestore je možné doceliť aj použitím rôznych zariadení, ako napríklad systémy predchádzania kolíziám priamo na palube bezpilotných prostriedkov.

V najbližších rokoch môžeme očakávať priamu integráciu takýchto prístrojov na palube dronov, ktoré nebudú komunikovať len medzi dronmi samotnými ale takisto aj s lietadlami s posádkou.

Momentálne je na trhu dostupných niekoľko potencionálne použiteľných prístrojov resp. systémov. Každé z týchto zariadení má svoje výhody ale takisto aj nevýhody. Využitie týchto zariadení na bezpilotných prostriedkoch sa môže líšiť, najmä kvôli rôznorodosti jednotlivých dronov (váha, rozmery, použitie atď.)

Medzi tieto prístroje môžeme zaradiť napríklad prenosné systémy predchádzania kolíziám. Aktuálne je to jedno z najlepších riešení na zvýšenie bezpečnosti prevádzky bezpilotných prostriedkov vo vzdušnom priestore. Tieto systémy budú dokonca poskytovať odporúčané manévry v potencionálnom nebezpečí, samozrejme za predpokladu ak toto nebezpečenstvo nastane.



Obrázok 4 – Prenosný systém predchádzania kolíziám MRXA-A

Ďalším použiteľným a aktuálne výhodným zariadením je FLARM. FLARM je elektronický systém slúžiaci na selektívne varovanie pilotov pred prípadnými kolíziami medzi lietadlami a UAV. Inštalovaný systém FLARM upozorní na dopravu a bezprostredné zrážky s inými lietadlami, takže je možné podniknúť kroky skôr, než bude príliš neskoro. Nie je to formálna implementácia ADS-B, pretože je optimalizovaná pre špecifické potreby ľahkých lietadiel, nie pre komunikáciu na dlhom dosahu alebo pre interakciu ATC.

Systémom FLARM je podľa štatistik vybavených viac ako 35.000 lietadiel s posádkou a mnoho UAV pričom počet sa rýchlo zvyšuje. Systémy FLARM sú k dispozícii od niekoľkých výrobcov pre lietadlá, vrtuľníky, klzaky a UAV.

Ako bolo spomenuté, každý z týchto systémov má svoje výhody ale aj nevýhody. Okrem veľkosti môže byť veľkým problémom aj cena jednotlivých systémov.

Ekonomicky dostupnejšie zariadenie môže byť použitie LIDARu. LIDAR (Light Detection and Ranging). LIDAR je metóda prieskumu, ktorá meria vzdialenosť od cieľa osvetlením cieľa pulzným laserovým svetlom a meraním odrazených impulzov snímačom. Tieto zariadenia sú kompaktné a veľmi ľahké. Na druhej strane majú tieto zariadenia nedostatočný dosah na to aby dokázali včas uskutočniť vhodný úhybný manéver.

Pravdepodobnosť Nehody

Podľa mnohých publikácií je miera nehodovosti bezpilotných prostriedkov približne 100-krát vyššia ako u lietadiel s posádkou. Približne jedna nehoda na každých 1000 letových hodín.

Pravdepodobnosť zrážky počas letu z dôvodu straty kontroly nad dronom závisí od rozmerov oboch prostriedkov a pravdepodobnosti, že náhodne padajúci dron zasiahne lietadlo s posádkou.

Dôjsť môže aj k zraneniam tretej strany v dôsledku kolízie medzi bezpilotným prostriedkom a lietadlom s posádkou. Pravdepodobnosť zrážky počas letu pri nekontrolovateľne letiacom UAV závisí od rozmerov oboch prostriedkov a pravdepodobnosti, že náhodne padajúci dron zasiahne lietadlo s posádkou. Pre jednoduchosť sa na výpočet pravdepodobnosti kolízie počas letu používa dvojrozmerná plocha, pretože kolízna plocha vynásobená súčtom očakávaného počtu lietadiel na potencionálnej ploche zrážky v akomkoľvek danom čase:

$$L_{MC} = (A_M + A_{UAV}) \sum_{i=1}^n E_i(A_i) \frac{1}{A_i}$$

L_{MC} - Pravdepodobnosť zrážky počas letu pri strate kontroly nad UAV

A_M – Plocha lietadla s posádkou

A_{UAV} – Plocha bezpilotného prostriedku

$A_i(E_i)$ – Predpokladaný počet lietadiel s posádkou v potencionálnej oblasti zrážky, A_i

Pre zjednodušenie sa predpokladá, že bezpilotné prostriedky UAV bez možnosti ovládania padajú zvislo dolu, zatiaľ čo letecká prevádzka lieta vodorovne. Všeobecne sa predpokladá, že strata kontroly nad UAV sa vyskytuje vo vysokých nadmorských výškach, takže počas náhodného pádu prechádza ako vysokými nadmorskými výškami, ktoré zaberá komerčná letecká prevádzka, tak aj nízkymi nadmorskými výškami, ktoré využíva všeobecná letecká prevádzka. Hustota leteckej dopravy bola definovaná pre dve nadmorské výšky: veľké lietadlá (veľkosť 747) na 25 000 stôp a malé lietadlá (veľkosť Cessna 172) na 5000 stôp. Predpokladá sa, že celá premávka je v jednej z týchto dvoch nadmorských výškach.

Podľa štúdie Larsona a Habera je hustota veľkých lietadiel vo výške 25 000 stôp 0,0008 lietadla na štvorcovú míľu s vrchnou plochou lietadla 480 štvorcových stôp a

hustota malého lietadla na 5000 stôp je 0,03 lietadiel na štvorcovú míľu, s vrchnou plochou lietadla 281 štvorcových stôp. Hustota letovej prevádzky bola odvodená z údajov v centrálnom údolí Kalifornie počas denných hodín a je typická pre letovú prevádzku susediacu s veľkými mestskými oblasťami.

Záver

Na dosiahnutie zvýšenia bezpečnosti pri prevádzke bezpilotných prostriedkov vo vzdušnom priestore musí byť zabezpečené čo najväčšie zníženie rizikových faktorov, prípadne ich úplná eliminácia.

Ako bolo spomenuté v článku, na zvýšenie bezpečnosti prevádzky bezpilotných prostriedkov sú niekedy potrebné zariadenia. Zvýšenie bezpečnosti by sa mohlo doceliť aj povinnou implementáciou týchto prístrojov na palubu bezpilotných prostriedkov, čím sa na jednej strane zvýši konečná cena produktu, ale na strane druhej bude následná prevádzka týchto prostriedkov niekoľkonásobne bezpečnejšia.

Tvorba ďalších regulácií a predpisov nie je správna cesta pretože už dnes sú užívatelia vo veľkej miere obmedzovaní, pričom toto obmedzovanie by v budúcnosti mohlo mať vplyv aj na technologický vývoj odvetvia.

Na ďalšie zvýšenie bezpečnosti počas prevádzky bezpilotných prostriedkov bude treba počkať na ďalší technologický pokrok. Za tohto predpokladu môžeme uvažovať aj s užšou integráciou bezpilotných prostriedkov do priestoru letísk kde by mohli nájsť ďalšie uplatnenie – napríklad ako plašič vtáctva na vzletových a pristávacích plochách.

Acknowledgment

This paper is published as one of the scientific outputs of the project: „New technologies and best practices in education in the Air Transport and Professional Pilots”, KEGA 011ŽU-4/2018.

Použitá literatúra

- [1] David W. King. 2005. UAV FAILURE RATE CRITERIA FOR EQUIVALENT LEVEL OF SAFETY
- [2] A Technocritical review of drones crash risks probabilistic consequences and its societal acceptance
- [3] Control systems and avionics for UAV / Viliam Ažaltovič. - Žilina, 2018. - 66 s.
- [4] Larson, E., and Haber, J. M., "Final Quantitative Risk Analysis for Generic Lifting Entry Vehicle Landing at Edwards Air Force Base," Report No. 01-474-04, ACTA Inc., Torrance, CA, October 2001, www.ealev.com/pdf/QRA.pdf.
- [5] Blanca de Miguel Molina and Marival Segarra Oña. 2018. The Drone Sector in Europe
- [6] GERIN FAHLSTRON, P. – JAMES GLEASON, T. 2012. Introduction to UAV Systems. ISBN 978-1119978664
- [7] DALAMAGKIDS, K. – VALAVANIS KIMON, P. – PIEGL LES, A. 2009. On Integrating Unmanned Aircraft Systems into the National Airspace System. ISBN 978-1-4020-8671-7

- [8] Opinion 01/2018, EASA. <https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/Opinion%20No%2001-2018.pdf>
- [9] NOVÁK, A. - NOVÁK SEDLÁČKOVÁ, A. 2015 International civil aviation regulations. 2015. ISBN 978-80-8181-011-4
- [10] ŽÁČIK, N. – NOVÁK, A. Možnosti detekcie UAV In: Zvyšovanie bezpečnosti a kvality v civilnom letectve. 2016. ISBN 978-80-554-011-4

LETECKÝ DEN NA MEZINÁRODNÍM LETIŠTI A BEZPEČNOST - DNY NATO V OSTRAVĚ Z POHLEDU PROVOZOVATELE LETIŠTĚ

Ing. Michal Holubec

Provozní ředitel, Letiště Ostrava, a.s., Czech republic
holubec@airport-ostrava.cz

Abstract – Letecké dny a ukázky jsou v dnešní době poměrně populárním způsobem prezentace letecké techniky a jejich výrobce výbornou příležitostí pro prezentaci jejich schopností a výrobků. Dobře připravený letecký den je schopen splnit mnoho z toho plynoucích očekávání. Jednou ze součástí, na které je při přípravě velké akce kladen důraz, je bezpečnost. A to bezpečnost v obou smyslech, tedy safety i security. Tato problematika je velmi široká, jelikož zasahuje do působnosti více složek jak v rámci státu, tak i soukromých subjektů. V předkládaném příspěvku se budeme zabývat bezpečností z pohledu provozovatele veřejného mezinárodního letiště a to na základě zkušeností s přípravou a průběhem **největší bezpečnostní přehlídky v Evropě** (jak ji označují sami pořadatelé). Jedná se o Dny NATO v Ostravě & Dny Vzdušných sil AČR konající se na Letišti Leoše Janáčka Ostrava. Jde o jednu z mála takto rozsáhlých vojenských a bezpečnostních akcí konajících se na civilním letišti, které navíc i v době konání leteckého dne zachovává alespoň částečně svůj běžný provoz. To sebou nese specifické problémy. Článek přibližuje celkovou koncepci akce, obsahuje stručný popis jejího organizačního zajištění v oblasti leteckého provozu a dále seznámí čtenáře s hlavními riziky, která byla identifikována v rámci přípravy akce provozovatelem letiště a jaká opatření jsou přijata ke snížení těchto rizik. Problematika je rozdělena na security a safety. Vzhledem k omezenému prostoru, který je k dispozici, a citlivosti dané tématiky (zejména v oblasti security) není možné zabíhat do větších podrobností. Přesto věřím, že článek přináší základní povědomí o složitosti problematiky pořádání leteckého dne na civilním letišti.

Key words – letiště, letecký den, safety, security

ÚVOD

Letecké dny a ukázky jsou v dnešní době velkým lákadlem pro diváky a zároveň představují pro provozovatele a výrobce letecké techniky výbornou příležitost prezentovat jejich schopnosti a výrobky. Dobře připravený letecký den je schopen splnit mnoho těchto očekávání. Rozsahu pořádané události odpovídá rozsah nutného organizačního zabezpečení, které se skládá z mnoha oblastí. Jednou z nezbytných součástí, na kterou musí být při přípravě kladen důraz, je bezpečnost. A to bezpečnost v obou smyslech, tedy safety i security. Tato problematika je velmi široká a zasahuje do působnosti více

složek jak v rámci státu, tak i provozovatele letiště. V následujících řádcích se budeme zabývat bezpečností z pohledu provozovatele civilního mezinárodního letiště, na kterém se koná **největší bezpečnostní přehlídka v Evropě**, jak ji označují sami pořadatelé. Jedná se o Dny NATO v Ostravě & Dny Vzdušných sil AČR konající se na Letišti Leoše Janáčka Ostrava. Jde o jednu z mála takto rozsáhlých vojenských a bezpečnostních akcí konajících se na civilním letišti, které navíc i v době konání akce zachovává ve velké míře svůj běžný provoz. To s sebou nese specifické problémy, které je potřeba řešit.

POPIS AKCE

Dny NATO v Ostravě jsou ojedinělou akcí jak co do rozsahu, tak i do zaměření. Jedná se o rozsáhlou prezentaci armádní i nevojenské techniky členských států NATO a jejich spojenců. Spojenou událostí jsou Dny Vzdušných sil Armády ČR a s akcí jsou spojeny i další odborné a společenské setkání.

Akce se vyvinula během uplynulých osmnácti let ze skromné prezentace pozemních sil AČR, Policie ČR a jejich polských partnerů v centru Ostravy do dvoudenní události zdaleka přesahující vyčleněný víkend. Byla přemístěna do prostor umožňujících rozsáhlou prezentaci letecké i pozemní techniky – na letiště Ostrava. I v rámci letiště bylo v průběhu let nutno přehodnotit umístění ukázek, jelikož původní lokace na jižní odbavovací ploše přestala kapacitně vyhovovat z hlediska letecké techniky a zároveň neumožňovala patřičně využít potenciálu ukázek bojové techniky. Aktuální umístění v prostoru bývalých rozptylů pro vojenská letadla umožňuje využití rozsáhlých prostor pro statické ukázky letecké i pozemní techniky i pro dynamickou prezentaci pozemních sil.

Hlavními organizátory jsou občanské sdružení Jagello 2000, Generální štáb AČR, HZS MSK, KŘP MSK, ZZS MSK a Letiště Ostrava, a.s. LO dává k dispozici areál pro akci včetně parkoviště pro návštěvníky, dále je odpovědné za prostory pro letadla a podílí se s AČR na obsluze letecké techniky. Jen pro ilustraci rozsahu akce - v roce 2018 bylo na akci 20 účastnických zemí a přes 100 kusů letecké techniky. Vstup je zdarma, což je podstatným faktorem pro počty návštěvníků, kterých v tomto bylo 220 tisíc.

Provozní situace během leteckého dne

Přestože se hlavní část odehrává během zářijového víkendu, kdy probíhají letové ukázky, je provoz letiště významně ovlivněn již několik dní předem a jeden až dva dny

poté. Přílety účastníků probíhají v průběhu celého předcházejícího týdne, s kulminací ve čtvrtek a zejména pátek, kdy zároveň probíhají i nácvičky vystoupení. Podmínkou provozovatele letiště po celou dobu akce je zachování plánovaného provozu (pravidelné a charterové dopravy cestujících a leteckého nákladu). Částečně je také zachován v rámci možností provoz soukromých letadel. V období čtvrtek – pondělí je omezen provoz místních provozovatelů, zejména výcvikové lety.

Organizaci a přidělování slotů pro přilétávající účastníky řídí Letový ředitel akce, který je příslušníkem Vzdušných sil AČR. Hlavní část účastníků přilétá ve čtvrtek a pátek a v tyto dny zároveň probíhají seznamovací lety a nácvičky ukázek. Přidělované sloty, plán nácvíků i samotné víkendové ukázky se přizpůsobují letovému řádu pravidelných a charterových letů, které nejsou prvoplánově nijak omezeny.¹ Veškerý provoz je řízen ze stanoviště TWR ŘLP. Po přistání jsou letadla rozdělována podle potřeby do prostoru pro statické (TWY G) nebo dynamické ukázky (APN S). Zajištění letadel na zemi je prováděno pracovníky LO s podporou AČR. Pro přilétávající posádky je v režii Jagello 2000 připraveno centrum, které poskytuje informace a zabezpečuje veškerou logistiku.

Pro účely odbavení a parkování letadel podílejících se na letových ukázkách je vyhrazena jižní odbavovací plocha a k ní přiléhající část pojezdové dráhy F (viz obr. Plocha 1), v případě potřeby rozšířená o další část TWY F (Plocha 2). V tomto prostoru řídí pohyb letadel příslušníci AČR. Pro účely statických ukázek letecké techniky je vyčleněna část areálu konání akce (Plocha 5). Do tohoto prostoru se letadla dostávají výjezdem z RWY na TWY Gⁱⁱ a poté přetažením na požadované místo stání.

Propojení prostor dynamické a statické ukázky je provedeno pomocí tzv. obslužné komunikace, které vede podél oplocení letiště. Tato komunikace je běžně využívána ke kontrole oplocení a vykonávání ostrahy perimetru. Během akce je navíc využívána k převozu posádek a prostředků technického zabezpečení mezi statickou a letovou stojánkou.

V oba víkendové dny umožňuje pořadatel akce návštěvníkům po splnění určitých podmínek přiletět vlastním letadlem. Vzhledem k termínu (září), kdy je na západě ČR již poměrně pozdní východ slunce a omezení příletů devátou hodinou ranní vzniká těsně před zahájením akce tlak, aby mohly všechny tyto stroje přistát a mohl být zahájen letový program. Pro parkování těchto letadel je vyčleněna plocha podél RWY, ovšem mimo pás provozní plochy (viz obr. – Plocha 3). Postupy jsou publikovány pomocí AIP SUPP.

V rámci řídicí struktury akce je zřízen krizový štáb, který je určen k řešení bezpečnostních hrozeb, popř. řízení průběhu zásahu. Zásah plynoucí z provozu letiště, tj. zejména letecká nehoda v prostoru perimetru letiště, se řídí Pohotovostním plánem provozovatele letiště.

Provozovatel letiště¹ je odpovědný za celkovou připravenost letiště pro letecký provoz v souladu se zákonnými a předpisovými požadavky. Jedním ze základních požadavků je zajištění bezpečnosti v obou významech tohoto termínu. Tomu odpovídá organizační struktura provozovatele letiště. Ze složek provozovatele letiště se na akci přímo podílejí tyto

organizační jednotky – Vedoucí provozu letiště, Bezpečnostní dispečink, Oddělení odbavení letadel, Útvar HZS, Útvar bezpečnosti letiště a Útvar Správa majetku. Primárními úkoly jsou fyzická příprava prostor a ploch pro konání akce a jak již bylo uvedeno, zajištění bezpečnosti.



Příloha 1 – Plán letiště Ostrava

Zajištění bezpečnosti během leteckého dne

Bezpečnost je i v podmínkách provozování letiště chápána ve dvou různých významech – security a safety. Přestože se v některých částech mohou prolínat, je potřeba k oběma oblastem přistupovat rozdílně.

Zajištění security

Takto rozsáhlá akce, která navíc obsahuje ve svém poslání propagaci NATO, samozřejmě vyžaduje široké zapojení všech bezpečnostních složek nejen na úrovni provozování letiště. Zároveň se jedná o jedno z největších shromáždění veřejnosti v Moravskoslezském kraji, potažmo v ČR. V dalším popisu se zaměříme zejména na problematiku security uvnitř perimetru letiště, která spadá do přímé kompetence provozovatele letiště.

V prostoru pro diváky

Tento prostor obsahuje velkou koncentraci osob a techniky včetně prodejních míst občerstvení a dalších atrakcí.

Zde je potřeba zejména poskytnout tyto bezpečnostní prvky:

- Požární zabezpečení
- Ochrana před protiprávními činy
- Zdravotní zabezpečení

Tento prostor je pokryt činností státních složek – HZS MSK, PČR MSK a ZZS MSK a není předmětem opatření provozovatele letiště. Výjimkou představuje část letiště (Plocha 4) vyčleněná pro parkování vozidel návštěvníků. Zde by v případě požáru primárně zasahovala jednotka HZS LO. Analýzu bezpečnostní situace v těchto prostorách řeší bezpečnostní studie, kterou zadalo sdružení Jagello 2000.

Obecně je na akci zakázáno vnášet nebezpečné předměty. Pro zvýšení kontroly nad bezpečnostní situací v tomto prostoru byly zavedeny kontroly na vstupních branách pro návštěvníky, které jsou prováděny bezpečnostní agenturou ve spolupráci s PČR. Specifickou pozornost dostává VIP prostor, kam je směřována hlavní účast významných osob z politické, průmyslové a kulturní scény.

B) UVNITŘ PERIMETRU LETIŠTĚ

Vzhledem k zachování běžného provozu a navíc násobnému navýšení provozu v souvislosti s akcí je nutné udržovat standardní bezpečnostní opatření provozovaného letiště. Tato opatření jsou ještě zvyšována na základě provedené a revidované analýzy rizik.

V rámci této analýzy byla vytipována tato nejvýznamnější rizika (která se v některých případech kryjí s riziky safety):

- 1) neoprávněný vstup do perimetru letiště ze strany návštěvníků
- 2) narušení perimetru letiště zvenčí
- 3) neoprávněný pohyb osob z řad pořadajících složek
- 4) neoprávněné použití bezpilotních prostředků pro útok na osoby nebo techniku účastníci se akce

Pro snížení pravděpodobnosti realizace těchto rizik bylo přijato několik opatření:

- 1) Mobilní oplocení kolem prostor pro návštěvníky je vždy vysoké minimálně 2m a spojeno šroubovým spojením, které nelze rozebrat bez náradí.
- 2) Kolem mobilního oplocení i kolem stávajícího perimetru letiště patrolují pěší i mobilní hlídky útvaru bezpečnosti letiště i PČR.
- 3) Pro zajištění perimetru jsou použity i další technické prostředky, kterým je věnována zvýšená pozornost. Tyto prostředky zároveň monitorují i případný pohyb po provozní ploše nebo v jejím okolí.
- 4) Veškeré osoby z pořadajících složek a účastníků akce s povolením vstupu do perimetru letiště (prostor stání pro letadla na dynamické ukázky – plocha 1 a 2) jsou označeny a musí být uvedeny na seznamu, který je předán provozovateli letiště v předstihu. Počet těchto osob je držen na nezbytném minimu. Kontroly oprávněnosti vstupu jsou prováděny na vstupních branách do prostor letiště. V případě změny musí být tato oznámena příslušnou odpovědnou osobou za danou složku. Veškerý personál dostává od svých nadřízených informace o pravidlech pohybu uvnitř perimetru letiště. Nedodržení těchto pravidel může vést až k vykázaní osoby mimo perimetr letiště.
- 5) V případě výskytu bezpilotních prostředků je tato informace předána PČR MSK, která proti nebezpečí neprodleně zasahuje. Zároveň je v případě nutnosti zastavován letový provoz.

Za ochranu perimetru letiště je primárně odpovědný Útvar bezpečnosti letiště. Významnou měrou se však na zvýšení bezpečnosti perimetru a provozu letiště podílí zejména ICP Mošnov spadající pod PČR, který nasazuje jak posílené hlídky příslušníků cizinecké policie, tak dostupnou techniku.

Ochranu letecké techniky v době mimo otevírací dobu areálu pro návštěvníky přebírá Vojenská policie AČR, která nasazuje vlastní příslušníky a techniku. Tato činnost je koordinována s ÚBL i ICP.

SAFETY

Tuto problematiku lze rozdělit na část pozemní a ve vzdušném prostoru. Provozovatel letiště provedl analýzu rizik i z hlediska bezpečnosti provozu letadel a mobilních prostředků při pohybu na pohybové ploše. Za opatření a řízení pohybu ve vzdušném prostoru je odpovědné ŘLP jako poskytovatel letových navigačních služeb a Letový ředitel.

A) VE VZDUŠNÉM PROSTORU

Za řízení a bezpečnost provozu ve vzdušném prostoru letiště a přilehlé oblasti odpovídá ŘLP. Zástupce ŘLP je významným členem přípravného týmu a působí zejména v těsné spolupráci s provozovatelem letiště.

Během akce dochází k enormnímu nárůstu provozu ve vzdušném prostoru letiště. Pro ilustraci – průměrný počet pohybů v řízených prostorech letiště Ostrava je 120 za den. Během akce je počet pohybů vysoko přes dvě stě. Tento provoz je řízen dvěma stanovišti ŘLP – stanoviště APP Ostrava a TWR Mošnov. Směny na těchto pracovištích jsou posíleny. Zároveň k ochraně provozu během akce jsou publikována omezení vzdušného prostoru. Kolem CTR Mošnov je v prostoru třídy G (tj. do 1000ft AGL) publikován dočasně omezený prostor o poloměru 8 NM. Nad tímto prostorem je do FL 95 publikována navigační výstraha. Vstup do takto modifikovaného prostoru odpovědnosti je možný pouze po povolení TWR nebo APP. Informace o těchto prostorech jsou dostupné letecké veřejnosti pomocí zpráv NOTAM.

Jelikož jde o letadla v absolutní většině vojenská, mohou být řízena piloty, pro které nemusí být běžným jevem létání podle civilních pravidel létání. Jako výpomoc pro tyto případy a zároveň jako pojítka mezi ŘLP a Letovým ředitelem jsou během přiletů a ukázek na stanovišti TWR přítomni vojenští řidiči letového provozu.

Vystupující letadla se musejí řídit Letovým řádem zpracovaným pro tuto akci, který je v souladu s národními a mezinárodními předpisy pro pořádání leteckých vystoupení NATO STANAG 3533, publikace AFSP – 5(A), Let-1-1 a dokumentem Podmínky pro pořádání leteckých veřejných vystoupení CAA-SL-101-n-16. Meze vystoupení jsou stanoveny pomocí tzv. Display line. Jsou definovány tři linie – jedna pro kolmé nálety směrem k divákům pro „rychlé“ stroje, další pro podélné ukázky a poslední pro vrtulníky a „pomalé“ letouny. V případě Dnů NATO jsou tyto linie orientovány poměrně nestandardně kolmo na osu RWY, což je vynuceno obecným rozložením prostor pro diváky, zejména existence parkovací plochy na opačné straně RWY. Linie jsou vyznačovány vždy před zahájením akce pomocí posypu vápnem v dostatečné délce a šířce. Na bezpečnost a dodržení pravidel dohlíží Letový ředitel, který je oprávněn zastavit, zrušit nebo upravit ukázku, pokud neodpovídá bezpečnostním standardům.

Během akce je obecně zakázáno používat bezpilotní prostředkyⁱⁱⁱ, výjimku obdržel bezpilotní prostředek, pořizující dokumentaci na zakázku pořadatele, který je v provozu jen v době mimo letové ukázky.

V rámci zpestření nabídky pro návštěvníky rovněž probíhají vyhlídkové lety vrtulníků. Tyto mají vyhrazen prostor směrem na sever od prostoru statických ukázek s výškovým omezením, tak aby byl zajištěn jejich bezkolizní provoz vůči letovým ukázkám.

A) NA PROVOZNÍ PLOŠE

Již zmiňovaný zvýšený a nestandardní provoz, který neodpovídá běžné denní rutině chodu letiště, přináší zvýšení provozního rizika. Jako nejvyšší rizika byla pro pozemní provoz letiště identifikována tato:

- 1) RWY incursion – neoprávněný vstup / vjezd na RWY nebo do prostoru pásu RWY
- 2) TWY incursion – neoprávněný vstup / vjezd na TWY nebo do prostoru pásu TWY
- 3) srážka letadel na zemi nebo srážka vozidel s letadlem na zemi
- 4) pohyb osob po APN v průběhu letové akce
- 5) poškození RWY výtokovými plyny vojenských letadel startujících na maximální výkon v rámci dynamiky letové ukázky
- 6) neoprávněné použití bezpilotních prostředků a jejich sblížení s letovým provozem

Pro snížení rizika těchto případů byla provedena následující opatření:

- 1) Minimalizování počtu osob, které mají povolení ke vstupu do provozní části letiště během akce. Omezení počtu návštěv a prací třetích stran, které nejsou nezbytně nutné pro zajištění konání akce.ⁱⁱⁱ
- 2) Poučení všech osob, které se pohybují v prostoru perimetru letiště o rizicích RWY incursion popř. srážky s letadlem. Zaměstnanci LO jsou běžně školeni v rámci SMS systému a Dopravního řádu, bez absolvování těchto školení se nemohou pohybovat po pohybové ploše letadla pěšky ani řídit vozidlo. Externí zaměstnanci, kteří mohou řídit vozidlo uvnitř areálu, rovněž prošli stejnou úrovní školení. Příslušníci AČR, kteří vykonávají své povinnosti v rámci zabezpečení provozu během akce, jsou příslušníky vzdušných sil a je u nich tedy předpoklad znalosti pohybu po letišti, jejich pohyb omezen pouze na APN S a zároveň byli poučeni o specifických rysech provozu na civilním letišti.
- 3) Obslužná komunikace vedoucí kolem perimetru letiště má během akce vyznačeny směry pohybu a zároveň betonovými zábranami uzavřeny veškeré vjezdy na provozní plochu a umožňuje pohyb tedy jen ve směru kolem oplocení.
- 4) Prostor letiště je monitorován bezpečnostním dispečinkem letiště a v případě výskytu neznámých / nepatřičných osob nebo vozidel v blízkosti pásu provozní plochy je okamžitě vyslána na místo hlídka ostrahy letiště a v případě nebezpečné blízkosti je informován ATCO TWR.
- 5) Pohyb vojenských letadel na APN S je řízen příslušníky AČR, kteří jsou poučeni o pohybu na civilním letišti. Přestože se jedná o civilní letiště, je činnost marshallingu pro letadla převedena na vycvičené příslušníky AČR, vzhledem k tomu, že

zde působící letadla jsou téměř výhradně vojenská a některé pokyny se mohou lišit od pokynů signalisty, jak je zná předpis L2. V případě navádění civilního letadla je k dispozici signalista (řídící odbavovací plochy) LO. Vždy před využitím signalisty LO proběhne domluva s vojenským řídícím plochy o způsobu navedení letadla na stání. Jediným pravidelným uživatelem této plochy ve všední dny je letoun provozující pravidelnou linku pro DHL. Tento je vždy na své stání na APN S pomocí vozidla Follow me a signalistou LO s pomocníky na křídle. V případě nedostatku prostoru pro bezpečný průjezd letadla na vlastní pohon je letadlo zataženo / vytaženo na místo pomocí tahače LO.

- 6) Prostor statických ukázek (plocha 5) je v době přiletů a odletů oddělen od zbytku výstavního areálu mobilním oplocením střeženým bezpečnostní agenturou. Průjezd touto branou je možný pouze na výslovné povolení provozovatele letiště. Zároveň je TWY G před vstupem na RWY obsazen pracovníky ÚBL, jejichž úkolem je zabránit neoprávněnému vstupu / vjezdu na provozní plochu.
- 7) Prostory provozní plochy uzavřené pro běžný provoz jsou opatřeny denním i nočním značením – tzn. značky a světla nepoužitelnosti včetně zneschopnění SZZ uzavřených pojezdových drah.
- 8) Jsou prováděny častější preventivní kontroly provozní plochyⁱⁱ v důsledku složení provozu a většího namáhání betonových vozovek provozováním vojenské techniky.
- 9) Bepilotní prostředky – viz odstavec security

ZÁVĚR

V rámci předchozích řádků jsme jen velice stručně nastínili problematiku bezpečnosti během konání velkého leteckého dne na civilním letišti. Přestože jde v rámci pořádání takto rozsáhlé akce jen o jednu část, jedná se o poměrně zásadní problematiku z hlediska celkové bezpečnosti akce. Hlavním koordinátorem těchto opatření je provozovatel letiště. Během doby existence akce dochází k vývoji předpisů, změnám bezpečnostní situace i k získávání zkušeností, které se pak odrážejí v přijímaných opatřeních. Jednoznačnou prioritou organizátorů akce je bezpečnost. To je základní podmínka spokojenosti návštěvníků i účastníků, kteří si tak mohou z akce odnášet jen příjemné zážitky.

SEZNAM ZKRATEK

AČR	Armáda České republiky
APN	Apron – odbavovací plocha
APP	Approach – přibližovací stanoviště ŘLP
ATCO	Air Traffic Controller – řídící letového provozu ŘLP, s.p.
CTR	Control zone – řízený okresek letiště
ICP	Inspektorát cizinecké policie
HZS MSK	Hasičský záchranný sbor Moravskoslezského kraje
KŘP MSK	Krajské ředitelství Policie Moravskoslezského kraje

LO	Letiště Ostrava, a.s.
NOTAM	Notice to Airman – informace pro posádky
ŘLP	Řízení letového provozu, s.p.
RWY	Runway – vzletová a přistávací dráha
TWR	Tower – stanoviště ŘLP věž
ÚBL	Útvar bezpečnosti letiště – organizační složka LO
ZZS MSK	Zdravotní záchranná služba Moravskoslezského kraje

ⁱ V praxi samozřejmě může dojít k časovému střetu. Např. pokud v případě zpoždění při příletu dopravního letadla probíhá nácvik nebo ukázka, je toto letadlo nuceno vyčkávat do ukončení ukázky.

ⁱ TWY G je pro běžný provoz uzavřená (viz AIP ČR), k její aktivaci dochází jen v případě potřeby

ⁱⁱ V případě letiště Ostrava je to obchodní společnost Letiště Ostrava, a.s. vlastněná majitelem letiště, kterým je Moravskoslezský kraj.

ⁱⁱⁱ Což ostatně není volně možné bez povolení ani v době mimo akci – viz Doplněk X předpisu L2

^{iv} Předpis požaduje čtyři kontroly během 24 hodin

HODNOTENIE ZÁŤAŽE PILOTOV S VYUŽITÍM PROGRESÍVNYCH TECHNOLOGIÍ

Ing. Iveta Škvareková

Fakulta prevádzky a ekonomiky dopravy a spojov, Žilinská univerzita v Žiline, Slovenská republika
iveta.skvarekova@fpedas.uniza.sk

doc. Ing. Branislav Kandra, PhD.

Fakulta prevádzky a ekonomiky dopravy a spojov, Žilinská univerzita v Žiline, Slovenská republika
kandra@fpedas.uniza.sk

Abstrakt – Tento článok je zameraný na hodnotenie mentálnej záťaže pilotov s využitím progresívnych technológií. Pre realizáciu nášho výskumu budeme využívať technológiu sledovania očných pohybov (eye track), pomocou ktorej je možné určiť rozloženie pozornosti pilota pri vykonávaní predpísaných letových postupov. Vďaka počtu fixácií a celkovej doby zotrvania môžeme určiť mentálnu záťaž pilota v danom časovom okamihu. V ďalších fázach výskumu budeme taktiež využívať technológiu, ktorá analyzuje mozgovú aktivitu (emotiv EEG neurohedseat) a následne získané hodnoty porovnáme s výsledkami zo zariadenia eye track. Našej štúdie sa zúčastní šesť pilotov, ktorí budú rozdelení do dvoch skupín: skúsení a neskúsení piloti. Dané merania sa uskutočnia na letovom simulátore ELITE S923 a L410, ktoré sa nachádzajú na letisku Žilina, Dolný Hričov. V prípade simulátora ELITE S923 sa jedná o klasické analógové zobrazenie leteckých prístrojov, na druhej strane simulátor L410 je vybavený moderným glass kokpitom. Cieľom našej práce je zistiť do akej miery sa odlišuje mentálna záťaž pilotov počas testovania na daných simulátoroch, keďže sa jedná o dve rozdielne zobrazenia. Taktiež budeme hodnotiť úroveň mentálnej záťaže u skúsených a neskúsených pilotov. V závere nášho článku sa nachádzajú možnosti využitia progresívnych technológií v letectve.

Kľúčové slová – Eye track, glass cockpit, EEG neurohedseat, palubné prístroje, mentálna záťaž

Úvod a analýza Súčasného stavu

Využívanie inovatívnych progresívnych technológií sa v poslednej dobe stáva čoraz populárnejším v oblasti sledovania ľudskej záťaže a výkonnosti. Letecká doprava nie je výnimkou a tieto zariadenia už boli využité vo viacerých výskumoch. Zaradenie na sledovanie očných pohybov (eye track), zaznamenáva základné očné pohyby. V súčasnosti sa toto zariadenie využíva pri efektívnom rozložení palubných prístrojov v kokpite, pri výcviku pilotov a taktiež pri adaptácii pilota na inovatívne technológie využívané v letectve (Novák & Žáčik, 2016)

Pristátie sa všeobecne zaraďuje medzi najnebezpečnejšie fázy letu. Khatwa a Helmreich (1999) uvádzajú, že 287 z 621 (46%) smrteľných nehôd v rokoch

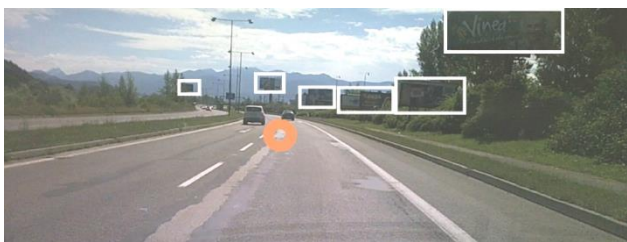
1980 až 1996 sa udialo počas fáz priblíženia a pristátia lietadla. Podľa údajov Bakera, Lamb, Li a Dodd (1996) sa výcvikové lety stretávajú s viac ako 300 nehodami ročne (štatistiky zaznamenávajú obdobie v rozmedzí rokov 1989 a 1992), že 51% nehôd sa odohralo počas sólových výcvikových letov. Z týchto nehôd zomrelo 193 z 360 študentov (54%) pri pristátí alebo odlete. Pri tak veľkom počte nehôd, ku ktorým došlo počas pristátia, je dôležité zlepšiť metódy výcviku pilotov počas tejto zraniteľnej fázy letu.

Bellenkes, Wickens a Kramer (1997) zistili rozdiely vo vizuálnom skenovaní počas zatáčania, stúpania a klesania. Napríklad pilot sleduje výškomer častejšie počas fáz, v ktorých sa mení smer, zatiaľ čo pri zmene smeru a nadmorskej výšky častejšie sleduje rýchlomer. Klesanie a pristátie majú spoločné znaky (strata nadmorskej výšky), avšak je dôležité si uvedomiť, že vizuálne skenovanie počas pristátia sa môže značne líšiť od klesania, pretože pri pristátí je potrebná väčšia precíznosť a taktiež sledovanie vonkajšieho sveta. Najdôležitejší záver ku ktorému dospeli Bellenkes a kol. (1997) spočíva v tom, že skenovacie rozdiely medzi nováčikmi a odborníkmi sa vyznačujú koreláciou s lepším výkonom. Všeobecne povedané, skúsenejší piloti by mali mať kratšie doby zotrvania a viac fixácií ako neskúsení piloti. Najmä čo sa týka rýchlomera, výškomera a váriometra.

Najnovší výskum z roku 2013 pod vedením NASA bol zameraný na využívanie nových technológií v letectve. Simulácie boli prispôbené reálnym podmienkam doplnené o neočakávané situácie ako sú: zlé poveternostné podmienky, hustá prevádzka, zlyhania prístrojov, nesprávne údaje, chybná komunikácia a zmeny letových plánov. Závery tejto štúdie priniesli rôzne výsledky, medzi najdôležitejšie môžeme poznamenať, že využitím automatických zariadení dochádza k strate pozornosti a pilot môže ľahko prehliadať chyby (Novák & Mrázová, 2015)

Vďaka spomenutým výskumom, môžeme dospieť k záverom že efektívne modely skenovania prinášajú lepší výkon (Shapiro & Raymond, 1989). Experti tiež preukázali, že vyššia frekvencia fixácií s kratším časom zotrvania na všetkých prístrojoch vedie k zvýšenému výkonu (Bellenkes a kol., 1997) a (Kramer a kol., 1994). Preto počas letu podľa prístrojov môžeme predpokladať že tí, ktorí preukážu časté fixácie s krátkym časom zotrvania a maximalizujú využitie periférnej vize, dokážu lepšie pristáť.

Na Slovensku sa touto témou zaoberá pán doc. Ing. Radovan Madleňák, PhD., ktorý viedol výskum zameraný na rozptýlenia vodiča vizuálnym smogom na vybranom cestnom úseku na Slovensku z roku 2016.



Obrázok 1 Príklad vizuálneho smogu v okolí ciest (zdroj: Madleňák, 2016)

Metodika merania

Meranie pracovného zaťaženia pilota je subjektívna metóda, ktorá je ťažko merateľná v reálnom čase. Vďaka predošlým výskumom bolo preukázané, že existuje úzke prepojenie medzi mentálnym zaťažením pilota a očnými pohybmi. Práve z tohto dôvodu je predmetom skúmania našej práce meranie rozloženia pozornosti pilotov pri IFR letoch. Cieľom nášho merania je zistiť aké je rozloženie pozornosti pilota počas postupu presného a nie-presného prístrojového priblíženia a ako sa odlišujú skenovacie techniky, doby fixácie a doby zotrvania u skúsených a neskúsených pilotov.

Participant

Meraní sa dobrovoľne zúčastnilo šesť pilotov, ktorí sú súčasne pilotmi vo výcviku na LVVC. Vek účastníkov sa pohyboval od 21 do 28 rokov (priemerný vek 23,8). Všetci účastníci boli vopred oboznámení s priebehom celého merania a vopred sa naň pripravili. Pre našu prácu sme sa vopred rozhodli pilotov rozdeliť do dvoch základných skupín podľa počtu nalietanych hodín a skúsenosti s IFR letaním. Obidve skupiny si prešli teoretickým výcvikom IFR letania. Účastníci boli požiadaní, aby vykonali dve merania podľa pripraveného scenáru. Celková doba letu spolu s prípravou nepresiahla 15 minút. Skúsení piloti lietali dané úlohy sami, aby neboli počas letu rozptyľovaní. V prípade neskúsených pilotov je let absolvovaný spolu s inštruktorom, ktorý dohliada na správne prevedenie daných úloh. Všetci piloti vopred dobre poznali a ovládali predpísané úkony pri vykonávaní letových postupov.

Letový simulátor

Naše merania prebiehali na letovom simulátore ELITE S923 FNPT II MCC, ktorý sa nachádza na letisku Žilina – Dolný Hričov. Technológia pozostáva z letového simulátora konfigurovaného ako turbovrtuľový letún Beechcraft King Air B200. Hardvér simulátora má reálne rozmery a spĺňa požiadavky kladené na simulátor typu „FNPT II“ a zároveň „FNPT II MCC“ v zmysle predpisu a kvalitatívnych a technických noriem v zmysle štandardov EASA CS-FSTD(A) a platných predpisov a noriem platných v SR. Zariadenie obsahuje prístrojové a avionické vybavenie, vrátane sedadiel pre dvoch pilotov, a inštruktora v zmysle platných predpisov. Zariadenie obsahuje vybavenie kokpitu pre dennú a nočnú prevádzku a je schopné simulovať štandardné meteorologické javy a poruchy lietadla.



Obrázok 2 Letový simulátor ELITE S923 počas merania

V blízkej budúcnosti sa merania zopakujú na letovom simulátore letúna L-410 UVP-E20 s dvoma turbovrtuľovými motormi s možnosťou zavedenia spätnej väzby. Simulátor disponuje moderným „glass kokpitom“ a je schopný simulovať štandardné poruchy daného typu letúna. Namerané hodnoty sa následne vyhodnotia a porovnajú s výsledkami so simulátora ELITE S923.



Obrázok 3 Letový simulátor L-410 UVP-E20

Technológia eye track

Pri realizácii praktickej časti našej práce sme využili zariadenie eye track, pomocou ktorého je možné vidieť rozloženie pozornosti pilota pri vykonávaní predpísaných letových postupov. Sledovanie očných pohybov sa ukazuje ako sľubná metóda pri analýze rozloženia prístrojov v kabíne lietadla. (Bjorneseth a kol., 2014) Taktiež nám táto technológia môže pomôcť pri zhodnotení pripravenosti pilota na let podľa prístrojov (Novák & Mrázová, 2015^b)

Okuliare na sledovanie očných pohybov SMI 2 Wireless (SMI ETG 2w) sú navrhnuté na zaznamenávanie prirodzeného ľudského pohľadu v reálnom čase- so širokou škálou aplikácií, výbornou mobilitou a jednoduchým používaním. Okuliare sa dodávajú s malým rekordérom, v podobe telefónu Samsung Galaxy Note 4, na ktorý sú zaznamenávané údaje sledovaných používateľov. Zariadenie sleduje očné pohyby na binokulárnom princípe s automatickou kompenzáciou paralaxy. Pre zvýšenie produktivity je možné v softvéri SMI BeGaze použiť efektívne zaostrovanie analýzy dát na relevantných sekvenciách zaznamenaných dát. (www.smivision.com)

Softvér Behavioral and Gaze Analysis (SMI BeGaze) zjednodušuje analýzu monokulárnych a binokulárnych údajov. Umožňuje analyzovať informácie získané pomocou zariadenia ETG v podobe grafov prípadne videí. Písmená na obrázku nižšie označujú umiestnenie troch kamier: (a) – kamera zaznamenávajúca prostredie, (b) – kamery zaznamenávajúce očné pohyby.



Obrázok 4 SMI eye tracing glasses (zdroj: www.smivision.com)

Nalietavaná trajektória

Pre potreby merania rozloženia pozornosti pilotov na letovom simulátore sme ako základnú činnosť vybrali vykonanie postupu prístrojového priblíženia NDB a ILS na letisku Žilina – Dolný Hričov (LZZI) pre vzletovú a pristávaciu dráhu (RWY) 06.

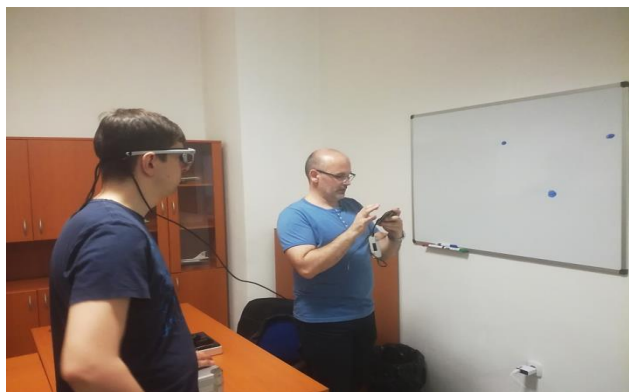
Scenár testovania

Scenár testovania participantov vychádza zo základnej metodiky merania a samotný experiment pozostáva z nasledovných bodov:

- Predletová príprava a orientácia pilota na simulátore,
- kalibrácia zariadenia eye track,
- NDB priblíženie,
- ILS priblíženie,
- Dotazník.

Predletová príprava spočíva v oboznámení sa s vybranými navigačnými a letovými postupmi, ktoré budú vykonávať počas testovania. Piloti si následne zopakujú úkony pre daný typ letúna (B200) a presunú sa do kokpitu, kde vykonajú krátky zoznamovací let. Po vykonaní tohto letu začne kalibrácia zariadenia eye track.

Kalibrácia zariadenia spočíva v zameraní troch kontrolných bodov. Pilot absolvoval kalibráciu v stoji, vo vzdialenosti 1,5 metra od tabule, na ktorej mal vyznačené referenčné body. Je veľmi dôležité, aby sa pilot pozeral priamo na vyznačené body a nehýbal sa. Po samotnej kalibrácii ešte prevedieme kontrolu, či je zariadenie správne nakalibrované a nedochádza k odchýlkam. V prípade problémov je možné ručné nastavenie kamier, ktoré sledujú oči. Prípadne sa dá upraviť držiak na okuliároch podľa tvaru nosa.



Obrázok 5 Kalibrácia zariadenia SMI ETG 2w

Následne je na inštruktorskom stanovisku nastavená počiatočná poloha simulovaného letu. Tento počiatočný bod merania sa nachádza v nadmorskej výške 4000 stôp a vo vzdialenosti 8,5 NM od prahu RWY 06. Po dohode s testovaným pilotom sa začne na povel „štart“ meranie

postupu NDB. Meranie je spustené štartom simulácie a videozáznamu v technológii eye track. Po vykonaní merania NDB priblíženia je celý postup opakovaný pre ILS priblíženie. Dĺžka videozáznamu pri oboch meraniach je približne 4 min. a 30 sek.

Po ukončení druhého merania testovaný pilot vyplní dotazník. Súčasťou dotazníka sú aj doterajšie letové skúsenosti pilota.

Fyzické a psychické rozpoloženie dokáže v značnej miere ovplyvniť výkonnosť pilota. Tieto faktory môžeme pozorovať hlavne v prípade rozloženia pozornosti, preto je dôležité položiť pilotovi otázku ako sa pred samotným letom cítil. Pretože tento stav nám môže podstatne ovplyvniť nami namerané hodnoty.

Výsledky a analýza merania

Surové dáta zo zariadenia eye track sme spracovali pomocou softvéru BeGaze. Na začiatku sme si vložili jednotlivé videá do aplikácie. Každé priblíženie sa vyhodnocovalo samostatne. Dĺžka jedného videa sa pohybovala od 4 do 5 minút. Pred samotnou analýzou sme si vytvorili fotografiu palubnej dosky simulátora, na ktorom sa uskutočnilo meranie. Následne sme si na tejto fotografii určili jednotlivé oblasti záujmu (AOI- area of interest)). Toto rozdelenie sme použili pri všetkých videách. (Obr.5)



Obrázok 6 Rozdelenie palubovky na jednotlivé oblasti záujmu

Pokračovali sme výberom videa, ktoré sme išli analyzovať a určili sme si referenčné body. Keďže sa nejednalo o statický obraz, museli sme zadávať tieto body jednotlivo. (Obr. 6) Softvér si následne určil sakády, fixácie a dĺžku samotnej fixácie. Tieto údaje je najlepšie vidieť na tzv. „scan path“, kde je vidieť celkový priebeh sledovania prístrojov (Obr. 7)



Obrázok 7 Určovanie referenčných bodov



Obrázok 8 Scan path počas NDB približenia

Po vyznačení referenčných bodov na vopred vybranú fotografiu sme vyhodnocovali jednotlivé údaje a dostali výsledky v podobe sekvenčnej tabuľky, grafu s celkovým časom zotrvania a kľúčových ukazovateľov výkonnosti. Následne sme tieto hodnoty porovnali.

Rozloženie pozornosti počas NDB a ILS približenia

Výsledky v tejto časti nám zobrazujú do akej miery pilot prijíma informácie počas pristátia sledovaním vonkajšieho okolia a sledovaním palubných prístrojov u presného a nie-presného približenia.

Pomocou softvéru BeGaze sme si vypočítali celkové zotrvanie na jednotlivých prístrojoch (dwell time). Táto hodnota je v percentách, avšak celkový súčet nie je 100%. Zostávajúce percentá predstavujú chyby, ktoré vznikli počas merania (kamera nedokázala sledovať očné pohyby pilota a pod.) a žmurknutia. V tabuľke sa nachádza tzv. „white space“ prípadne „white zone“ jedná sa o oblasť, ktorá sa nenachádza v žiadnej označenej oblasti záujmu. Prvý stĺpec pri jednotlivých približeniach v tabuľke predstavuje hodnoty získané pomocou softvéru BeGaze, druhý je prepočítaný na 100% pomocou programu Microsoft Excel. V tabuľkách môžeme vidieť percentuálny podiel celkovej doby zotrvania na jednotlivých oblastiach záujmu. Skúsení piloti si počas oboch približení zachovali radiálne selektívne rozloženie pozornosti medzi jednotlivými prístrojmi s krátkymi fixáciami. Taktiež je vidieť percentuálny rozdiel medzi presným a nie-presným približením najmä čo sa týka sledovania vonkajšieho okolia. Počas oboch približení bol hlavným prístrojom umelý horizont.

Tabuľka 1 Rozloženie pozornosti skúsení piloti

Skúsení piloti						
AOI	ILS			NDB		
	S1	S2	S3	S1	S2	S3
RWY	8,1	14,7	9,5	17,2	14,7	19,2
Umelý horizont	34,7	28,3	29	22,3	18	19,4
Rýchlomer	6,2	4,1	2,1	5,3	2,4	8
Výškomer	4,8	5,1	5,7	5,3	7,8	8,3
ADF	8,3	8,4	1,5	11,2	13	7,8
Sklonomer	0,1	0,2	0	0,2	0,2	0
HSI	22,1	19,7	37,6	14,3	8,7	10,1
Váriometer	0,3	2	3,6	2,2	3,3	8,2

Motorové a navigačné prístroje	5,7	7,1	6,6	9,4	12,1	8,5
White space	9,6	10,4	4,4	12,1	14,9	5,3
Mapa	0	0	0	0,2	4,8	5,2

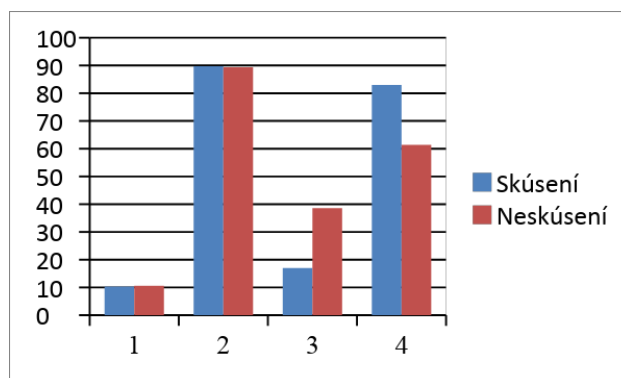
V prípade neskúsených pilotov môžeme vidieť niekoľko rozdielov oproti skenovacej technike skúsených pilotov. Napriek teoretickej príprave piloti si nedokázali udržať radiálne selektívne skenovanie. Ako môžeme vidieť v tabuľke piloti vynechali primárny prístroj- rýchlomer. Taktiež dĺžky fixácií sú značne dlhšie ako v prípade skúsených pilotov- najmä čo sa týka sledovania vonkajšieho okolia.

Tabuľka 2 Rozloženie pozornosti neskúsení piloti

Neskúsení piloti						
AOI	ILS			NDB		
	N1	N2	N3	N1	N2	N3
RWY	10,1	8,3	13,5	40	38,2	37,6
Umelý horizont	34,3	16,3	34,5	27,9	13,7	25,6
Rýchlomer	0,1	0	0	0,3	0	0
Výškomer	19,8	1,5	5,1	9,3	4,8	2
ADF	0	0,1	0	1,7	3,6	13,1
Sklonomer	0	0,1	0	0	0	0
HSI	19,6	64,1	35	10,6	26,3	19,7
Váriometer	12,1	4,2	9,1	7,5	4,4	0,9
Motorové a navigačné prístroje	0,5	0,5	1,3	1,7	0,2	0,2
White space	3,1	4,9	1,4	1	8,8	0,9
Mapa	0,2	0	0	0,1	0	0

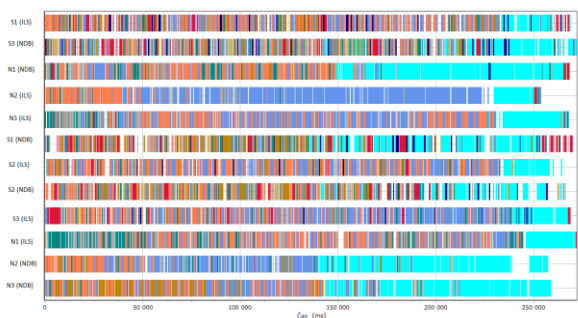
Porovnanie rozloženia pozornosti

Analýzovaním údajov zo zariadenia eye track sme si vytvorili graf, ktorý porovnáva dĺžku zotrvania ja palubným prístrojoch a RWY. Počas ILS približenia je podiel u skúsených a neskúsených pilotov takmer totožný. Pri NDB približení môžeme vidieť rozdiel, kde neskúsení piloti majú dlhšiu dobu zotrvania na RWY. Porovnaním grafu č. 8, môžeme vidieť, že neskúsení piloti začali so skenovaním RWY oveľa skôr ako skúsení pilot. Hlavným rozdielom je, že neskúsení piloti počas pristátia venovali pozornosť výlučne RWY pred sebou. Skúsení piloti naďalej do skenovania zapájali aj základné letové prístroje.



Graf 1 Porovnanie rozloženia pozornosti- letové prístroje a dráha

Počas letu je za hlavný prístroj považovaný umelý horizont, avšak počas pristátia pilot prijíma tuto referenciu priamo vizuálnym pozorovaním reálneho horizontu. Túto skutočnosť môžeme vidieť na nasledujúcom grafe č. 8, kde všetci piloti v konečnej fáze pristátia nevenujú pozornosť umelému horizontu, ale dráhe pred sebou (tyrkysová farba).



Graf 2 Porovnanie rozloženia pozornosti u participantov (ILS, NDB)

Záver

Najcennejším a najvýkonnejším orientačným orgánom človeka je zrak. Zariadenie na sledovanie očí eye track sa ukazuje ako jednou z najefektívnejších techník sledovania rozloženia pozornosti pilota počas letu. Očné pohyby poskytujú informácie o pracovnej záťaži a situačnom povedomí pilota. Pilotovanie je zložitým uvedomelým aktom, ktorý obsahuje procesy vnímania informácie, sformovania obrazu letu na základe vnímaných informácií a nakoniec vyplnenie motorickej činnosti.

Základom všetkých letov podľa prístrojov je správne rozdelenie pozornosti a správna interpretácia údajov letových prístrojov. Pozorovaním zodpovedajúceho prístroja v správnom okamihu môže pilot dosiahnuť požadovaný výsledok. Štruktúra odčítania údajov je určená vecnou stránkou informácie a významnosti signálu vychádzajúceho z každého prístroja. Frekvencia a premiestňovanie pohľadu na prístrojovej doske závisí na fáze letu. Stredná a relatívna doba fixácie pohľadu na rôznych prístrojoch nie je stála, je určená potrebami kontroly a riadenia v konkrétnom režime.

Počas nášho merania sme zistili, že skúsení piloti boli schopní za 1 minútu 120 až 140 prenosov (sakád) pohľadov z prístroja na prístroj. Piloti sa často mylne domnievajú, že počas sledovania prístrojov kľže ich pohľad rovnomerne po jednotlivých ukazovateľoch. Avšak pri skenovaní prístrojov robia oči skokové pohyby s určitou fixáciou (kratšou alebo dlhšou) na jednotlivých prístrojoch. Prístroje sú sledované v rôznom poradí v závislosti na fáze letu. Doba fixácie pohľadu ešte nemusí nutne znamenať jeho plné a kvalitné vnímanie. Pilot totiž nemá toľko času na nájdenie a odstránenie odchýlky. Môže dôjsť len k zahájeniu opravy.

Skúsení piloti dokázali vykonať za minútu 120 až 140 prenosov pozornosti. Čo znamená približne 0,5 sekundy na jednotlivý ukazovateľ. Tým, že piloti porovnávali hodnoty prístroja s predchádzajúcimi, obnovovali si, interpolovali význam parametra za dobu prestávky. Vďaka interpolácii vyplnili prestávky medzi susednými parametrami, čo vyvolalo dojem neustálej kontroly. Výsledkom je, že piloti predvídali zmeny polôh na určitý čas dopredu.

Najväčší rozdiel medzi skúsenými a neskúsenými pilotmi bol v celkovej dobe zotrvania (dwell time) a počte fixácií. Ako sme už vyššie spomenuli skúsení piloti dokázali prijímať informácie v kratšom čase. Kratšie zotrvanie na

jednom prístroji umožnilo skúsenejším pilotom skenovať ostatné oblasti záujmu. Taktiež mali viac času na detekciu prípadných chýb a následne zahájenie opravy.

Neskúsení piloti sa najčastejšie dopúšťali chýb, ktoré sú spomenuté v teoretickej časti našej práce. Najväčšou chybou, ktorú vykonávali bolo vynechanie prístroja. V našom prípade sa jednalo o primárny prístroj - rýchloamer, ktorý je súčasťou základného rozloženia prístrojov do „tvaru T“ a v žiadnom prípade nemôže byť vynechaný počas pozorovania. Neskúsení piloti sa taktiež často dopúšťali fixácie na jednotlivé prístroje. Jedná sa o najčastejšiu chybu pri IFR výcviku. Táto chyba je postupne odstránená s nalietaťmi hodinami a skúsenosťami s IFR lietaním.

Ďalším rozdielom medzi skúsenými a neskúsenými pilotmi je percentuálny podiel rozdelenia pozornosti počas pristátia na prístroje a dráhu pred pilotom. Počas ILS približenia je podiel u skúsených a neskúsených pilotov takmer totožný. Pri NDB priblížení môžeme vidieť rozdiel, kde neskúsení piloti majú dlhšiu dobu zotrvania pohľadu na dráhu. Hlavným rozdielom je, že neskúsení piloti počas pristátia venovali pozornosť výlučne dráhe pred sebou. Skúsení piloti naďalej do skenovania zapájali aj primárne letové prístroje.

Dospeli sme k záveru, že osvojenie radiálnej selektívnej pozornosti je zdĺhavý proces, ktorý sa nedá naučiť len teoretickou prípravou ale je potrebné praktické lietanie a nadobúdanie nových skúseností s IFR lietaním. Ako sme už vyššie dokázali, sú viditeľné značné rozdiely v skenovacej technike medzi skúsenými a neskúsenými pilotmi. Výkonnosť pri pristáti je úmerná k celkovému počtu fixácií a menším priemerným časom zotrvania počas fixácie.

Na záver môžeme zhodnotiť, že využitie zariadenia eye track počas výcviku pilotov môže byť vo viacerých smeroch užitočnou metódou. Jedná sa o objektívne sledovanie, ktoré nerozptyľuje pilota a poskytuje informácie o priebehu letu inštruktovi. Výhodou tohto zariadenia je, že samotný pilot si môže dodatočne skontrolovať rozloženie pozornosti na jednotlivých prístrojoch, pretože v mnohých prípadoch si nemusí uvedomovať fixáciu na jednotlivých prístrojoch prípadne rozptyľovanie pozornosti inými zariadeniami v kokpíte.

Technológia eye track môže pomôcť pri hodnotení využiteľnosti nových prístrojov a zariadení kokpitu. Do budúcnosti by sme radi naše merania uskutočnili na letovom simulátore typu L-410 UVP-E20, ktorý disponuje moderným „glass kokpitom“ a namerané hodnoty porovnali s výsledkami z našej práce.

Acknowledgment

This paper is published as one of the scientific outputs of the project: „New technologies and best practices in education in the Air Transport and Professional Pilots“, KEGA 011ŽU-4/2018.

Zoznam bibliografických odkazov

- Bellenkes A.H., Wickens C.D., Kramer A.F., (1997) *Visual scanning and pilot expertise: the role of attentional flexibility and mental model development*
- Carasco, 2011, H. Deubel and W.X. Schneider, „Saccade target selection and object recognition: Evidence for a common attentional mechanism,“ *Vision research*

Diez M., Holt R.W., Pinney M.E., Hansberger J.T., Schoppek W., (2001) *"Tracking pilot interactions with flight management systems through eye movements"*

FAA, U.S. Department of Transportation, (2012) *Instrument Flying Handbook*

Frische F., Osterloh J.P., Ludtke A., (2011) *Simulating Visual Attention Allocation of Pilots in an Advanced Cockpit Environment*

Holmqvist K., Nystrom M., Andersson R., Dewhurst R., Jarodzka H., (2011) *Eye tracking: A comprehensive guide to methods and measures*

Kasarskis P. a kol.,(2001) *Comparison of expert and novice scan behaviors during VFR*

Kříž J., (2007) *Metodika pilotného výcviku na letovom simulátore*, ISBN 978-80-8070-7-4

^aNovák, A. Mrazová, M.: Research of physiological factors affecting pilot performance in flight simulation training device / Andrej Novak - Maria Mrazova. In: Communications : scientific letters of the University of Žilina. - ISSN 1335-4205. - Vol. 17, no. 3 (2015), s. 103-107.

^bNovák, A., Mrazová, M.: The effect of physiological stressors on pilot's decision making during unfavourable simulated conditions: An explorative study In: Incas Bulletin. - ISSN 2066-8201. - Vol. 7, iss. 2 (2015), s. 153-162.

Novák, A., Žáčik, N.: Research and educational laboratories of air transport department at the University of Žilina . In: INAIR 2016, Žilina: University of Žilina, 2016. - ISBN 978-80-554-1273-3. - S. 110-114.

SensoMotoric Instruments: SMI Eye Tracking Glasses 2 wireles, www.smivision.com

Tsang P.S. a Vidulich M.A., (2003) *Principles and Practice of Aviation Psychology*

DECLARED TRAINING ORGANISATIONS (DTO)

doc. Ing. Bc. Jakub Hospodka, Ph.D.

Department of Air Transport, Faculty of Transportation Sciences, Czech Technical University in Prague, Czech Republic
hospojak@fd.cvut.cz

Ing. Vladimír Plos, Ph.D.

Department of Air Transport, Faculty of Transportation Sciences, Czech Technical University in Prague, Czech Republic
plos@fd.cvut.cz

Abstract – EU directive 1178/2011 was amended by Annex VIII where requirements for new type of a training organization, so called Declare training organization (DTO), are defined. AMC and GM materials to PART-DTO were published by EASA ED on 14 September 2018. Therefore, we would like to seize the opportunity to discuss this very up-to-date issue on the NTCL conference. In this paper we would like to present main differences between ATO and DTO, especially from the safety point of view.

Key words – DTO, EASA, Training, Safety.

Introduction

This paper dissertates about very current new option for pilot training. EU directive 1178/2011 [1] was amended by Annex VIII where are requirements for new type of a training organization so called Declarer training organization (DTO). AMC and GM material to PART-DTO [2] were published by EASA ED on 14 September 2018. The main reason for introduction of this new type of organization was to allow simplified operation for training organizations which are providing non-complex trainings. Therefore, it is essential to strictly define scope of trainings which is any DTO eligible to do.

Scope of the trainings eligible for DTO

According to DTO.GEN 10 DTOs are entitled to provide:

A DTO shall be entitled to provide the following training, provided that the DTO has submitted a declaration in accordance with point DTO.GEN.115:

(1) for aeroplanes:

- (a) theoretical knowledge instruction for LAPL(A) and PPL(A);
- (b) flight instruction for LAPL(A) and PPL(A);
- (c) training towards class rating for SEP(land), SEP(sea) and TMG;

- (d) training towards additional ratings: night, aerobatics, mountain, sailplane and banner towing;

(2) for helicopters:

- (a) theoretical knowledge instruction for LAPL(H) and PPL(H);
- (b) flight instruction for LAPL(H), PPL(H);
- (c) single-engine type rating for helicopters for which the maximum certified seat configuration does not exceed five seats;
- (d) training towards night rating;

(3) for sailplanes:

- (a) theoretical knowledge instruction for LAPL(S) and SPL;
- (b) flight instruction for LAPL(S) and SPL;
- (c) training towards extension of privileges to TMG in accordance with point FCL.135.S;
- (d) training towards additional launch methods in accordance with point FCL.130.S;
- (e) training towards additional ratings: aerobatics, sailplane towing, and sailplane cloud flying rating;
- (f) training towards flight instructor rating FI(S);
- (g) FI(S) refresher seminar.

(4) for balloons:

- (a) theoretical knowledge instruction for LAPL(B) and BPL;
- (b) flight instruction for LAPL(B) and BPL;
- (c) training towards class extension in accordance with point FCL.135.B;
- (d) training towards class or group extension in accordance with point FCL.225.B;
- (e) training towards extension to tethered flight in accordance with point FCL.130.B;
- (f) training towards night rating;

- (g) training towards flight instructor rating FI(B);
- (h) FI(B) refresher seminar.

This complete list of all allowed trainings which shall be provided by a DTO. No other training can be provided by a DTO even if DTO originated from ATO which was allowed for such training. From the aforementioned list it is obvious that the scope of training is focused on general aviation pilots, Sailplanes and balloons.

In following articles, we want to stress differences between ATO and DTO and especially emphasize the obligations of a DTO which may represent an issue.

NPA 2015-20 difference

DTO was firstly introduced in NPA 2015-20 [3]. In this NPA DTO was called BTO (basic training organization), but during the legislative process that name was changed to DTO. There are several differences between the NPA 2015-20 proposal and the rulemaking text which was published in 2018. During the final revision and preparation of the draft rule text, it was decided to renumber the provisions of the new Part-ATO in order to be consistent with the numbering system of Part-ORA. In this way, also the sequence of the provisions was changed in a few cases. In the EASA documents References starting with 'BTO.GEN.XXX' refer to the numbering system as shown in NPA 2015-20, while references starting with 'DTO.GEN.XXX' refer to the new numbering. The following table illustrates which provisions have been renumbered and in which way, to ease navigation for those who are familiar with former NPA 2015-20 numbering.

Table 1 – NPA to DTO differences EASA Opinion 11-2016

Topic	Old Numbering (NPA 2015-20)	New numbering (Opinion No 11/2016)
General	BTO.GEN.100	DTO. GEN.100
Competent Authority	BTO.GEN.110	DTO. GEN.105
Scope	BTO.GEN.120	DTO. GEN.110
Declaration Process	BTO.GEN.130	DTO. GEN.115
Means of Compliance	<i>Not part of NPA</i>	DTO. GEN.120
Scope and privileges	BTO.GEN.140	DTO. GEN.125
Exercise of training activities	BTO.GEN.170	DTO. GEN.135
Access	BTO.GEN.150	DTO. GEN.140
Findings	BTO.GEN.160	DTO. GEN.150
Immediate reaction to a safety problem	BTO.GEN.180	DTO. GEN.155
Occurrence reporting	<i>Not part of NPA</i>	DTO. GEN.160
Personnel requirements	BTO.GEN.200	DTO. GEN.210
Record-keeping	BTO.GEN.220	DTO. GEN.220
Training programme	BTO.GEN.230	DTO. GEN.230
Training aircraft and FSTD	BTO.GEN.240	DTO. GEN.240

Topic	Old Numbering (NPA 2015-20)	New numbering (Opinion No 11/2016)
Aerodromes and operation sites	BTO.GEN.250	DTO. GEN.250
Facility requirements	BTO.GEN.255	DTO. GEN.255
Theoretical knowledge instruction	BTO.GEN.260	DTO. GEN.260
Annual internal review and activity report	BTO.GEN.210	DTO. GEN.270

DTO foundation

DTO is founded by declaration of the DTO. The declaration shall state the aerodrome(s) which is the base of training organization. List of type of aircrafts used for the training and training programs which are to be provided. Declaration is the only document which DTO has to provide. Competent authority only verifies if the declaration contains all mandatory information, the authority than acknowledge receipt and provides DTO with the DTO reference number. And that is the whole process, which is much shorter than the certification process for a new ATO. The declaration form in Czech language is already accessible from the CAA web page.

Changes in the declaration are done same way. The authority just acknowledges the change and DTO is allowed operate immediately after receiving the receipt upon those new terms.

The only difference in this process is a verification of a new training program which has to be done by the authority, where the authority shall verify the compliance with APRT-FCL.

The termination of the declaration may be done either by the DTO has notified the competent authority of the cessation of some or all of the training activities covered by the declaration or, and more probably, by not providing the specific training in 36 months.

Personnel requirements

For a DTO declaration only two names have to be given. First is Accountable manager, and second is Head of training (HT), one person can fulfil both positions. Due to presumed lower number of personal for DTO than for ATO, HT has to manage very wide area of responsibilities.

HT has to hold all instructor licenses with privileges that are relevant to the training provided by the DTO, including sufficient experience as necessary. When HT doesn't hold an appropriate license, the deputy HT has to be established for the relevant training(s).

Ratio of DTO instructor to pilot students is more benevolent than for an ATO. For an ATO it is maximal ration 6:1 between student and instructors, for a DTO ratio „should allow maintaining the quality and safety of the training provided“. The limit of 28 students per a ground school class is same as for an ATO.

DTO safety reporting

In this paragraph we would like stress that establishing of a DTO doesn't mean that the organization can lower safety standards for operations. EU regulation 376/2014 on the reporting, analysis and follow-up of occurrences in civil aviation [4], covers also operations of DTOs. It was intended that DTOs obligations in this area are little bit lowered in comparison with ATOs, but still DTO has to ensure compliance with regulation 376/2014 for reporting system.

The DTO has to ensure that the reporting system caters for both mandatory and voluntary reporting. Also there shall be designated specific person who is responsible for handling with reports. Problem may occur in situation when there is no other person involved in DTO operation than HT, because there is stated obligation for that designed personnel to be independent.

Another possible issue in compliance with this regulation for small DTO might be establishing quality checking process. Among other responsibilities in the area of quality checking process of reporting system, there is requirement for proper usage of ADREP taxonomy which may be problem because not everyone is familiar with proper usage of this taxonomy. Safety system of DTO is checked regularly by CAA which shall visit each DTO at least each 72 months.

Another safety precautions is internal annual review. This shall be conducted by each DTO. According to material published by CAA UK [5], DTO will be advised by CAA when the Annual review is due, based on date of first DTO declaration. The annual review shall consist from two reviews – annual activity review and internal review.

Activity review shall detail information about all students, instructors (both flying and theoretical), number and dates of courses which were held during last 12 months and list of FSTD and aircrafts used for training..

Annual internal review shall cover effectiveness, adequacy and issues with safety system. This review has to include [5]:

- Hazards and risks identified as affecting the DTO
- The effectiveness of mitigations put in place
- Analyses of safety reports made and follow up actions
- Overall adequacy of the DTO safety policy
- Adequacy of the training practices in the relation to the skill test and theory exam pass rate
- Performance of flight and theoretical instructor standardization
- Adequacy of DTO training programmes

Oversight from CAA is conducted by visits. The periodicity of visits is maximally 72 months but the rate can be adjusted based on nature of the organization, complexity of trainings, results of previous audits and performance and risk of trainings. Besides this every new DTO shall be visited by CAA representatives once during the first year of operations. Similarly to ATO oversight the CAA visits may include both scheduled and unscheduled visits.

Conclusion

Main differences between ATO and DTO is limited scope of allowed trainings in DTO. Trainings in DTO are focused on general aviation only. On the other hand, DTO has several advantages in comparison with an ATO especially:

- No mandatory Ops / Training or Management System manuals
- Simpler Safety system and no 'formal' compliance monitoring
- No formal approval of management staff
- No waiting for manuals to be approved
- No formal Approval of organization
- Quicker, simpler declaratory process

Safety system in DTO can be less complex but compliance with 376/2014 has to be fulfilled especially in areas: i) Risk identification ii) Risk Assessment iii) implementation of risk mitigation measures iv) review of the adequacy of iii) above.

Despite the fact that Declared training organizations were introduced very recently, it is possible that in next few years most of that flight trainings in the EU will be conducted in these organizations, because number of non-complex trainings exceeds number of complex trainings significantly. For example in Czech Republic with roughly 22 000 pilot licenses issued about 20 000 licenses are licenses whose training can be conducted in DTO. It means that 90% of all trainings doesn't need to be done in ATO. Because of simplified nature of a DTO which can result in lower costs of training, and therefore it may attract student pilots by lower prices, it is very well possible that number of trainings in DTOs will outnumber the trainings in ATOs in less than five years. Therefore, for general aviation trainings safety it is necessary to observe impact of this change very carefully.

References

- [1] Commission Regulation (EU) No 1178/2011 of 3 November 2011 laying down technical requirements and administrative procedures related to civil aviation aircrew pursuant to Regulation (EC) No 216/2008 of the European Parliament and of the Council Text with EEA relevance. In: EUR-Lex. Brussel: European Union, 2018, Volume 2018, L 311. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32011R1178&from=EN>
- [2] Acceptable Means of Compliance and Guidance Material to Part-DTO. Cologne, 2018. Available at: <https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/Annex%20I%20to%20ED%20Decision%202018-009-R%20%28AMC%20%26%20GM%20to%20Part-DTO%29%20.pdf>
- [3] Notice of Proposed Amendment 2015-20: Review of the Aircrew Regulation in order to provide a system for private pilot training outside approved training organisations, and of the associated acceptable means of compliance and guidance material. Cologne, 2015.
- [4] Regulation (EU) No 376/2014 of the European Parliament and of the Council of 3 April 2014 on the

reporting, analysis and follow-up of occurrences in civil aviation, amending Regulation (EU) No 996/2010 of the European Parliament and of the Council and repealing Directive 2003/42/EC of the European Parliament and of the Council and Commission Regulations (EC) No 1321/2007 and (EC) No 1330/2007 Text with EEA relevance. In: EUR-Lex. Brussel: European Union, 2014, Volume 2014, L122. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014R0376&qid=1541086783768&from=EN>

- [5] WICKENDEN, John a Justin WILLCOCKS. *Declared Training Organisations: Future regulations for PPL training*. 2017. Dostupné také z: https://www.caa.co.uk/uploadedFiles/CAA/Content/Standard_Content/General_aviation/Files/Part-DTO%20GA%20Roadshows%202017.pdf

MONITOROVANIE PARAMETROV LIETADLOVÝCH POHONNÝCH SYSTÉMOV

Ing. Pavol Pecho

Air Transport Department, University of Zilina, Slovakia
pavol.pecho@fpedas.uniza.sk

doc. Ing. Martin Bugaj, PhD.

Air Transport Department, University of Zilina, Slovakia
martin.bugaj@fpedas.uniza.sk

Abstract – The aim of the article is study the possibilities of the use of a new vibration analysis technique in process of health monitoring and early fault warning in aerospace machinery. By using nonlinear accelerometer transient data, it is possible to more precisely health monitoring of auxiliary aircraft systems with the Recurrence quantification analysis (RQA). The identification of incoming failure using the RQA technique is investigated and used to prevent hardware failure of the auxiliary systems and creates a new technique of set MTBF for devices in general. Authors assume that RQA with combination with traditional methods could more effective set of MTBF and indicate early warnings and reports of incoming fault resulting in increased reliability and safety of aerospace machinery.

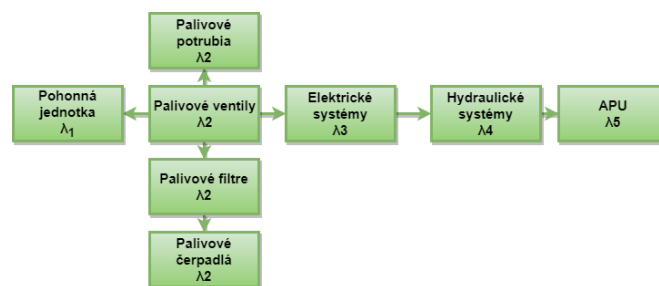
Key words – Recurrence Quantification Analysis; Aircraft; Vibrations; Health Monitoring; Maintenance; MTBF

Úvod

Hlavné systémy, ktoré patria k najcitlivejším častiam motora, sú monitorované čoraz sofistikovanejšími metódami, ktoré poskytujú väčšiu celkovú spoľahlivosť. Monitorovanie vibrácií pohonných jednotiek je jedným z najdôležitejších sledovaných parametrov v kontinuálnom sledovaní leteckých motorov. Iné a menej významné systémy a komponenty a časti lietadla sa nepoužívajú pri takomto monitorovaní technického stavu. Pomocné zariadenia však majú vplyv na celkovú spoľahlivosť systému. Významným pokrokom v oblasti zvyšovania bezpečnosti je uplatňovanie účinnej metódy monitorovania a priebežného vyhodnocovania sledovaných častí okrem pohonných jednotiek, aj pomocných systémov a ich častí. Ak sa niektoré komponenty alebo systémy dostanú do poruchového stavu, ovplyvnia celý systém. Celková spoľahlivosť systému by sa preto zvýšila. Medzi citlivé pomocné zariadenia pohonných jednotiek patria palivové čerpadlá. Tieto zariadenia majú technickú životnosť 15 000 až 20 000 letových hodín. [1]

Blokový diagram spoľahlivosti na obrázku 1 ukazuje celkovú spoľahlivosť motora reprezentovaného λ_1 s inými subsystémami λ_2 - λ_6 . Subsystém distribúcie paliva zahŕňa časti ako sú palivové potrubia, ventily, filtre a čerpadlá. Zlyhanie jednej z častí subsystému môže ovplyvniť nielen výkonnosť celého palivového systému, ale aj iniciovať poruchy vedúce k nehode a ekonomickým stratám. Autori sa zameriavajú na palivové čerpadlo ako zložitú a významnú časť

pomocných systémov. Tradičný spôsob údržby, ako napríklad plánovaná údržba alebo po poruche, predstavuje značné množstvo materiálnych a finančných zdrojov. Z tejto skutočnosti vyplýva, že údržba základe aktuálneho technického stavu je kľúčom k dosiahnutiu prognostického a technického manažmentu v oblasti letectva.



Obrázok 1- Blokový diagram spoľahlivosti motora a pomocných subsystémov [Zdroj: autor]

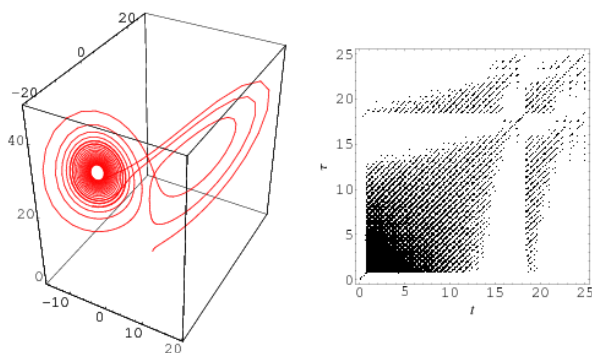
Zlyhanie palivového čerpadla nemusí nutne viesť k nehode, ale môže významne ovplyvniť bezpečnosť. Premenné faktory ako teplota, kvalita paliva, vonkajšie vibrácie, stav opotrebovania ložísk, poškodenie difúznej trubice sú faktory, ktoré môžu mať za následok rôzne prevádzkové stavy založené na odlišných typoch prevádzky lietadla. Na základe štatistiky prevádzky môže byť výskyt špecifických typov porúch kombinovaný s prevádzkovými podmienkami. V súčasnosti existuje niekoľko spôsobov zisťovania a diagnostiky poruchy palivového čerpadla. V prípade poruchy ktorejkoľvek časti čerpadla varovný signál vyhodnocuje hodnoty vibrácií. V dôsledku zabezpečenia vyššej pravdepodobnosti bezporuchovej prevádzky je potrebné zvážiť paralelné meranie ďalších parametrov na lepšiu identifikáciu príčiny. [1] [2]

Ďalším vhodným indikátorom je tlak paliva, ako aj teplota paliva a čerpadla. V súčasnosti sa v lietadle používajú snímače tlaku paliva s nízkym vzorkovaním, ale signál sa neuchováva. Náš výskum sa zameriava na návrh pridaných vibračných snímačov na vyhodnotenie aktuálneho stavu palivového čerpadla a na meranie a následné vyhodnotenie vibrácií počas údržby, tzv. „line maintenance“. Preto je potrebné experimentálne overiť jednotlivé poruchové stavy, ktoré slúžili ako referenčná hodnota pri porovnaní aktuálnych nameraných hodnôt a servisu pre správne rozhodnutie vykonať údržbu podmienenú aktuálnym technickým stavom a prevádzkovými podmienkami.

Cieľ a metodika

Ako bolo spomenuté v úvodnej časti, táto práca prináša pohľad na využitie metódy, ktorá v leteckom priemysle, ale aj vo všeobecnom poli nepatrí medzi konvenčné metódy analýzy. Rekurentné diagramy sú používané pre kvalitatívnu analýzu systému a sú využité pre odhad nestacionarity a nelinearity procesov časovej rady. Výskum rekurentných grafov sa zameriava na útvary tvorené zhlukmi bodov. Tým je možné odhaliť niektoré skryté vlastnosti fázových trajektorií. Rekurencia je základná vlastnosť dynamických systémov, ktoré môžu byť využité pre charakteristiku chovania systému vo fázovom priestore. V roku 1987 Eckmann vytvoril nástroj, ktorý umožňuje zviditeľnenie rekurentných stavov na fázovej trajektórii x_i vo fázovom priestore. V mnohých prípadoch je dimenzia fázového priestoru vyššia ako 3, fázové trajektórie potom môžeme zobrazit iba, ako projekcie do 2 či 3-dimenzionálnych sub-priestorov alebo aj ako rezy, tzv. Poincarého mapy. Týmto zobrazením však môžeme získať úplne zavádzajúce informácie o topológii fázovej trajektórie. Najmä čo sa týka rekurentných stavov.

Rekurentné diagramy umožňujú štúdium N -rozmerného fázového priestoru pomocou dvojrozmernej reprezentácie rekurentných stavov. Rekurencia stavu systému v dvoch rôznych časoch charakterizovaných indexami i a j je znázornená v dvojrozmernej štvorcovej matici $R_{i,j}$ podľa rovnice pomocou bielych a čiernych bodov, kde čierne body označujú prípad rekurencie a obe osi sú časové. Príklad rekurentného diagramu Lorenzovho systému znázorňuje Obrázok 2.



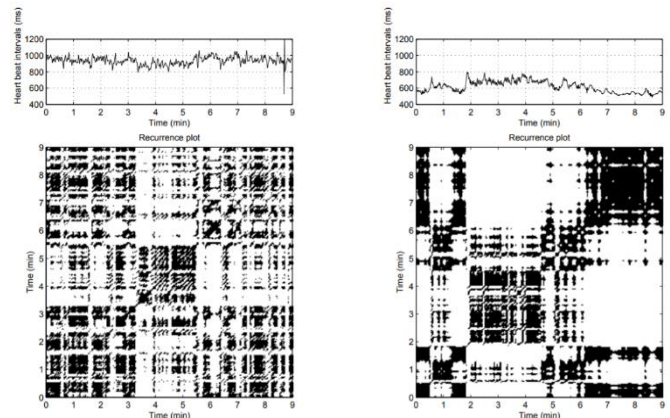
Obrázok 2 - Rekurentný diagram Lorenzovho atraktoru

Lorenzov atraktor bol zavedený Edwardom Lorenzom v roku 1963. Ide o nelineárny trojdimenzionálny deterministický dynamický systém, ktorý bol odvodený zo zjednodušených rovníc na základe sledovania zmien počasia a atmosférických stavov.

Rekurentná kvantifikačná analýza (RQA) môže byť využitá ako pre biologické dáta tak aj v oblasti diagnostiky strojov a zariadení, a môže tak odhaliť skryté opakovania a nelineárne deterministické štruktúry v dvojdimenzionálnom a viacdimenzionálnom fázovom priestore. Tieto parametre napomáhajú pri hodnotení variability ako tepovej frekvencie tak frekvencie vibrácií strojov a zariadení, a možno ich použiť na detekciu a kvantifikáciu laminárnej fázy pred životom ohrozujúcou srdcovou arytmiou alebo v prípade technických systémov poruchou zariadenia. Je teda možné túto udalosť

predpovedať. V rekurentnom diagrame viď. Obrázok 3 (vpravo) vzniká, pred životom ohrozujúcou srdcovou arytmiou, charakteristický rys - diagram sa skladá z veľkých čiernych obdĺžnikov na rozdiel od ľavého diagramu, ktorý je z kontrolného signálu.

Nedávne štúdie založené na monitorovaní na základe atraktora ukázali, že poškodenia a zmeny získané zo sledovania atraktora sú väčšie ako sledovanie zmien najcitlivejšej frekvencie a príbuzných tvarov systému. S cieľom prešetriť stav poškodenia je všeobecne potrebné vopred získať údaje neporušeného stavu meraného systému, zariadenia alebo osoby.



Obrázok 3 - Rekurentné diagramy srdcového rytmu pred (vľavo) a po (vpravo) srdcovej arytmií. [3]

Táto skutočnosť znamená, že je ťažké použiť metódy frekvenčnej analýzy na systémy bez základných údajov. Autor predpokladá, že aplikovanie metódy RQA na časti, ktoré sú zdrojom vibrácií a teda je možné ich vibrodiagnostikovať, môže poskytnúť údaje o aktuálnom technickom stave sledovaného zariadenia alebo časti. Rekurentné diagramy poskytujú vizuálny náhľad na pozorovateľné zmeny. Tieto diagramy sú konštruované na základe sledovaných veličín ako Recurrence Rate, Average diagonal line length, Divergence, Determinism atď. ktoré dokážu matematicky vyhodnotiť zozbierané dáta a určiť aktuálny stav sledovaného objektu. Na základe týchto tvrdení autor vyslovil hypotézu, že použitie metódy RQA na diagnostikovanie poruchového stavu, je efektívna metóda použiteľná v leteckom priemysle na zvýšenie spoľahlivosti a efektívnejšiemu stanoveniu strednej doby medzi poruchami. [3] [4] [5]

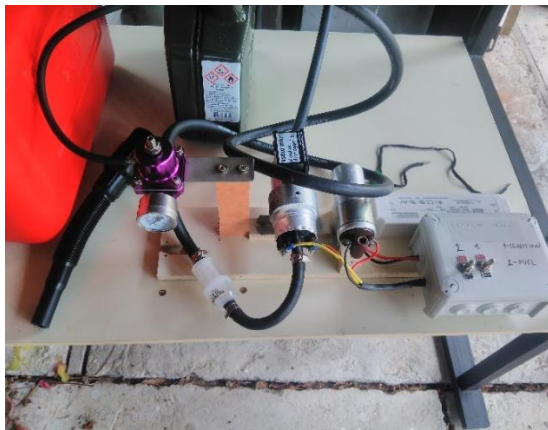
Experimentálne overenie použitia RQA v praxi

Pre získanie exaktných dát a overenia správnosti metódy použitia RQA je potrebné overiť stanovené hypotézy. Z úvodu je zrejme že táto metóda je určená pre pomocné ústrojenstvo nepodliehajúce kontinuálnemu monitorovaniu parametrov počas letu a teda vytvára mieru rizika ktorá by mohla byť potenciálne znížená. Vhodným komponentom v tomto prípade je palivové čerpadlo. Experimentálne overovanie je nutné rozdeliť do niekoľkých fáz.

Návrh experimentálneho vybavenia

Pre overenie hypotéz je vhodným zariadením práve palivové čerpadlo z dôvodu vysokých nárokov na jeho technickú spoľahlivosť v rámci pomocných zariadení. Autor vytvoril experimentálny stav, ktorý disponuje meracími senzormi. Vhodným a jednoduchým riešením pre zber dát

vibrácií je použitie prvku „Vibration Data Logger“. Takáto konfigurácia poskytuje jednoduché no zároveň efektívne zapojenie a zber dát (Obrázok 4). [6]



Obrázok 4 - Experimentálna zostava merania vibrácií palivového čerpadla [zdroj: autor]

Overenie rozdielnych metód analýzy signálu

Napriek tomu že poslaním experimentu je overiť metódu RQA z hľadiska diagnostiky, je treba aj preskúmať a porovnať ostatné metódy ako FFT analýzu, modálnu analýzu a spektrálnu analýzu vibrácií alebo ich prípadnú kombináciu s RQA.

Vzhľadom na inovatívnosť metódy na poli vibrodiagnostiky je potrebné zozbierať a vyhodnotiť dáta, ktoré pochádzajú z rôznych typov porúch. Predpokladáme, že práve rekurentné diagramy zobrazia charakteristický tvar a rys diagramu pre konkrétnu poruchu či už vplyvom technickej degradácie alebo poruchy alebo vplyvom vonkajšieho vplyvu. Medzi poruchové stavy môžeme zaradiť napríklad degradáciu ložísk alebo uvoľnený rotor čerpadla a medzi vonkajšie vplyvy radíme kvalitu paliva, vniknutie cudzích telies do čerpadla alebo vplyvy extrémnych teplôt a tlakov. [6] [7]

Implementácia výsledkov do praxe

Rozoznaním rôznych poruchových stavov a ich prevedením na rekurentné diagram je ukončená jedna z častí experimentu. Na základe týchto informácií je možné vytvoriť rozoznávací algoritmus, ktorý počas overovania zozbieraných dát prediktívne určí odhadovaný stav zariadenia. Práve rozoznávací algoritmus hrá v tejto oblasti významnú rolu. Problém s vyhodnocovaním veľkého objemu dát pri monitorovaní pomocných zariadení by sa implementáciou RQA v leteckej technike odstránil. Myšlienkou je prevádzať počas „line maintenance“ alebo „weekly checks“ potrebnú analýzu. Táto činnosť sa vykonáva v pravidelných intervaloch a preto je možné sa následne oprieť o štatistické údaje. Samotná implementácia spočíva v stiahnutí údajov počas letov na prenosné médium a pomocou vyhodnocovacieho softvéru získať výsledky a údaje. Odhadujeme že táto činnosť by zaberala minimum operačného času na samotnom lietadle keďže by bola spojená so stiahnutím ostatných údajov. Vyhodnotenie údajov by už prebehlo externým pracovníkom a v konečnom dôsledku by to neobmedzilo samotné procedúry „line maintenance“. [8] [9] [10]

Záver

Táto práca poníma o aplikácii monitorovania a analýzy vibrácií nekonvenčnou metódou rekurentnej kvantifikačnej analýzy v oblasti leteckej techniky. Výsledkom doterajšieho výskumu bola analýza aktuálnych monitorovacích a analyzačných metód v oblasti diagnostiky technického stavu leteckých motorov a systémov. Autori v práci vytvorili model experimentálneho overenia RQA v praxi a vyslovili hypotézu o jej možnej implementácii do prevádzky a údržby či už civilnej alebo vojenskej leteckej techniky. V prípade pozitívnych výsledkov experimentálneho overenia RQA hypotéza hovorí, že spomínaná metóda umožní efektívnejšiu predikciu nadchádzajúcej poruchy na základe presnejšieho stanovenia aktuálneho technického stavu a tým v konečnom dôsledku bude možné efektívnejšie stanovenie hodnoty strednej doby medzi poruchami. [11], [12]

Na záver možno uviesť, že hoci nie všetky súvisiace funkcie RQA korelujú [13], môžu sa použiť spoločne na zvýšenie rozlišovania medzi poruchovými stavmi. Pretože RQA sa zameriava na extrakciu dynamických, často veľmi nelineárnych charakteristík údajov bez potreby časových alebo spektrálnych údajov využitie samotnej analýzy alebo kombinácie s tradičnými monitorovacími predstavuje inovatívny nástroj proaktívnej údržby.

Podakovanie

This paper is published as one of the scientific outputs of the project: „New technologies and best practices in education in the Air Transport and Professional Pilots“, KEGA 011ŽU-4/2018.

Literatúra

- [1] S. ŽIARAN, Technická Diagnostika, Prvé Vydanie Ed., Bratislava: Slovenská Technická Univerzita V Bratislave, 2013.
- [2] V.STUHLÝ, R. POPROCKÝ, Údržba Strojov A Zariadení, Prvé Vydanie Ed., Žilina: Edis - Vydavateľstvo Žilinskej Univerzity, 2014.
- [3] P. FRANĚK, Analýza Variability Srdečného Rytmu Pomocí Rekurentního Diagramu, Brno: Vysoké Učení Technické V Brně, 2013.
- [4] Y. N. K. N. & K. Y. H. FURUTA, „Structural Health Monitoring System Using Recurrence Quantification Analysis Of Ambient Vibration,“ 2013.
- [5] Y. Q. N. J.M. KO, „Structural Health Monitoring And Intelligent Vibration Control Of Cable-Supported Bridges: Research And Application,“ Ksce Journal Of Civil Engineering, Zv. 7, %1. Vyd.6, Pp. 701-716, 2013.
- [6] J. M. BARRAGÁN, „Engine Vibration Monitorin And Diagnosis Based On On-Board Captured Data,“ 2001.
- [7] D. C. K. G. *-J. S. A. A. B. MOHAMMED A. HASSAN, „Analysis Of Nonlinear Vibration-Interaction Using Higher Order Spectra Diagnose Aerospace System Faults,“ Big Sky, Mt, Usa, 2012.
- [8] M. BUGAJ, „Fault Tree Analysis In Lzzi,“ %1. Vyd.1., 2004.

- [9] R. Y. YUNING QIAN, „Bearing Degradation Evaluation Using Recurrence Quantification Analysis And Kalman Filter,“ 2014.
- [10] W. K. WALTER LACARBONARA and ALI H. NAYFEH, „Experimental Validation of Reduction Methods for Nonlinear Vibrations of Distributed-Parameter Systems: Analysis of a Buckled Beam,“ *z. Nonlinear Dynamics*, %1. vyd.17, 1998.
- [11] P. PECHO, M. BUGAJ, F. ŠKULTÉTY. „Využitie analýzy príčin a následkov porúch v leteckej technike“
In: *Aero-Journal : international scientific journal of air transport industry*. - ISSN 1338-8215. - Č. 1 (2016), s. 37-44.
- [12] Novák, A.: Výskumné a vzdelávacie laboratória Katedry leteckej dopravy Žilinskej univerzity v Žiline
In: *New trends in civil aviation 2016 : Žilina*, 22. September 2016. - Žilina: Žilinská univerzita, 2016. - ISBN 978-80-554-1252-8. - S. 60-63.
- [13] Čerňan, J.: Analýza použitia keramických valivých elementov pre ložiská s časťami povlakovanými TiCN
In: *Aeronautika : medzinárodná vedecká konferencia : 25.-26. apríla 2013, Herľany*. - Košice: Technická univerzita, 2013. - ISBN 978-80-553-1416-7. - S. 27-32.

THE CONCEPT OF SMALL EXPERIMENTAL SHAFT-LESS TURBOFAN ENGINE

Ing. Jozef Čerňan, PhD.

Department of Air transport, Faculty of Operation and Economics of Transport and Communications, Slovakia
jozef.cernan@fpedas.uniza.sk

doc. Ing. Karol Semrád, PhD.

Department of Aviation Engineering, Faculty of Aeronautics, Slovakia
Karol.semrad@tuke.sk

Abstract – The aim of this study is to describe the conceptual design of a small light turbofan jet engine with high bypass ratio. The peculiarity of this innovative concept is based on the construction without any necessary shaft used to connect the gas turbine and the compressor. This mechanical solution is based on the unification of two parts (radial compressor wheel and axial turbine disk) into one functional part. It is assumed that this experimental engine could work with lower weight and geometric dimensions, higher gas temperatures and better thermal efficiency. A higher bypass ratio could also improve propulsion efficiency of this engine. The study assumes using such an engine to drive large RC airplane models or as a complementary propulsion for the gliders.

Key words – jet engine concept, shaft-less design, compressor, turbine .

ÚVOD

Letecké turbínové motory predstavujú vždy vysokovýkonné turbokompresorové stroje, ktoré umožňujú pohyb lietadiel vo vzduchu. Aj v iných oblastiach dopravy a priemyslu je možné nájsť turbokompresorové stroje, ktoré pracujú na rovnakom princípe, no letecká doprava má v zásade odlišné požiadavky na niektoré kvalitatívne aj kvantitatívne parametre týchto tepelných strojov. Týmito parametrami rozumieme najmä hmotnosť, rozmery, ťah/výkon, spoľahlivosť a technický rezurz. Je zrejmé, že množstvo z týchto parametrov navzájom súvisí, no nepriamoúmerne. To znamená, že ak vyžadujeme vyššie hodnoty jedného, môže to negatívne ovplyvniť iný alebo viacero parametrov. Častým príkladom tohto faktu je potreba dosiahnuť čo najnižšiu hmotnosť a rozmery motora, pričom vyžadujeme čo najvyššiu účinnosť a výkon/ťah, ktorý nám daný motor môže dodať. V takých prípadoch vždy konštruktér rieši kompromis medzi danými parametrami a volí si ten, ktorého hodnota je v daných podmienkach pre prevádzku motora dôležitejší [1].

Je zrejmé, že malé rozmery a hmotnosť motora predstavuje výhodu pri zástavbe motora v trupe lietadla a tiež umožňuje niest' na palube väčšie užitočné zaťaženie. Na opačnej strane stojí výkon, termodynamická a propulzná účinnosť motora, ktorých nárast súvisí s nárastom zložitosti

turbokompresorových strojov. Vyšší výkon motora pri zabezpečení vyššej termodynamickej účinnosti vyžaduje vyšší stupeň stlačenia vzduchu, ktorý do motora prúdi a vyšší stupeň ohriatia tohto vzduchu v rámci spaľovacej komory. Vyššia propulzná účinnosť má súvis s rozdielom medzi rýchlosťou prúdiacich plynov z motora a rýchlosťou vzduchu ktorý motor obteká (rýchlosť letu). Vyššiu propulznú účinnosť teda dosiahneme ak sa tieto dve rýchlosti budú svojimi hodnotami k sebe približovať. Tu práve konštruktér musí riešiť použiteľnosť daného motora s ohľadom na prevádzkové rýchlosti letu lietadla, v ktorom bude inštalovaný. Pri malých a menej výkonných motoroch sa nepredpokladá lietanie rýchlosťami vyššími ako je rýchlosť zvuku. Z tohto faktu vyplýva, že konštrukcia motora v podobe jednorúrovňového motora nebude z pohľadu propulznej účinnosti práve efektívne riešenie. Na druhej strane konštrukcia motora turbovrtuľového predstavuje podstatne zložitejšie zariadenie, kde sa navyšuje hmotnosť aj rozmery motora, kvôli potrebe výkonného reduktora a vrtule. Konštrukcia dvojprúdového motora by naopak mohla predstavovať kompromisné riešenie aj z pohľadu propulznej účinnosti aj rozmerov a hmotnosti. V porovnaní s motorom jednorúrovňovým sa nám síce zvýšila hmotnosť a rozmery, no pri správnom usporiadaní tento nárast nemusí byť zásadný a nedosiahne zložitosť turbovrtuľového motora, ktorý by pri malých rýchlostiach letu dosahoval vyššiu propulznú účinnosť. Účelom tohto článku je zohľadnenie všetkých spomenutých parametrov pri návrhu malej pohonnej jednotky, ktorá kompromis medzi jednotlivými parametrami rieši progresívnym konštrukčným riešením. [2,3]

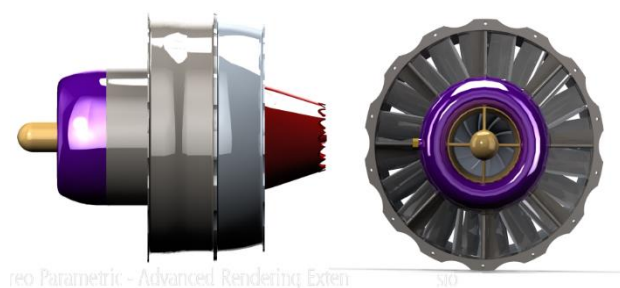
Návrh pohonnej jednotky

Ako bolo spomenuté, konštruktér pri návrhu nového turbínového motora musí zohľadniť budúcu prevádzku daného motora. Zvažuje sa teda najmä typ lietadla a predpokladaný rozsah rýchlostí ktorými sa má lietadlo pohybovať, ďalej zástavbové rozmery pre jeho umiestnenie na lietadle, predpokladaný dolet a dostup lietadla a tiež predpokladaná prevádzka a údržba. Návrhové technické parametre motora, ktorého ideový návrh je obsahom tohto článku, sú uvedené v nasledujúcej tabuľke.

Table 1 – Technické návrhové parametre motora

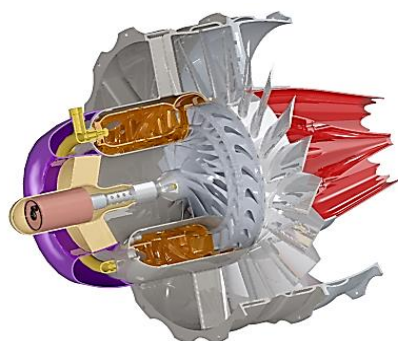
Parameter		Hodnota
Max. Priemer	mm	~215
Max. Dĺžka	mm	~280
Hmotnosť	g	~3 000-3 500
Ťah	N	~450-500
Obtokový pomer		~4
Otáčky kompresora	rpm	~10 000-50 000
Otáčky dúchadla	rpm	~4 000-35 000
Teplota plynov na výstupe	K	~1 050
Spotreba paliva	ml/min	~1 200

Návrh motora počíta s jeho využitím na pohon bezpilotných prostriedkov, či ako pomocný pohon pre vetrone. Z predchádzajúcej úvahy vyšlo ako najlepšie riešenie použitie varianty dvojprúdového motora s vyšším obtokovým pomerom, ktorá zabezpečí vyššiu propulznú účinnosť motora. Takéto riešenie už v podobe dvojprúdového motora takých malých rozmerov predstavuje unikátne riešenie. Vzhľad ideového návrhu spomínaného dvojprúdového motora je na obr. 1.


Obrázok 1 – Návrh experimentálneho dvojprúdového motora

Analýza konštrukcie motora

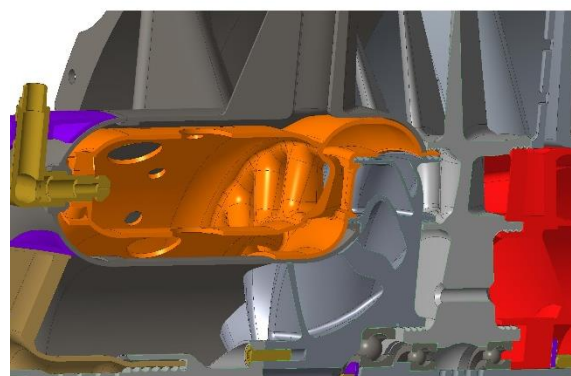
Z konštrukčného hľadiska sa jedná o koncepciu dvojprúdového turbokompresorového motora s dúchadlom v zadnej časti motora ukrytým vo vonkajšom plášti motora, ktorý je zároveň pevnostným spojovacím elementom motora. Obr. 2 zobrazuje čiastočný rez navrhovaného motora, kde sú rotačné časti motora nerozrezané [4].


Obrázok 3 – Navrhovaný motor v reze

Tieto dve časti predstavujú vzájomne nezávislé celky, ktoré sú vzájomne prepojené plyno-dynamickou väzbou a predstavujú najdôležitejšiu odlišnosť tohto konštrukčného riešenia od bežných turbínových strojov. Zvyšné časti motora sú bežnej konštrukcie. V prednej časti sa nachádza podzvukové vstupné ústrojenstvo v ktorého osi sa nachádza elektrický štartér pre rozbeh generátora plynov motora. Kanál vstupného ústrojenstva pechádza následne telesom prstencovej spaľovacej komory a privádza vzduch do špeciálneho obežného kolesa odstredivého kompresora na obr. 3, ktorý je združenou súčiastkou s plynovou turbínou. Toto koleso je usadené na jednom guľíckom ložisku upevnenom na pevnej osi.

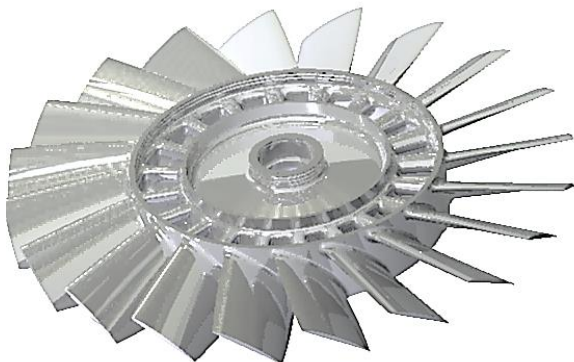

Obrázok 3 – Združená súčiastka obežného kolesa kompresora a turbíny

Takéto usporiadanie v sebe združuje viacero výhod : nižšia hmotnosť z dôvodu absencie spojovacieho hriadeľa medzi obežným kolesom kompresora a turbínovým diskom, čím taktiež podstatne skrátime dĺžku motora. Ďalšou výhodou je charakter prúdenia vzduchu cez obežné koleso, kde preteká priamo cez duté lopatky turbínovej časti kolesa. Toto zabezpečuje intenzívne chladenie turbínových lopatiek a umožňuje zvýšiť teplotu horúcich plynov a tým aj termodynamickú účinnosť cyklu. Po opustení obežného kolesa pokračuje stlačený vzduch cez bezlopatkový difúzor a následne lopatky difúzora, ktoré tvoria združenú súčiastku s rozvádzačimi lopatkami turbíny a tiež s plamencom spaľovacej komory motora ako je znázornené na obr. 4.


Figure 4 – Prietokový kanál pre vzduch a horúce plyny kompresorom a turbínami

Prúd vzduchu, ktorý prechádza lopatkami difúzora, ktoré sú vytvorené dutými kanálmi rozvádzačích lopatiek

turbíny zabezpečuje chladenie aj týchto rozvádzacích lopatiek a následne vchádza do protiprúdovej spaľovacej komory a cez perforovaný plamenec priamo do zóny horenia pričom sa otáča o 180°. Horúce plyny ktoré následne vznikajú v plameni sú rozvádzačimi lopatkami turbíny usmernené a urýchlené na rotorové lopatky turbínovej časti obežného kola kompresora a následne pokračujú v expanzii na voľnej plynovej turbíne, ktorá je súčasťou združenej súčiastky - disku dúchadla s turbínou na obr. 5.

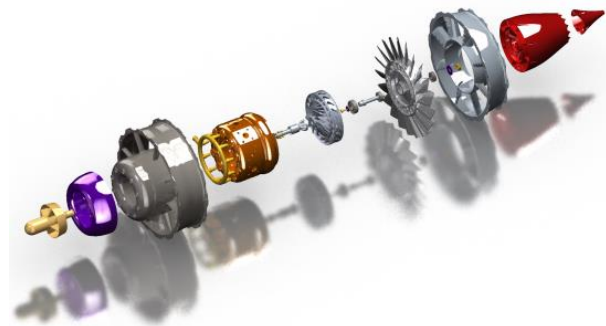


Obrázok 5 – Disk navrhovaného dúchadla s turbínou

Dúchadlo motora je poháňané od lopatiek plynovej turbíny, ktorá je jeho súčasťou a spolu s ním tvoria jednu súčiastku koncepcie BLISK (bladed disk) s poschodovými lopatkami. Poschodové lopatky zabezpečujú lepší odvod tepla z horúcich turbínových lopatiek do lopatiek dúchadla obtekaných chladným vzduchom. Výhodou tohto usporiadania je taktiež značná úspora priestoru a hmotnosti kvôli absencii spojovacieho hriadeľa medzi turbínovým diskom a dúchadlom. Zmysel otáčania dúchadla je opačný ako zmysel otáčania kompresora motora. Dôvodom je nepoužitie satorových turbínových lopatiek medzi jednotlivými turbínovými stupňami. Opačné zmysly otáčania týchto rotačných súčiastok v motore majú za následok taktiež čiastočnú elimináciu výsledného gyroskopického momentu motora. Samotný disk dúchadla je usadený na dvoch guľčkových ložiskách cez ktoré prechádza pevná dutá os motora upevnená do zadnej steny motora, pričom zabezpečuje prietok oleja k ložiskám dúchadla a ložisku obežného kola kompresora.

Horúce plyny, ktoré expandovali na voľnej plynovej turbíne následne expandujú na výstupnej dýze a vysokou rýchlosťou opúšťajú motor. Ich reakciou sa vytvára časť ťahu dvojprúdového motora. Väčšia časť ťahu je zabezpečovaná urýchľovaním chladného vzduchu pomocou dúchadlových lopatiek.

Celkový pohľad na usporiadanie jednotlivých častí návrhu experimentálneho dvojprúdového motora je zobrazené na obr. 6 v rozmontovanom stave. Od prednej časti v poradí nasledujú časti: držiak elektrického štartéra, kryt vstupného ústrojenstva, plášť spaľovacej komory spojený s vonkajším plášťom dúchadla, palivová rampa, plamenec spaľovacej komory s difúzorom, spojovací hriadeľ štartéra, obežné koleso kompresora s vlastnou turbínou, pevná os s ložiskami, disk dúchadla s vlastnou turbínou, zadný plášť dúchadla, výstupná dýza s vnútorným kužeľom.



Obrázok 6 – Časti experimentálneho motora v rozloženom stave

Záver

Účelom tejto štúdie bolo analyzovať a popísať návrh konštrukcie experimentálneho bezhriadeľového turbínového dvojprúdového motora. Na základe predchádzajúcich informácií je možné vysloviť nasledujúce závery:

1. Bezhriadeľový turbínový motor predstavuje pohonnú jednotku, v ktorej absentujú spojovacie hriadele, ktoré by slúžili na prenos výkonu z turbíny na kompresorový disk. Tento fakt je zabezpečenej konštrukčnou úpravou, ktorej výsledkom je združená súčiastka kompresorového kola a turbíny, prípadne turbíny a dúchadla.
2. Kombinácia turbíny a kola kompresora má pozitívny vplyv na chladenie dutých turbínových lopatiek, ktorými preteká stlačený vzduch. Tým je možné zvýšiť teplotu horúcich plynov, ktoré pretekajú turbínou, čo pozitívne vplyva na termodynamickú účinnosť motora.
3. Kombinácia turbínových lopatiek s lopatkami dúchadla má taktiež pozitívny vplyv na ich chladenie odvodom tepla do chladných lopatiek dúchadla.
4. Plamenec motora združený s difúzorom a rozvádzačimi lopatkami turbíny je dômyselnou súčiastkou, ktorá taktiež využíva prietok vzduchu z kompresora na chladenie častí vystavených horúcim plynom.
5. Konštrukcia motora ako dvojprúdového s vyšším obtokovým pomerom má pozitívny vplyv na propulzívnu účinnosť motora.

Je zrejmé, že takéto usporiadanie motora bude mať aj svoje negatíva, medzi ktoré patrí najmä vyšší podiel hydraulických strát v prúde vzduchu, ktorý obteká hrubšie lopatky turbíny a musí sa viacnásobne otáčať v rámci zložitého vzduchového traktu plamena. Napriek týmto nevýhodám, môže tento návrh motora vďaka prevládajúcim výhodám predstavovať účinnú pohonnú jednotku v kategórii malých výkonov.

References

- [1] RŮŽEK, J.: „Theory of Aircraft Engines, Part I (Compressors, Turbines and a Combustion Chamber)“, University textbook VA AZ Brno 1979, pp. 373

- [2] OTT, A.: „Fundamentals of the Theory and Design of Air Vane Engines, Part I“, University Textbook, Military Academy of Aviation, Kosice 1983, pp.140
- [3] HOCKO M.: „The small jet engine MPM – 20“, VLA Kosice
- [4] Janovec, M., Bugaj, M., Materna, M.: Možnosti využitia ultrazvukovej techniky pri diagnostike leteckých komponentov. V: Zvyšovanie bezpečnosti a kvality v civilnom letectve [print]. - 1. vyd. - Žilina: Žilinská univerzita, 2018. - ISBN 978-80-554-1418-8. - s. 61-67 [print].

CHAMBERS OF LABYRINTH SEALS OF TURBINE ENGINE

Ing. Michal Čížek

Center of Advanced Aerospace Technology, Czech Technical University in Prague, Czech Republic
michal.cizek@fs.cvut.cz

Abstract – This article explains flows in labyrinth seals of turbine engine. The aim of this article is to describe the flow in the labyrinth seals as a function of radial clearance and the number of sealing teeth at a constant pressure drop and rotor speed. Firstly, this aim is achieved by 3D CFD flow simulation based on seal demonstration for which dimensional and thermodynamic parameters corresponds with turbine engine. The simple profile of tooth of labyrinth seal, which simulated the conditions, was based on real machine setting. The result will be the description of the flows in the chambers of labyrinth seals at various radial clearance and different number of seals. Flows description can be done by using a flow coefficient. Mentioned variable will clearly demonstrate on previously stated parameters the impact on machine's functionality.

Key words – Turbine Engine, Labyrinth Seal, CFD Calculation

Introduction

Turbine engine has good performance parameters when all parts of the engine works correctly. In order to achieve these parameters is important, that the hot rotating parts are cooled and temperature distribution of the e.g. turbine disk is smooth and even. Flow of the cooled air is coming from engine parts where the air temperature is lower. Mass flow of the cooled air is control by the labyrinth seal. Due to labyrinth seal we have a good temperature distribution in hot parts. The physically principle of the labyrinth seal is loss of the kinetic energy in labyrinth seals chambers. Labyrinth seal is influenced by the radial clearance between the teeth of the labyrinth seal and number of teeth. This process is described in further detail in below paragraphs.

Labyrinth Seal Description

Principle of labyrinth seal is based on loss of the kinetic energy and noncontacted sealing with stator parts in labyrinth seal chamber which depends on radial clearance (RC) - see Figure . Based on RC setting we can predict what could be a mass flow through the sealing parts.

CFD Simulation

Labyrinth seal model was prepared in ANSYS Design Modeler software (see Figure). The 3D model represents a real machine. It is a conical sector with 3 parts:

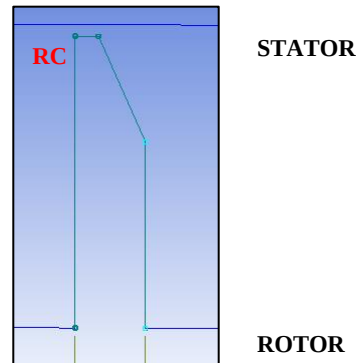


Figure 1 - Labyrinth seal description

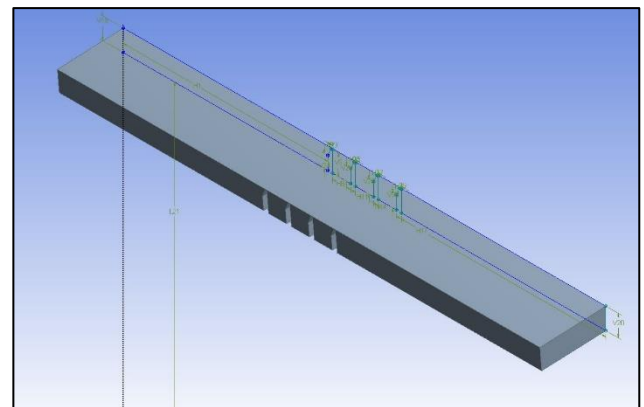


Figure 2 - 3D Model

- Inlet plenum
- Labyrinth seals
- Exit plenum

Mesh

Mesh was prepared in ANSYS Meshing. Total number of elements is 2.3 mil and total number of nodes is 2.4 mil. All segments are using a hexahedral element. In all

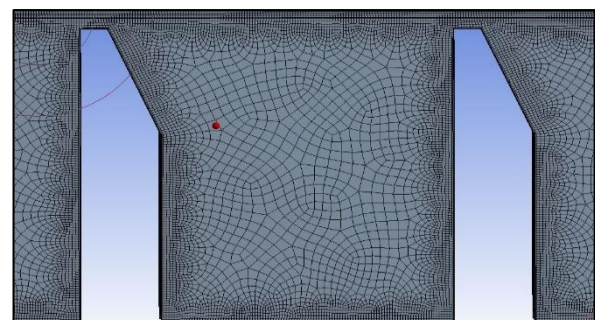


Figure 1 - Detail of mesh

rotational parts is defined a boundary layer (see detail of mesh in labyrinth seal chamber Figure 3).

In stator parts is defined a boundary layer with 20 rows of elements (see Figure 4).

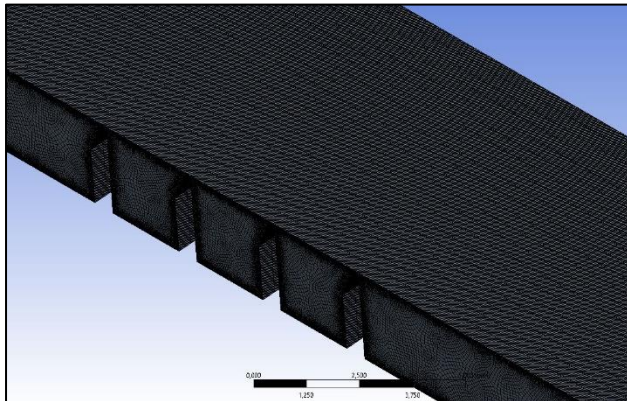


Figure 2 - Mesh

Calculation

CFD calculation was prepared in ANSYS CFX software based on below assumptions:

- Constant rotor speed
- Constant pressure drop
- Constant RC
- Constant number of teeth

Boundary details are:

- Static pressure and total temperature inlet
- Static pressure outlet
- Periodic conditions
- Rotor rotation

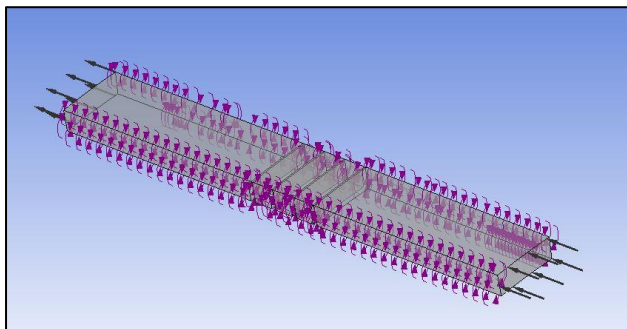


Figure 3 - Boundary conditions in CFX

Head transfer model is Total Energy and turbulence model is SST.

Conclusion and future work

CFD conclusion

The solver was finished normally. Primary were monitored standard parameters like:

- Velocity vectors in toots of labyrinth seal (see Figure 6)
- Mach number distributions (see Figure 7)
- Total pressure distributions (see Figure 8)

- Total temperature distributions (see Figure)
- Static pressure distributions (see Figure 09)

All parameters displayed in labyrinth cross section are crucial for this study.

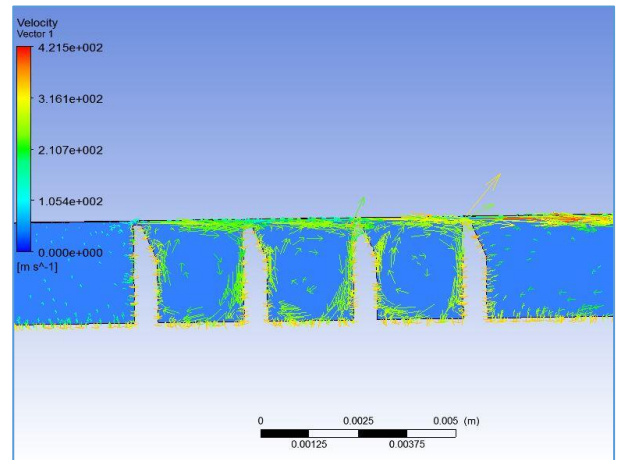


Figure 6: -Velocity vectors

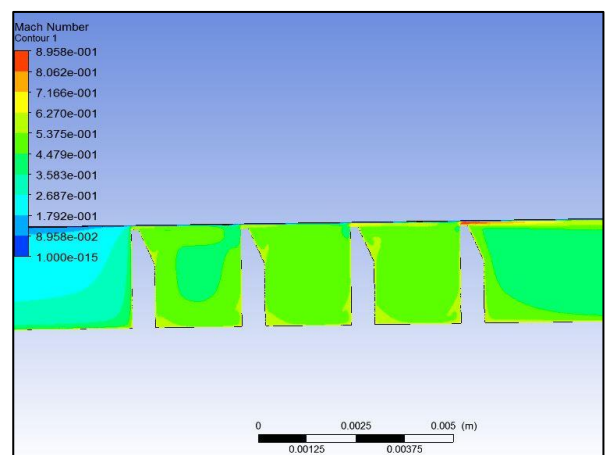


Figure 7 - Mach number distribution

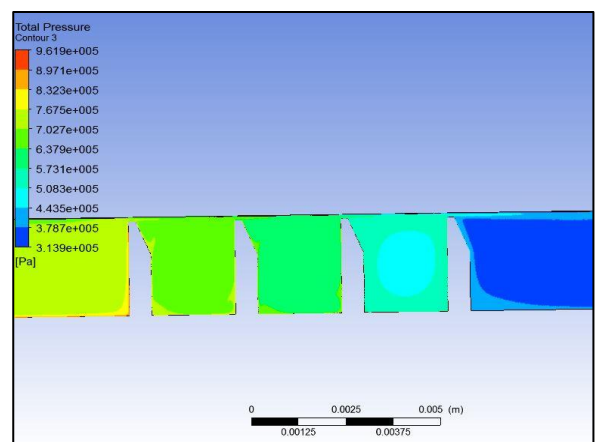


Figure 8 - Total pressure distribution

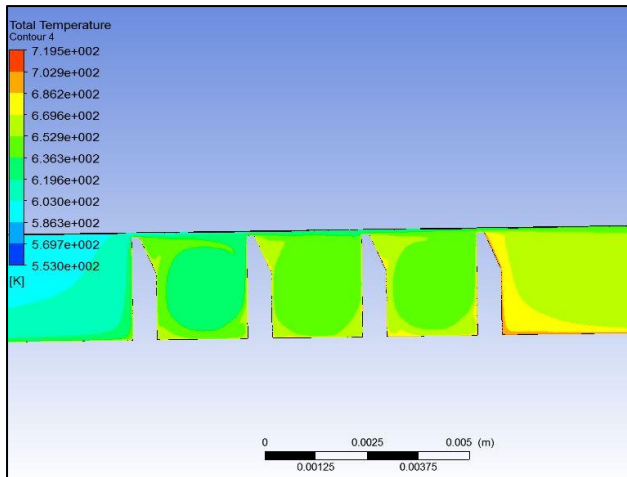


Figure 9 - Total temperature distribution

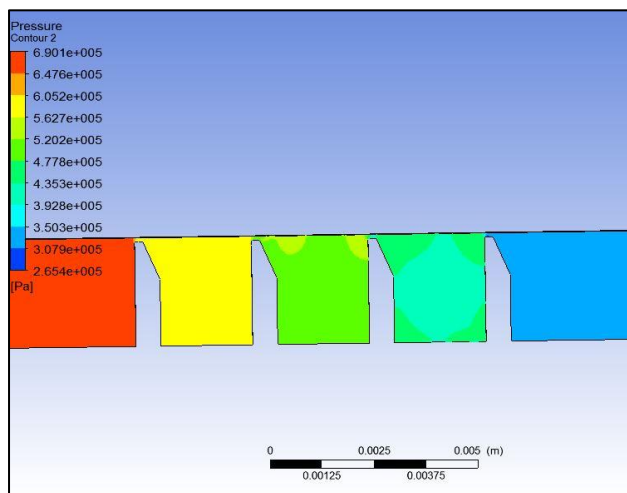


Figure 10 - Static pressure distribution

Evaluation and future work

For better evaluation and comparison with other hardware setting in the future was used a flow coefficient based formula (1).

$$(1) \quad \alpha = Q \cdot \frac{\sqrt{T_c}}{p_c}$$

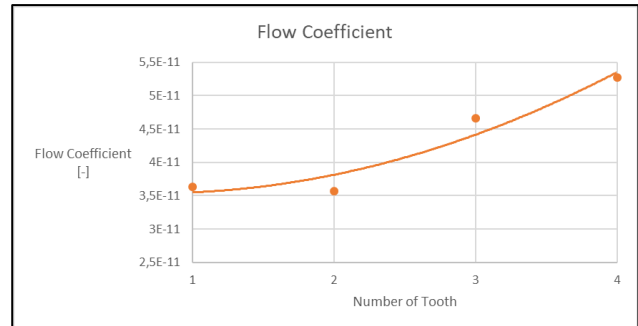


Figure 11: Flow coefficient trend

Where: Q – Mass flow [kg/h]

T_c – Total temperature [°C]

p_c – Total pressure [Pa]

All parameters have been deducted in the leading edge of the teeth. In this situation when we set up 4 teeth and RC is 0.1 mm the flow coefficient has increasing number of teeth trend (see Figure). In addition to that we can observe from total pressure (Figure 8) and temperature distribution (Figure) that the pressure decreased and temperature increased. It means that the labyrinth seals work properly and demonstrate loss of the kinetic energy. For future work would be interesting to measure the calculated parameters in real situation.

References

- [1] Amrož, Bém, Budlovský, Málek, Zajíc, Parní Turbíny theorie a výpočet, 1955
- [2] Jerie, Teorie motoru, 1981
- [3] Alexiou, Mathioudakis, Secondary Air System Component Modeling for Engine Performance Simulations, ASME 2009
- [4] Furst, Numerical Simulation of Flows through Labyrinth Seals, Engineering Mechanics 2015

DIAGNOSTIC SYSTEMS USED IN INSPECTION OF THE AIRCRAFT CONSTRUCTION

Ing. Michal Janovec

Air Transport Department, University of Zilina, Slovakia

michal.janovec@fpedas.uniza.sk

Abstract – This paper deals with the use of diagnostic systems used in control of the aircraft construction. Technical Diagnostics is one of the leading disciplines dealing with methods and means for detecting technical state of an object. One of the instrumentation methods of technical diagnostics is a method called a defectoscopy. Defectoscopy allows us to detect undesirable states of materials and structures such as fatigue damage, cracks, internal discontinuities and corrosion. Different defectoscopic methods are used to detect these undesirable states of aircraft structures. In the article are in more details presented ultrasonic methods and methods of eddy current, which are used in aircraft constructions for control of riveted joints, composite materials, landing gear.

Key words – cracks, defectoscopy, diagnostic system, eddy current methods, ultrasonic methods.

Introduction

The aerospace industry is a leading global industry that regularly updates new materials and production methods to increase safety, efficiency and cost cutting. With the development of new materials, new control techniques are gradually being developed to monitor the integrity of these materials.

For example, with the increase in the use of composites in the latest civil aircraft designs, there has been a rapid development in the area of the ultrasonic method. This technique allows detecting all defects deep inside composites, allowing viewing 3D structure of images and any discontinuities in the object under test. The Ultrasonic technology can also be used to control riveted joint of the aircraft by using the Phased array method.

Another method used in aviation is The Eddy Current Testing (ET), which is also a non-destructive method of material testing.

The Eddy Current Method is based on the principle of electromagnetic induction. This test method is applicable to the inspection of objects made of electrically conductive material. The Eddy Current Testing is most

commonly used to look for surface errors, especially cracks. However, it is also possible to look for defects to a certain depth below the surface. In aviation, this method is mainly used to control cracks in the area of riveting and to detect corrosion in the aircraft construction.

Ultrasonic methods

Basically, there are two methods for detecting material errors by ultrasound, namely the reflection and transition method.

Reflection method

Pulse Echo Ultrasonic uses a reflected or diffracted signal from any interface which is the subject of interest within the object under investigation. Signal reception is usually used by the same probe, which also transmit the signal to the material. From the time of arrival of the echo after the transmission of the ultrasound pulse, the path is determined, "error size" is judged by the error distance and the echo amplitude. Knowing the production technology, the type of error can be estimated from the signal shape. The disadvantage is that ultrasound exceeds double distance than the distance to error and then there is existence of dead band, which limits the detection of errors just below the test surface. [1]

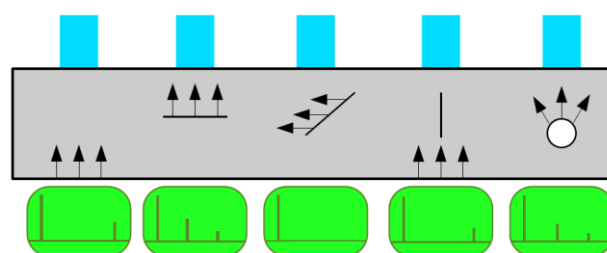


Figure 1 – Characteristics of ultrasonic reflections and material errors [6].

Transition method

The transition method is based on ultrasound attenuation when passing through a material error site. The method requires two probes placed against each other so that one only emits ultrasonic wave and the other probe only receives the ultrasound ripple passing through the material (figure2). From such a probe arrangement, it is clear that the process is limited to controlling surfaces

with suitable opposed surfaces. Another disadvantage is that if the error is far from the receiving probe and its cross-section is smaller than the cross-section of the ultrasonic bundle, the acoustic shadow closes at a certain distance beyond the error and the receiving probe records the same signal as the faultless location. However, the great advantage of the transition method is the fact that ultrasound passes only a half way compared to the reflection method and is therefore less attenuated. [1]

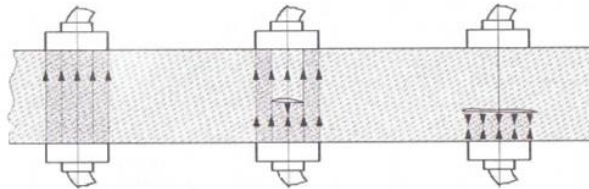


Figure 2 – Fault identification by transition method [6].

Both methods have multiple testing techniques, differing in the arrangement of ultrasonic probes.

Phased Array Technique

Technological advance in the development of piezocomposite ultrasound probes in the 1990s allowed the ultrasound defectoscopy to gradually penetrate the field of ultrasonic medical ultrasound technology, known as the Phased Array, to electronically modify an ultrasound beam.

It forced the problems with conventional ultrasound techniques in instrument testing, such as the need to detect random errors from one test site, the requirement to improve the signal to noise ratio of heterogeneous welds to improve the accuracy of defect size assessments, to improve the ability to detect small cracks in a complicated geometry of turbine components, etc. [1]

The Phased array technique is based on a probe comprising a set of small transducers arranged generally linear (figure3). Each of the transducers is driven by a separate generator and the signals received from the material by each of the transducers are also amplified in a separate amplifier. The width of the individual inverters is small, so each of them transmits an elemental cylindrical wave to the material. According to the Huygens principle, the forehead of the resulting wave is formed. By the mutual delay of exciting pulses, the resulting wave is directed at the required angle or focus. [1]

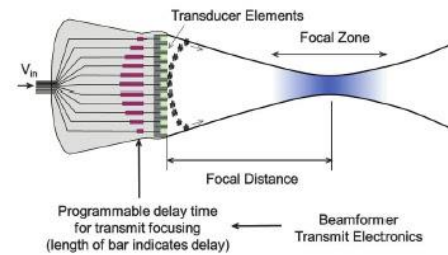


Figure 3 – The principle of generating the ultrasonic beam by means of a phase array [2].

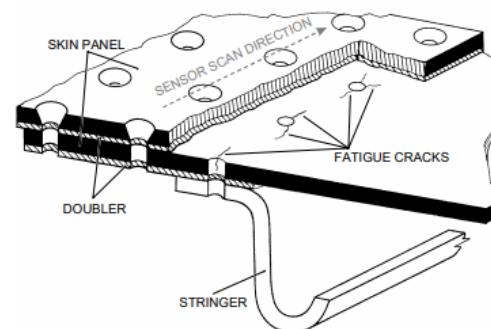
This makes it easy to move the sound field in a certain direction and focus on specific depths.

Inspection of aircraft skin and riveting joint

To control the metallic cover of the aircraft and to check the threaded connections, one of the used methods is the Phased array ultrasound method.

Detection of hidden fatigue cracks in riveted aircraft designs, as shown in Figure 7, is a challenging task. Specific geometry (holes, nits, etc.) produces strong indications of ultrasound waves, which should be recognizable from possible indications of failure.

The advantage of the Phased Array method is the ability to focus the beam in a lateral direction. Once the beam is focused in the lateral direction, the control clearly distinguishes between geometric echoes (such as fastener holes) and those originating from cracks. However, some tests use the ability to control the ultrasonic beam in another way: beam steering in the lateral direction. In this ultrasonic beam control, its angle of inclination changes, while the refractive angle remains solid. This configuration of probe and wedge ultrasonic transducer is very useful for some applications, inspection the riveted joint of the aircraft's outer skin. Typical failures that are found are cracks in the area of the thread fastening holes placed on the aircraft. This technique has great advantages when the crack is vertical, in other words, when the orientation of the crack is not perpendicular to the



direction of the beam. [9] [11]

Figure 4 – Longitudinal riveted joint with fatigue cracks in the aircraft skin.[6].

Devices that can be used for the described Phased array ultrasonic method are e.g. Olympus OmniScan MX or OmniScan MX2. These devices are used to detect cracks along the lower row of riveted joints.

There are two configurations that can be used:

1. The first beam configuration consists of one lateral linear scan with a skew of 0 degrees, and one sectorial scan with skews of -15 degrees to 15 degrees. These scans are produced by one aperture of 16 elements, which is located in the centre of the probe. [9]

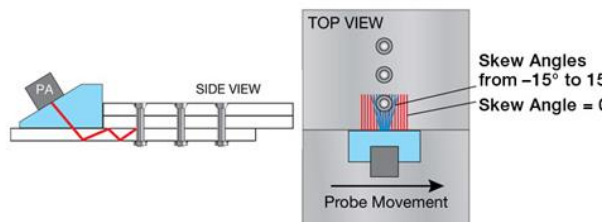


Figure 5 - Side linear control (red lines), sector scan (blue lines) [9].

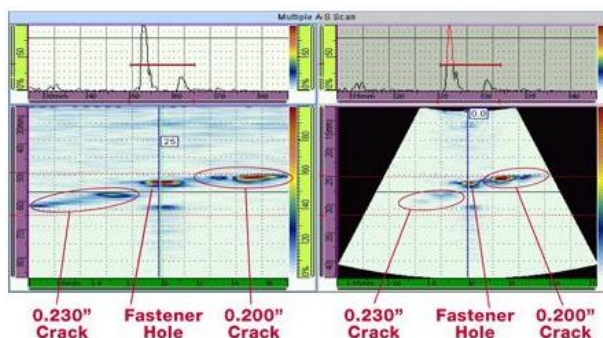


Figure 6 – Print screen from Omni Scan with crack detection using the first configuration. Side Line Control (Left), Sector Scan (Right) [9].

2. The second beam configuration is composed of three lateral linear scans set at different skew angles as shown in the figure below. In this example, the crack is strongly detected with the scan at 15 degrees. This example clearly shows the importance of the skewing angle when detecting cracks have an oblique orientation. [9]

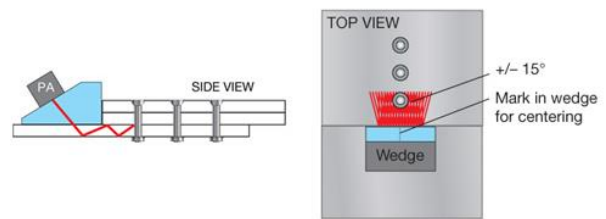


Figure 7 – Three lateral linear scan configurations (red lines)[9].

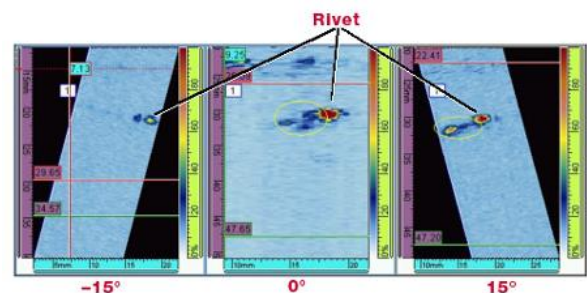


Figure 8 – OmniScan print screen showing crack detection using the second configuration. -15 degrees (left); 0 degrees (center); +15 degrees (right) [9].

Nondestructive Bond Testing for Aircraft Composites

At present, the construction of aircraft mainly used materials composed of several components - composite materials. They have excellent mechanical properties and chemical resistance. They offer a variety of technological possibilities for use in the aviation industry. Thanks to their ability to carry heavy loads in one direction, they can maximize their performance at a minimum weight. They are therefore suitable for using in transport and aviation technology. As a result of suitable technological processing, elements of high strength, resistance over a wide range of temperatures and very low weight are available. It is the construction material of the present and the near future.[12]

Due to the fact that airplanes are subject to impact and lightning strikes, reliable and efficient methods of non-destructive testing are needed to quickly assess possible damage. The required methods and tools must be easily used by NDT inspectors around the world to ensure consistency of test results during maintenance inspections.

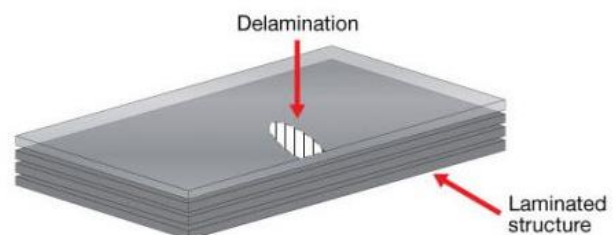


Figure 9 – Delamination in the laminated structure. Source: [4].

Effects that affect airframes can cause different types of damage to composite materials. Damage will vary depending on the nature of the composite, its composition and its density. In the composite layered structures, errors are caused by the impact of mainly delamination between the various layers of the hull and the wing surface. Such separation can significantly damage the integrity of laminated structures. [4]

On composite sandwich structures composed of honeycomb core (Nomex) with outer carbon layers, the following damages may occur after crushing:[13]

Type A - delamination between plies of outer CFRP skin, parallel to surface

Type B - disbonding between the outer skin and the honeycomb core

Type C - cracked honeycomb core parallel to the inspection surface

Type D - crushed honeycomb core in parallel area

Type E - disbonding between inner skin and honeycomb core

Type F - fluid ingress in honeycomb core

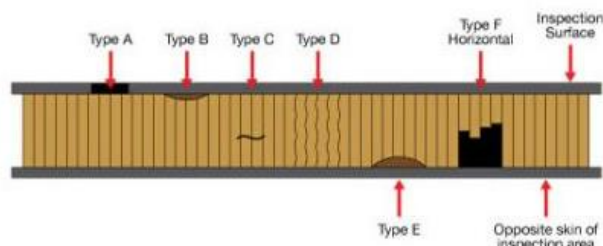


Figure 10 – Damage to the composite sandwich structure. Source : [4].

The pitch-catch modes are used to inspect composite materials containing honeycomb structures. The transmitter sends acoustic energy into the part, which is received by the receiver. In a bonded condition, a portion of the acoustic energy is attenuated by the components of the structure. When the probe is placed over a disbonded area, the amount of energy returned to the receiver is greater, resulting in an amplitude change.

An adaptation of this technique was recently developed to allow reliable detection of a disbond (area 25 mm (1 in.) x 25 mm.) located on the far side below 40 mm of honeycomb structure, like a type E defect. A new differential high voltage probe was specifically designed for a difficult and time-consuming inspection of an airplane. This remarkable result is now referenced in commercial airline service bulletins.

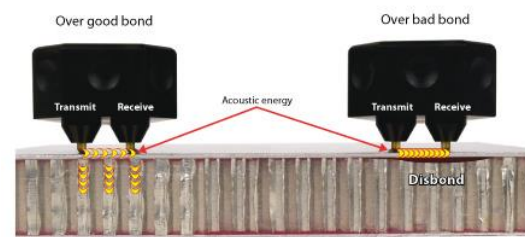


Figure 11 – Ultrasonic Pitchcatch Testing Method. Source : [4].

Mechanical impedance analysis is a low frequency acoustic method. Frequencies that are transmitted to the subject under test are in the range of audible oscillations of 2 to 10 kHz. The essence of the method is to utilize the difference in acoustic impedances between good and wrong locations of the tested component. Typically, this method is used to control the joining of layers of composite materials. The place under the probe will shake as a whole. Changes in acoustic (mechanical) impedance are manifested by reaction of the force acting on the piezoceramic transducer in the probe.

A technique was recently developed to detect disbonds between the inner skin and the core. The technique uses a broad bandwidth 1 MHz probe when excited by a powerful square wave pulse creates resonance in the structure underneath the probe. The instrument's receiver filter is tuned to the thickness of the structure and to work at the corresponding half-wavelength. Presence of a disbond will reduce the stiffness of the structure causing a resonance shift to longer wavelength, and therefore the resonance frequency will diminish. A 25 mm (1 in.) x 25 mm disbond on the inner structure will cause a backwall signal attenuation of 6 to 12 db due to that phenomenon. [4]

Eddy Current Method

The method of eddy currents in the non-destructive control of material, semi-products and articles is based on the fact that the test object, which has some electrical conductivity, magnetic permeability and certain dimensions, is exposed to an alternating magnetic field generated by an AC coil powered alternating current. In this object, as has been said, a swirling current is indicated which, by its magnetic effect, acts backwards to the original magnetic field. These two magnetic fields - primarily from the drive coil and the reaction from eddy current - are vectorized in the resulting field, which will depend on the electrical conductivity and magnetic permeability of the object to be tested.

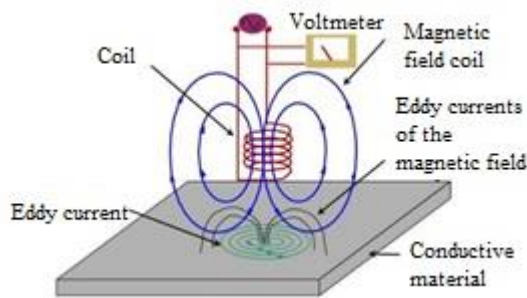


Figure 12 – The Principle of Eddy Current Method.
Source : [1].

The principle of non-destructive control by means of whirling currents is that the structural state of the material changes the said magnetic and electrical parameters, or the presence of the defect interrupts part of the streams of the vortex streams so that their feedback effect on the driving field changes. (Škeřík & Mařánek, Skripta NDT metody, 2014)

The Eddy Current Method is used to detect surface and subsurface errors, corrosion in aircraft structures, mounting holes for various components, and thread cracks.

Routine inspection with eddy current is primarily performed on the aircraft chassis in the area of wheel hubs and the fitting of the chassis legs on the aircraft fuselage. The eddy current stream method is also used to check the components of the aircraft engine.

The method is only suitable for conductive materials (ferrous, non-ferrous and austenitic materials). The method requires calibration standards and a trained operator. The method is fast and portable. Special probes are needed to test different types of materials.

SCAN THROUGH THICK COATING

Each individual eddy current coil in the probe produces a signal relative to the phase and amplitude of the structure below it. This data is referenced to an encoded position and time and represented graphically as a C-scan image. For rivet applications, the eddy current coils that pass over a defective rivet generate a unique signal response. For coils that are affected by a crack initiating from the rivet hole, an amplitude change is represented in the C-Scan display. For coils that detect no change, the color representation remains constant in the C-scan display. [10].

Olympus NDT is pleased to introduce the new Doubler Edge Skin Crack Inspection solution, which utilizes the latest ECA technologies for subsurface detection. Drastically reduced inspection times, C-scan imagery, large probe coverage, encoded scan, and data/setup recording capabilities are just a few of the many benefits of OmniScan technology. Intuitive imagery with the C-scan allows for higher probability of detection and better reproducibility, and also makes it easier to identify the rivet row and edge on-screen. Thanks to its wide coverage, probe positioning is not critical. This coverage also enables both edges of the doubler to be covered during the same scan. [10].

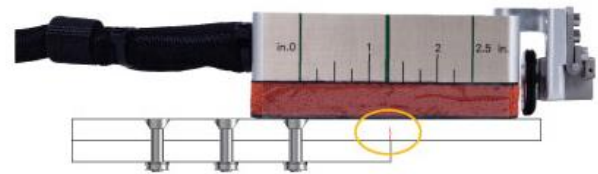
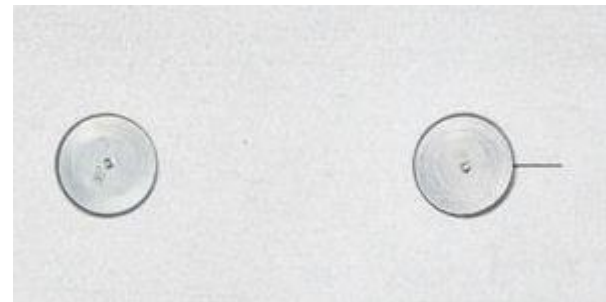


Figure 13 – Optimal positioning of the probe during inspection. Source : [10].

Another probe is available that can scan fasteners through thick non-conductive coating: the SEB-064-005-032. Though it does not provide high resolution like the SBBR-026-300-032, its low-frequency range (0.5–50 kHz) and bigger coils can scan through thicker, non-conductive coatings like paint, stickers and rubber. Due to its large coverage (64 mm), two rows of fasteners can be scanned at one time. Cracks do not have to be oriented in a specific direction, as this probe is also omnidirectional.



[10].

Figure 14 – Sample with EDM notch. Source : [10].

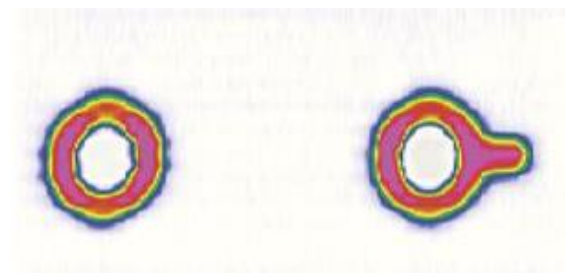


Figure 15 – C-Scan cracks. Source : [10].

Corrosion Detection

Corrosion detection by using eddy current array technology offers major advantages over conventional eddy current inspection methods. Because each individual eddy current coil generates a unique electrical signal in relation to the structure below it, the coils can detect very small changes in material thickness, along with other parameters, and display these changes as a color-coded C-scan image. Imaging using eddy current array allows easy interpretation of the data generated from the probe coils. After it has been collected, the inspection data can be stored, transmitted, and analyzed. [9].

Color palettes play a very important role in the imaging of eddy current array data. Color palettes determine how the data will be displayed. Color palettes are often linked to the amplitude of the eddy current signals; however, when required, color palettes can also be linked to the phase angle of the signals. Color palettes range from a gradual rainbow palette to a precise, two-color "go/no-go" palette. Black and white palettes are also often used. [9].



Figure 16 – Internal Subsurface Corrosion Area. Source : [9].

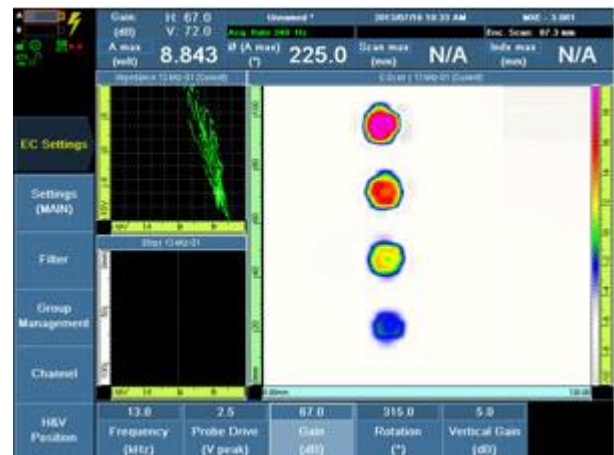


Figure 17 – Area and Depth Color Calibration. Source : [9].

In this particular example, corrosion detection gives these values:

PINK= 40% corrosion depth

RED= 30% corrosion depth

YELLOW= 20% corrosion depth

BLUE= 10% corrosion depth

Conclusion

The purpose of non-destructive testing is to detect any material failure, determine the type of failure, and describe its location and size. With this information, it is then possible to evaluate whether it is possible to repair the component being repaired by a suitable method or to replace it with a new component.

The currently used defectoscopy methods are in most cases sufficient to obtain these data, but many times the measurement is very complex, costly, or time-consuming. That is why newer and better defectoscopic devices and control procedures are being developed.

From the field of ultrasonic testing, it appears to be a very useful Phased array method that provides reliable control of aviation technique. The lateral linear scan configurations show a high sensitivity potential in finding cracks in the fasteners. Cracks up to 1 mm long can be detected with a very good signal-to-noise ratio. Angle of inclination is optimized for oblique cracks. This probe configuration and wedge can be used for many other applications.

When reviewing composite materials, new ultrasonic inspection techniques are developed to provide us with a reliable control of these materials.

References

- [1] Kopec, B., 2009. Nedestruktivní zkoušení materiálů a konstrukcí. Brno: Akademické nakladatelství CERM.
- [2] Lamarre, A., 2009. Ultrasonic phased-array for aircraft maintenance. Available at: <http://ndt.aero/images/docs/UTPAfor%20maintenance.pdf>
- [3] Crompton, M., 2014. Imaging bond testing. Available at: <http://airlines.org/wp-content/uploads/2014/10/241300-Matt-C.pdf>
- [4] Olympus. Nondestructive bond testing for aircraft composites. Available at: <https://www.olympus-ims.com/en/applications/non-destructive-bond-testing-aircraft-composites/>
- [5] Adamus, A., Adamus, J., Lacki, J., 2017. Ultrasonic testing of thin walled components made of aluminum based laminates, Journal of Composite Structures. ISSN 0263-8223
- [6] Masserey, B., Raemy, Ch., Fromme, P., 2014. High-frequency guided ultrasonic waves for hidden defect detection in multi-layered aircraft structures. Journal of Ultrasonics. Vol. 54. Issue 7.
- [7] Olympus. Aircraft Skin Inspection with Phased Array Lateral Scanning. Available at: <https://www.olympus-ims.com/en/applications/aircraft-skin-inspection-with-phased-array-lateral-scanning/>
- [8] Olympus. Inspection of Landing Gear. Available at: <https://www.olympus-ims.com/en/applications/inspection-landing-gear/>
- [9] Olympus. ECA Subsurface Corrosion Detection. Available at: <https://www.olympus-ims.com/en/eca-solutions/eca-subsurface-corrosion-detection/>
- [10] Olympus. Doubler Edge Skin Crack Inspection Solution. Available at: <https://www.olympus-ims.com/en/aircraft-maintenance/doubler/>
- [11] Bugaj, M., Pecho, P., Rostáš, J.: Úloha analýzy spoľahlivosti lietadlových celkov pri stanovovaní subprocesov údržby riadenej spoľahlivosťou In: Aero-Journal : international scientific journal of air transport industry. - ISSN 1338-8215. - č. 1 (2017), s. 12-17.
- [12] Bugaj, M., Škultéty, F., Pecho, P.: Využitie analýzy príčin a následkov porúch v leteckej technike In: Aero-Journal : international scientific journal of air transport industry. - ISSN 1338-8215. - č. 1 (2016), s. 37-44.
- [13] Bugaj, M., Rostáš, J.: Diagnostika lietadlovej techniky In: Zvyšovanie bezpečnosti a kvality v civilnom letectve 2016 : medzinárodná vedecká konferencia organizovaná v rámci riešenia projektu Základný výskum tarifnej politiky na špecifickom trhu letiskových služieb VEGA 1/0838/13 : Zuberec, 27.-29. január 2016. - Žilina: Žilinská univerzita, 2016. - ISBN 978-80-554-1143-9. - S. 64-66.

VYUŽITIE GNSS V LETECKÝCH PRÁČACH

Ing. Ľubomír Kováčik

Katedra leteckej dopravy, externý doktorand, Žilinská univerzita v Žiline, Slovensko
kovacikl@gmail.com

Prof. Ing. Andrej Novák, PhD.

Katedra leteckej dopravy, Žilinská univerzita v Žiline, Slovensko
Andrej.Novak@fpedas.uniza.sk

Abstract – GNSS (Global Navigation Satellite Systems) majú veľký význam v bezpečnosti ako i presnosti práce pre leteckú činnosť. Využitie GNSS (GPS, Glonass, Galileo) v LPP (Letecké práce v poľnohospodárstve) má veľký veľký význam nie len dnes ale aj v nasledujúcich rokoch pre presné dávkovanie a pokládku danej chémie, ale hlavne pre ušetrenie letového času na aplikáciu, čo prinesie zníženie nákladov. Doteraz pilot vzdialenosti odhadoval sám podľa dlhoročných skúseností, resp. predletovej prípravy.. GNSS môže priniesť pilotovi možnosť viac sa sústrediť na bezpečný let a zvýšenie kvality práce.

Key words – lietadlo, letecké práce v poľnohospodárstve, GNSS, satelitné systémy.

Úvod

Pre účely civilného letectva bola stanovená definícia Globálneho navigačného satelitného systému (GNSS) ako celosvetový systém pre určovanie polohy a času, ktorý zahŕňa konšteláciu jednej alebo viac družíc, lietadlových prijímačov a monitorovaním integrity systému, rozšírený, ak je to nevyhnutné, na podporu požadovanej navigačnej výkonnosti pre zamýšľanú prevádzku. Globálne navigačné satelitné systémy - GNSS tvoriace základ navigácie založenej na výkonnosti - PBN (Performance-based Navigation) poskytujú bezproblémové, harmonizované a nákladovo efektívne vedenie lietadla od odletu do konečného priblíženia s vertikálnym vedením, ktoré poskytuje výhody v oblasti bezpečnosti, účinnosti a kapacity. [1]

GPS (Global Positioning System) je americký systém, ktorý poskytuje užívateľom služby určovania polohy, navigácie a času. Využíva súradnicový systém WGS 84 (World Geodetic System from 1984). Tento systém bol pôvodne určený výlučne pre armádne použitie, až neskôr v 80. rokoch bol uvoľnený aj pre civilné použitie. Postupom času a vývojom prijímačov ako aj prostriedkov IKT sa GPS prijímač dostal do všetkých oblastí hospodárstva a zároveň aj do všetkých oblastí letectva.

Satelitné navigačné systémy sa využívajú skoro vo všetkých odvetviach prác od hľadania zatúlaných zvierat, monitoring pohybu osôb až po ovládanie lietadiel, lodí, rakiet, dronov, traktorov ... atď. Veľký pokrok v tejto oblasti bol urobený hlavne v automatizácii ovládania strojov, ktoré sú schopné pohybu bez operátorov (automatizované sklady, kombajny po roľách ...). Navigácie založené na GNSS pre letectvo určujú presnú polohu a navigujú lietadlo po bodoch trate k požadovanému miestu určenia. GNSS systémy pre pozemnú poľnohospodársku techniku, nie sú určené do lietadiel, ale za určitých podmienok je možné využitie ako podporný systém v leteckých poľnohospodárskych prácach (LPP). Pre LPP môžeme využiť aj pozemné GNSS (GPS, Glonass prijímače) využívať na zber dát, ktoré môžeme použiť na vykresľovanie už urobenej časti poľa, ako to robia traktory/kombajny. Tieto možnosti letecké GNSS neponúkajú. Špecializované letecké GNSS prijímače určené na LPP sa niekedy už do starších lietadiel neoplatí inštalovať vzhľadom na to, že ich cena inštalácie je väčšia, ako zostatková hodnota samotného lietadla.

Výber vhodného HW a SW nástroja pre letecké práce

Pri výbere vhodného GNSS bolo braných v úvahu niekoľko atribútov:

- rozmery
- rýchlosť zberu dát
- mapový systém
- podpora
- rozšírenosť produktu

Kabína lietadla je robená čo najergonomickejšie pre pilota a kedysi sa nerátalo ešte GPS umiestnením. Preto umiestnenie v lietadle by malo byť tak aby neprekážala vo výhlade pilota a aby pilot nebol zbytočne otravovaný počas letu, ale musí mať aj dostatočný výhľad na GPS aby ním nebol rozptyľovaný. Stále si treba pripomínať že sa jedná o podporný systém. [2]

Pri rýchlosti zberu dát si treba uvedomiť, že traktor ide po roli zhruba 20-50 km/h lietadlo letí

rýchlosťou od 120 – 180 km/h. Tu nastáva problém v rýchlosti prijímaného signálu s GPS. Novšie prijímače už majú dostatočnú kapacitu aby zabezpečili presný a rýchly zber aj pri väčších rýchlostiach (pri testoch nemali problém ani s rýchlosťou okolo 250km/hod).

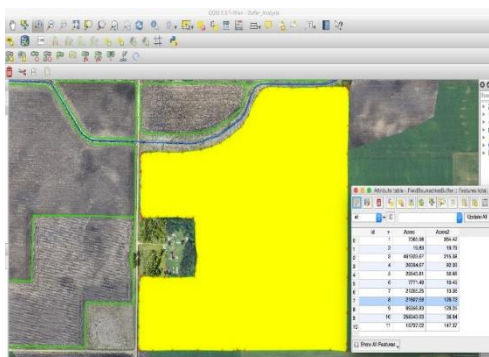
Všetky pozemné GPS sa pracujú v súradnicovom systéme WGS -84.

Pre LPP netreba mapový podklad, ale len aby súradnicový systém bol rovnaký. Pilot nepotrebuje mapu zeme (napr. rieky, cesty, mesta), pilot potrebuje mať na obrazovke čo najmenej farieb – podklad, ohraničenie parcele, už urobenej časti parcely, náletové línie.

Podpora produktu je dôležitá vzhľadom na nové vylepšenia. Ako rozšírenie produktu je brané napr. svetelná rampa namontovaná vonku na kapote lietadla, ktorá veľmi uľahčuje pilotovi prácu ktorý nemusí stále kontrolovať polohu s GPS. Rampa naviguje svetelnými ukazovateľmi na náletovú rovinu. Najrozšírenejší produkt, aj už v letecktvé používaný je konzola od TOPCON, obrazovka X14 a prímač 114, pričom obrazok č.1. [3 a 4]



Obrázok 1 – Prijímač Topcom s obrazovkou, určený pre poľnohospodárske práce. [5]



Obrázok 2 – GIS aplikácia umožňujúca jednoduché zdieľanie dát pre spracovanie mapových podkladov.[5]

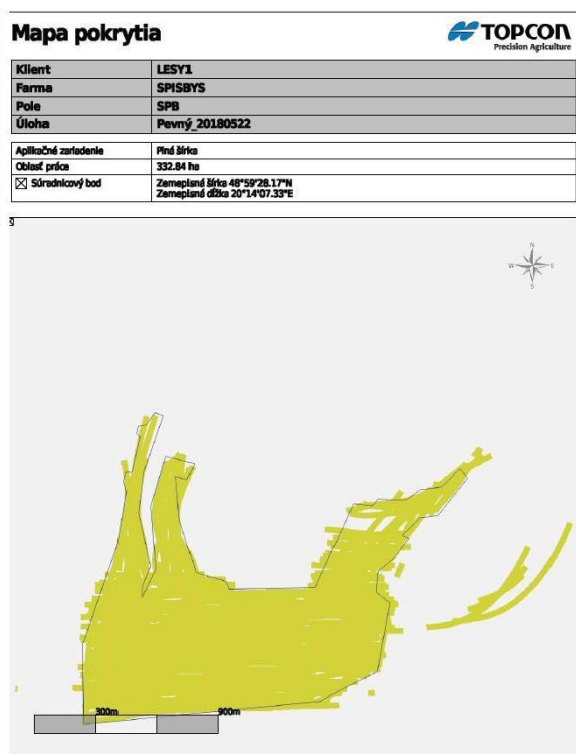
Praktická aplikácia a využitie zariadení

Momentálne sa tento GNSS systém využíva hlavne pri lesných leteckých prácach, ako je vápnenie alebo postrek. Väčšina zákazníkov vyžaduje ako výstup vykreslenie danej plochy pri aplikácii (to robí pozemná GNSS) a letové body (to robí letecká GNSS). Preto musí byť na palube aj letecká GNSS.

Najväčšie problémy nastávajú vo vzdialenostiach od vzletu k pracovnej ploche (traktor to nepozná, príde na roľu zapne GNSS a pracuje). Niektoré pracovné plochy sú vzdialené aj 10 km od letiska. Tu niekedy pozemná GNSS sa začne hľadať, „laicky povedané nechápe prečo traktor odchádza preč z role“. Neexistuje tu ani tlačítko GO TO. Preto sa musí používať aj letecká GNSS (napr. Garmin 196, Aera 500 obrazok č.3). Letecká GNSS navedie lietadlo na pracovnú plochu a potom sa prechádza na pozemnú GNSS. Výstupný protokol pre zákazníka sú v grafickej podobe mapy s základnými údajmi, pričom výstup je generovaný do PDF súboru vid obrázok č. 4. Činnosť počas vykonávania letu a samotných leteckých prác musí byť čo najjednoduchšia a všetko sa musí nastaviť pred letom alebo počas letu na parcelu, aby pilot počas najťažšieho úseku letu sa venoval len lietadlu a správne vykonaniu letu.



Obrázok 3 – Prijímač Garmin AERA 500, určený pre letecké práce.[6]



Obrázok 4 – Výstupný protokol pre zákazníka o vykonaných leteckých prácach. [7]

Zápis je vykonávaný okamžite po zapnutí aplikačného zariadenia a ukončené po vypnutí aplikačného zariadenia. Je to rovnaké ako u pozemných strojoch. Na obrazovke (viď obrázok č. 1) je vykreslená zelené čiary na sivom podklade. Zelená línia je široká podľa záberu ktorý sa nastavený dopredu a znamená vykonanú prácu. U leteckých postrekoch je to do 25m (s prekrytím 0,5 -1 m). Červená línia znamená stred náletu lietadla.

Veľkou výhodou je keď zákazník vie už pracovné plochy, ktoré sa budú ošetrovať a pošle ich súradnice dopredu, aby sa vedeli nahrat do GPS. Bohužiaľ SR/ČR je veľmi málo družstiev ktoré pracujú s takýmito dátami. V prípade keď pilot nedisponuje takýmito informáciami si musí prvým letom spraviť začiatočnú líniu a GPS bude potom automaticky odsadzovať lety podľa nastavenia záberu. Výstup je rovnaký, ale bez ohraničenia pracovnej plochy. [8]

Záver

Existuje veľa firiem, ktoré robia letecké GPS systémy určené pre letecké poľnohospodárske práce a ktoré sa používajú vo svete hlavne pre lietadlá AirTractor a Thrush. Veľká výhoda týchto lietadiel je ich usporiadaný a priestranný kokpit viď. obrázok č. 5.



Obrázok 5 – Výstupný protokol pre zákazníka o vykonaných leteckých prácach.

Nové lietadla sa už vyrábajú tak, aby bol priestor v kabíne aj pre nové technológie, ktoré vyrábajú viaceré firmy a zákazník má možnosť si vybrať. Väčšina produktov má väčšie obrazovky pre lepšie zobrazovanie a ovládateľnosť. Dotykový display je samozrejmosťou

Vzhľadom na to, že na Slovensku sa používajú lietadla typu Zlin Z-37, Z-137, pri ktorých sa nepredpokladalo so zástavbou GNSS prijímačov a preto tu nie je vhodné miesto na zástavbu. Možnosť prestavby daných lietadiel je pre nové predpisy náročný proces. Umiestnenie veľkých tabelových obrazoviek, ktoré by nezavadzali vo výhľade pilota von, alebo na prístroje je v ergonomickej kabíne obtiažne až nemožné viď. obrázok č.6.



Obrázok 6 – Cockpit lietadla Zlín Z-37. [Zdroj: autor]

Spriahnutie pozemnej a leteckej GNSS môže priniesť ušetrenia nákladov a s dostačujúcimi výstupmi pre zákazníka o vykonanej danej činnosti aj kontrolu vykonanej práce.

Treba si stále uvedomiť že je to len podporný systém určený hlavne na kontrolu vykonávania letu. Let musí pilot vykonať stále sám.

Acknowledgment

This paper is published as one of the scientific outputs of the project: „New technologies and best practices in education in the Air Transport and Professional Pilots”, KEGA 011ŽU-4/2018.

Literatúra

- [1] Haljaková, P., Novák, A.: Kvalita signálov GNSS na letisku Žilina, In: Aero-Journal : international scientific journal of air transport industry. - ISSN 1338-8215. - č. 1 (2017), s. 43-47.
- [2] Kandra, B.: Letecké prístroje, knižná publikácia 1. vyd. - Bratislava : DOLIS, 2015, ISBN 978-80-8181-017-6
- [3] Kandra, B.: Flight laboratories and flight data recorders In: Perner's Contacts [elektronický zdroj]. - ISSN 1801-674X. - Vol. 6, No. 5 (2011), s. 111-117
- [4] Novák Sedláčková, A., Kandra, B., Topolčány, R.: Letecký zákon a postupy ATC Bratislava : DOLIS, 2015, - ISBN 978-80-8181-018-3
- [5] www.surveye.sk , manual TOPCON X14,
- [6] www.garmin.com , Garmin Aera 500
- [7] www.qgis.com
- [8] Bugaj, M.: The basic analysis of control systems on commercial aircraft [Základná analýza systémov riadenia v komerčných lietadlách] In: Perner's Contacts [elektronický zdroj]. - ISSN 1801-674X. - Vol. 6, No. 5 (2011), s. 29-35.