

**young transportation
engineers conference**

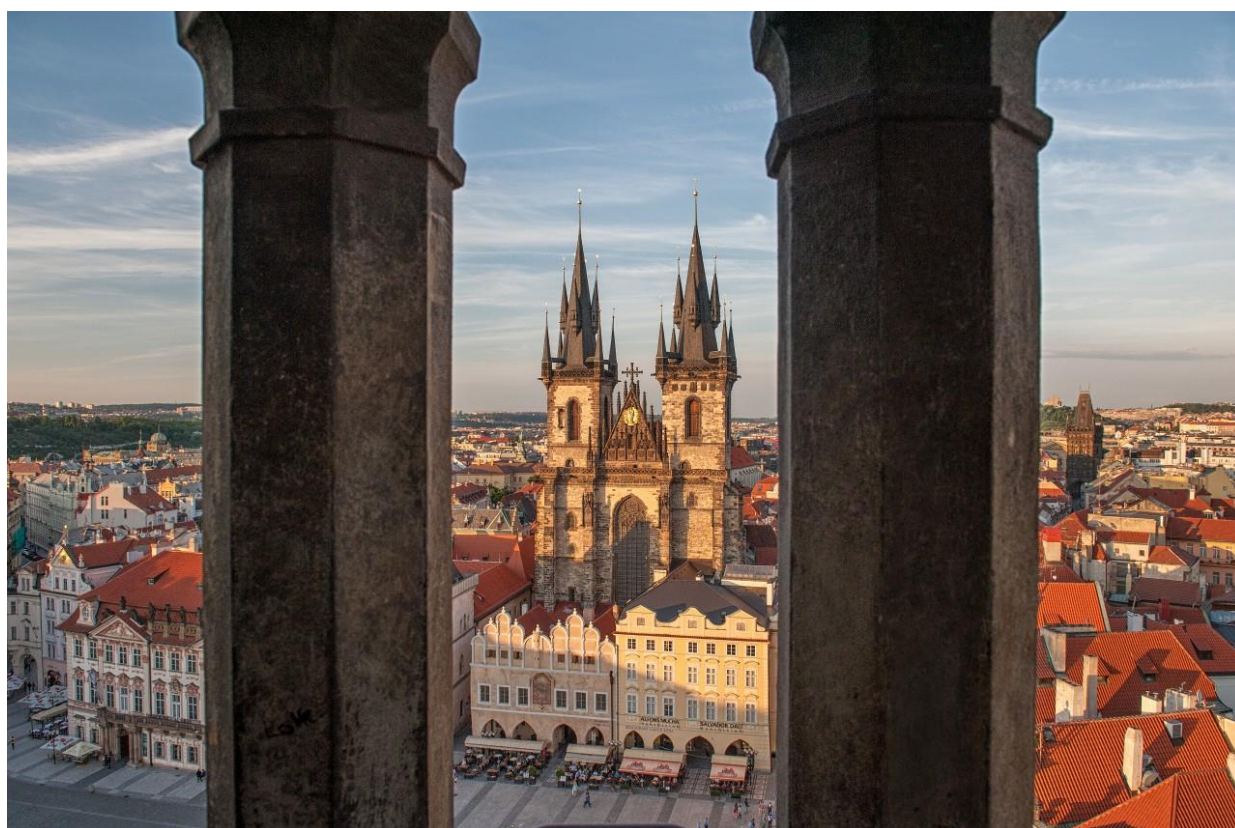
2018



Young Transportation Engineers Conference 2018

1.11. 2018, FD ČVUT

PRAHA, ČESKÁ REPUBLIKA



SBORNÍK

2018 Young Transportation Engineers Conference

Praha, 1. 10. 2018

ISBN 978-80-01-06464-1



Young Transportation Engineers Conference 2018

Copyright © České vysoké učení technické v Praze Fakulta dopravní, listopad 2018
Všechna autorská práva textu jsou vyhrazena. Není dovoleno kopírování, rozdělování a veřejné šíření textů, ani žádné její části bez vědomí editorů

Autor (editor): Ing. Luboš Nouzovský, Ing. Martin Jacura, Ph.D., Bc. Ondřej Doležal, Ing. Michal Drábek, Ph.D., Ing. Patrik Horažďovský, doc. Ing. Jakub Kraus, Ph.D., Ing. Bc. Petr Kumpošt, Ph.D., Ing. Josef Mík, Ph.D., Ing. Jiří Růžička

Název díla: Sborník příspěvků konference Young Transportation Engineers Conference 2018

Vydalo: České vysoké učení technické v Praze

Zpracovala: Fakulta dopravní

Kontaktní adresa: ČVUT v Praze Fakulta dopravní, Horská 3, 128 03 Praha 2

Tel.: +420 224 359 003

Tisk: pouze elektronicky - online

Pořadí vydání: první

M

MOTT
MACDONALD M



IPR PRaha



TABLE OF CONTENTS

Title / Contact Author	Paper ID
Potential solutions for various VANET telecommunication problems <i>Zaid Mahmoud</i>	1
Forenzní inženýrství zacílené na rizika <i>Procházková Dana</i>	2
Project of the first public heliport in Prague <i>Matějka Lukáš</i>	3
Vliv stárnutí na modifikovaná asfaltová pojiva <i>Blačšík Marek</i>	4
Rizika spojená s provozem na železnici <i>Kertis Tomáš</i>	5
Merging Bayesian Networks based on different types of input knowledge <i>Vaniš Miroslav</i>	6
Implementing Evidence-Based Practice in Initial Pilot Training <i>Valenta Viktor</i>	7
Weather forecast in Prague using different prediction models <i>Hůlek David</i>	8
Unmanned Aerial System in the current environment of Czech Regulation <i>Hulínská Šárka</i>	9

Energetické úspory v dopravě	10
<i>Antoš Jan</i>	
Floppy logika - užitečný nástroj pro popis a řízení systémů	11
<i>Provinský Pavel</i>	
Pre-processing raw data from traffic detectors	12
<i>Hrdina Lukáš</i>	
A road towards the Total Airport Management (TAM)	13
<i>Spak Miroslav</i>	
Aircraft Contrail Research	14
<i>Lán Sébastien</i>	
Increasing the operational efficiency of airport security controls - students' project	15
<i>Vokáč Roman</i>	
Airport's data sources and units integration influence on productivity improvement and better procedures' effectiveness	16
<i>Stojíc Slobodan</i>	
Proposal of Modifications of the Urban Public Transport in Rakovník	17
<i>Vávra Rudolf</i>	
Public transport planning using multi-agent systems	18
<i>Horážd'ovský Patrik</i>	
Railway passenger transport opportunities in the Banska Bystrica Region	19
<i>Vojtek Martin</i>	

Advisory Procedures Testing	20
<i>Šerlová Michaela</i>	
Multi-objective optimization of railway traffic	21
<i>Kamenický Dušan</i>	
Sensor network for ammonia detection at the airport	22
<i>Kušmírek Stanislav</i>	
Personal Transporter Safety	23
<i>Nouzovský Luboš</i>	
Improving Competitiveness using the LCC methodology	24
<i>Vogl Jan</i>	
Optimální technické parametry železniční dopravní cesty pro dosažení požadované provozní koncepce	25
<i>Purkart Pavel</i>	
Data utilization of devices for recording a drive dynamics of motorcycles in a reconstruction of Pre-collision.	26
<i>Kobosil Martin</i>	
Fluctuations in Passenger Railway Service Period	27
<i>Drábek Michal</i>	
Shunting in ETCS L3 area	28
<i>Koutecký Petr</i>	
Design of Additional Locomotive Service in the Vysočina Area	29
<i>Drábek Michal</i>	

Instrumentace dělené Hopkinsonovy tyče a jejích modifikací pro testování materiálů za nárazového zatížení.	30
<i>Falta Jan</i>	
Numerical Analysis of Mechanical Properties of Auxetic Structures	31
<i>Neuhäuserová Michaela</i>	
Situation Analysis of Roadside Advertising in Czech Republic	32
<i>Nouzovský Luboš</i>	
Faktory působící na dynamiku soustavy jezdec - jízdní kolo	33
<i>Nouzovský Luboš</i>	
Problematika měření trajektorie soustavy jezdec – jízdní kolo	34
<i>Nouzovský Luboš</i>	

Potential solutions for various VANET telecommunication problems

Zaid Mahmoud

Abstrakt: Tento článek sleduje různé studie zabývající se speciálními případy v síti VANET (Vehicular ad hoc network). Jedná se např. o případy sítě s nízkou mobilitou, slepé koncové úseky sítě, pusté oblasti, oblasti s odcizenými jednotkami RSU (infrastrukturní komunikační jednotky) apod. Tyto studie objasňují reálné příčiny těchto speciálních případů sítě VANET a navrhuji potenciální řešení, jako je přijetí specifických protokolů, zahrnujících technologická řešení, a také vhodné uspořádání konkrétních klastrů sítě vedoucí k omezení problémů. Síť VANET v běžných případech úspěšně zvyšuje bezpečnost dopravy na pozemních komunikacích, zmírňuje následky dopravních nehod a omezuje negativní efekt dopravních kongescí. Uvedené problémy sítě VANET mohou tyto benefity obrátit v katastrofu. V závěrečné části článku je provedeno zobecnění výsledků založené na zkoumaných lokalitách, geografických aspektech, hustotě sítě, mobilitě a síťové topologii.

Klíčová slova: Síť VANET, Protokol AODV, Protokol OLSR

Abstract: This study refers to various other studies that cover the special stats of the VANET (e.g. low mobility, dead ends, deserts, countries where the RSUs (Roadside Units) on the highways are stolen, and other VANET cases). These studies clarify the real-life reasons of these cases and the potential solutions such as assuming specific protocols, incorporating technologies, and ordering particular clusters to limit VANET problems. VANET problems turn the VANET success of improving security on the streets, decreasing accident casualties, and limiting congestion effects, to a disaster. In the conclusions, general results are given based on research location, geographical aspects and network density, mobility as well as networking topology.

Keywords: VANETS, AODV, OLSR.

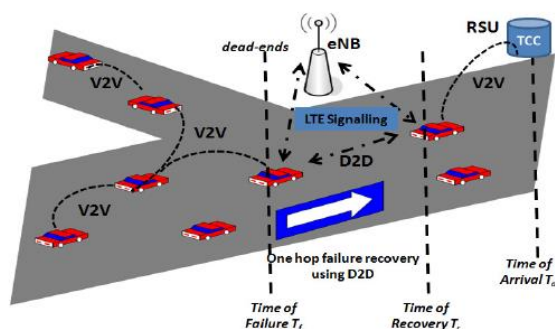
1. Introduction

Many previous studies took the VANET (Vehicular Ad-Hoc Network) risks into consideration because those risks could lead VANET to be a disastrous technology instead of easing people's daily life. Like other technologies, VANET has various challenges (SW problems, security hazards, technical problems, and communication problems). All these challenges compose real hazards, because this technology will be a part of our daily life, and these hazards threaten people lives. This systematic study takes communication problems into account, in cases (dead ends, deserts, developing countries and low-density network area). This could help to improve the network performance by night, by day and during rush hours by applying better telecommunication algorithms and protocols especially in-between (Reactive/Proactive) algorithms and protocols [12]. This systematic study will be performed as follows: section II deepens the previous studies by explaining the protocols, techniques, simulation scenarios and reasons, while Section III presents Results and conclusions of the study.

2. Included Studies

2.1. A Hybrid Model V2V through D2D Architecture

2.1.1. To get rid of 'Dead-ends' problem a hybrid technology has been suggested [1]. Using an expanded ITS, by allowing a multi-access intermediate handover between V2V and "LTE Long-Term Evolution" administrates D2D –Device to Device technology [4], [5]. This hybrid technology leads to improve linking performance, by increasing the throughput through improving delivered packets by time and reducing delay through linking the spacing vehicles directly.

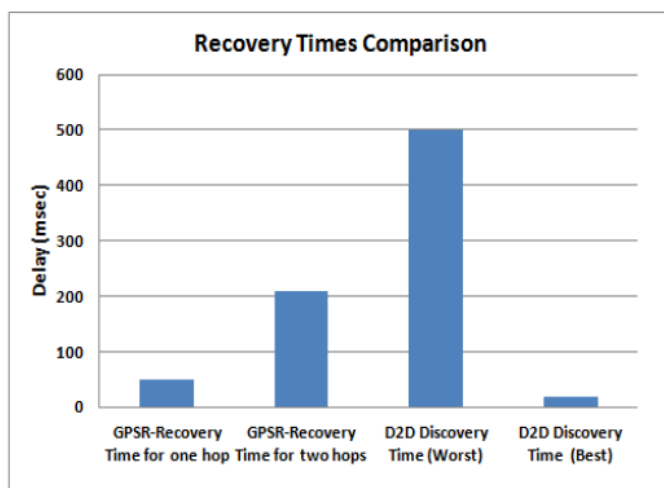


SRC: E. Abd-Elrahman, A. M. Said, T. Toukabri, H. Afifi and M. Marot, "A Hybrid Model to Extend Vehicular Intercommunication V2V through D2D Architecture"[1].

Fig. 1 One hop failure recovery using D2D

Fig. 1 illustrates the hybrid solution which includes ITS supports V2V, by D2D-LTE because of its reliability generality and globalization

2.1.2. Simulation results:



SRC: E. Abd-Elrahman, A. M. Said, T. Toukabri, H. Afifi and M. Marot, "A Hybrid Model to Extend Vehicular Intercommunication V2V through D2D Architecture"[1].

Fig. 2 Delay for (GPRS-Recovery time/ D2D Discovery time)

Fig. 2 clarifies one hop and two hops recovery time for GPSR (Greedy Perimeter Stateless Routing for wireless networks), which is a geographically based protocol on one hand and D2D, Best and Worst, cases discover time on the other hand. By analyzing the delays, we can find that despite the wide coverage area of D2D and its ability to solve the problem of dead-

ends, its delay is much greater in the worst case than the geographically based Vanet protocol (GPSR). Proactive D2D (Best case) has the least delay time which shows the difference between different algorithms. Here, the significance of studying all algorithms of all included technologies and the manner of linking them in hybrid technology must be pointed out.

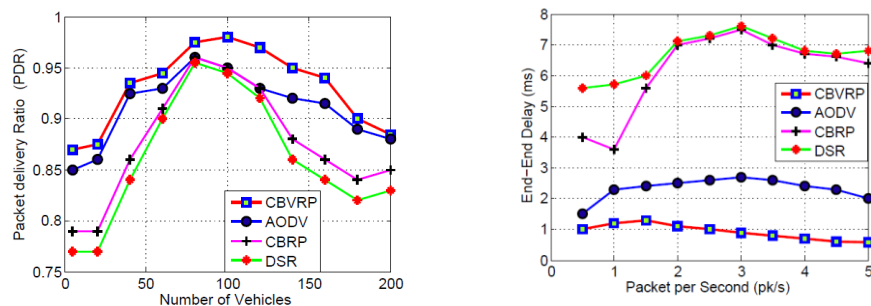
2.1.3. Results and conclusions of the study:

- Mixing many telecommunication technologies might be a solution for the VANET problems, such as LTE technology to solve the Dead-ends-problem.
- Taking the Proactive algorithms and its ability to reduce discover and handover times between the servers and technologies into consideration. Proactive algorithms are effective due to saved and prepared data tables of all neighbors and links which achieve a faster reaching for the neighbors and the destination node. However, the Proactive algorithms also have disadvantages such as saving and processing non-used data, which requires better hardware.
- The potential importance of mixing telecommunication technologies such as satellite technologies with VANETs must be pointed out. Studying the specifications of VANETs and satellite telecommunications may lead to a hybrid technology which could have its own applications.

2.2. VANET Clustering Based Routing Protocol Suitable for Deserts

2.2.1 A based on clusters VANET routing protocol (CVRP) was formed and analyzed to solve Smart VANETs low-density problems [2]. This protocol depends on reducing the choosing times of the cluster head [7], in addition to cooperate with other technologies. Based on the specifications of the algorithm, (Cluster-based VANET Routing Protocol) CBVRP, tries to solve the problem of RSUs lack in the deserts and the uninhabited areas, where there is no ability to construct the suitable infrastructure, to link the two nodes of source and destination by the DSRC coverage [6]. This protocol contains three routing conditions: first condition is routing within cluster through the Cluster Head, second routing condition is routing between the clusters by the adjacent cluster members through the destination CH to the final destination, the last routing condition by the global network (GSM or Satellite), in case the destination node is located out of multi-hop VANET coverage, election of the V_m , V_s , or V_{ms} vehicle is done by the source Cluster Head.

2.2.2. Simulation results:



SRC: M.M.M.Nasr, A.M.S. Abdelgader, Z.-G.Wang, and L.-F.Shen. "VANET Clustering Based Routing Protocol Suitable for Deserts". [2].

Fig. 3 PDR/Number of vehicles For CBVRP, AODV, CBRP and DSR "on the left"

End to End Delay/Packet per Second for (CBVRP, AODV, CBRP and DSR)"on the right"

The results of Packet Delivery Ratio (PDR) versus Number of vehicles simulation show that, the number of vehicles doesn't affect The PDR, but the curves show that the PDR of CBRP and DSR is less than that obtained by CBVRP and AODV, because the source node and the intermediate nodes store the next hop information corresponding to each flow for data packet transmission, but DSR and CBRP use source routing in which a data packet carries the complete path to be traversed.

Fig. 3 on the right, illustrates End to End Delay time versus Packet per the second Ratio, for 20 vehicles, the results show that CBVRP has the least delay, essentially delay is because of the searching algorithm and packet delivering process, thus in the CBVRP searching algorithm is computed only once. In AODV, accomplishing an initial link take dense time is dense, after that delay generally decreases, while in the other protocols is significant, because their packet delivering processes which extract the information before forwarding the reply.

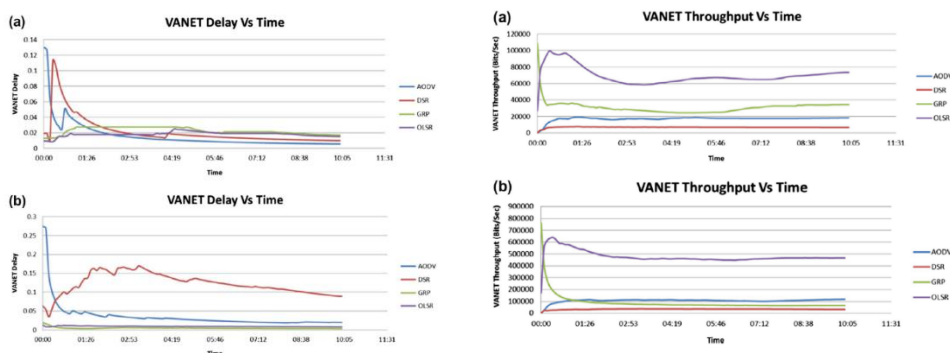
2.2.3. Results and conclusions of the study:

1. Benefiting from clustering in addition to depending on the other communication technologies to solve the short distance coverage problems.
2. Make studies on hybrid networks, studies whereas the cluster based or non-cluster based protocols are better.
3. specify the nodes duties in the net and classify the nodes in classes and hierarchical structures could be a special specification in futuristic smart VANETs.

2.3. VANET routing protocol for V2V implementation: A suitable solution for developing countries

2.3.1. This study has studied (AODV, DSR, GRP, and OLSR) protocols in general VANETs, V2V + RSUs [8], and studied its performance, then has chosen the best protocol performance and finally applied the chosen protocol on V2V networks without RSUs. That was the proposed solution to solve the developing countries problems. Developing countries which have a bad infrastructure, bad technologies, developing networks, in addition, to spread thieving the RSUs from the highway sides, thus V2V is substantially desired.

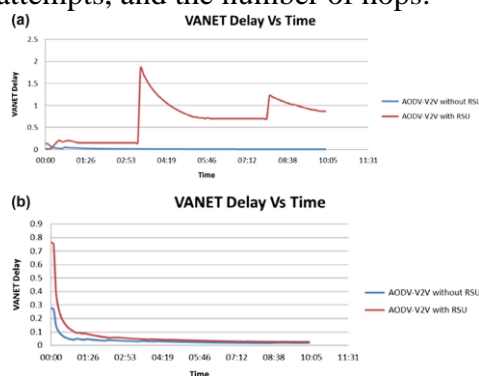
2.3.2 Simulation results:



SRC: A. Yasser, M. Zorkany, and N. A. Kader. "VANET routing protocol for V2V implementation A suitable solution for developing countries" [3].

Fig. 4 Delay versus Time for the four VANET protocols (AODV, DSR, GBP, and OLSR)"on the left". Throughput versus Time "on the right".

It is clear at first, that AODV delay is so high in both scenarios, thus AODV needs time to assist its initial links, which AODV depends on after that, to reduce the delay and to contact faster [9], [10]. While GRP (Greedy Routing Protocol) delay is slight, but in comparison between the two scenarios, it is noticeable that in the second one, delay is smaller than the first one, this result is due to have more nodes, because the GRP behaves greedily, by forwarding the packets to the closest neighbors till delivering the packet to the destination node, therefore more nodes means less waiting before forwarding which leads to smaller delay. However, the next node election depends in many algorithms in GRP, so the selection of the closest neighbor is slightly complex in GRP and one of its disadvantages [3]. Delay in DSR is highly significant in the second scenario, because the major DSR overload in density networks with high number of nodes [11], and because of extracting information in all intermediate nodes because of the source routing to reach destination node, that's also is an obvious reason of the extra nodes delay. Throughput results show that OLSR (Optimized Link State Routing Protocol) is the protocol of the best performance. OLSR has the major amount of data to change between nodes, and when the throughput is the ratio of successfully delivered packets by time unite, that means more delivered data during the time unit. OLSR is an efficient Proactive protocol with a low delay and a high sharing data level, which produce a significant throughput. In comparison between AODV and GRP, the performance improvement is clear in the second scenario, because of its algorithm which has a better performance in case of higher density networks. DSR has the lowest throughput because of the dropped packets and large overload, especially in dense networks. From the former results, AODV and OLSR have the best performances, due to their slight delay, good throughput, the best Retransmission Attempts and the least Dropped Data. Those parameters have a heavy significance in real life on the streets and between nodes. Essentially the study is to improve V2V networks in the developing countries, so choosing a Reactive protocol is a good solution, because Proactive protocols need an infrastructure to reach its best performance, and could also request more resources which are low qualified in the developing countries. AODV has been chosen to compare the two scenarios 20 and 40 vehicles in two cases of RSUs presence and without them, to measure the delay time, throughput, retransmission attempts, and the number of hops.



SRC: A.Yasser, M. Zorkany, and N. A. kader. "VANET routing protocol for V2V implementation A suitable solution for developing countries" [3].

Fig. 5 *AODV delay with RSUs versus without RSUs*

Fig. 5(a) compares AODV delay with RSUs and without them in case of 20 vehicles, the result shows a significant difference, and a delay is much less in case of RSUs lack. Fig. 5 (b) compares AODV delay with RSUs and without them in case of 40 vehicles. The result does not show a big difference in this case, as the previous case of 20 vehicles. However, the scenario without RSUs is still better and has less delay. Depending on these results of the delay, AODV is a good protocol in non-infrastructure areas.

2.3.3. The conclusions of the study:

- Dependence on AODV is desirable in dense networks (e.g. urban areas) due to its dynamism, high performance and small delay.
- Avoiding DSR in crowded networks is also desirable because of its major overload, high delay, and big amount of propped data.
- AODV is recommended in V2V networks without infrastructure in condition of high density, furthermore, more mobility achieves better results.
- In case of RSUs presence, OLSR is highly recommended, due to its Proactive algorithm and its scarce delay.

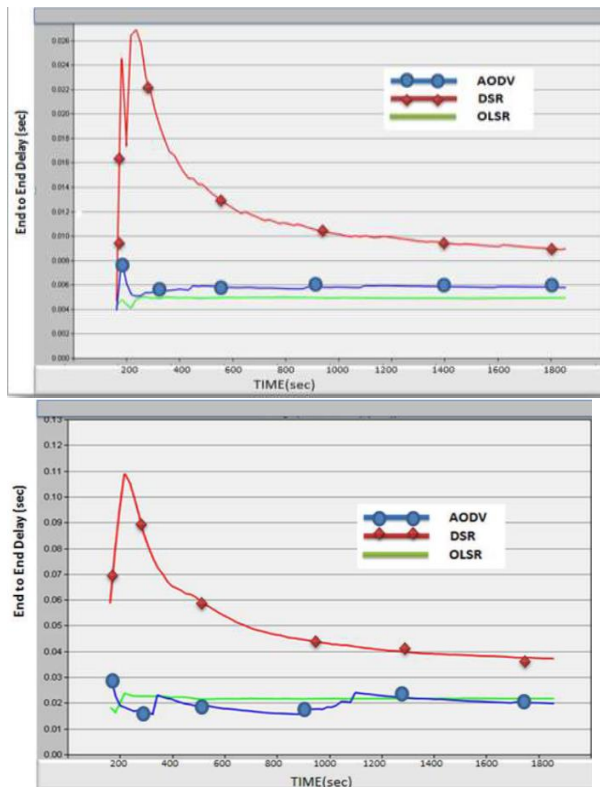
2-4 Performance Comparison among Reactive and Proactive Routing Protocols in Vehicular Networks with Low Vehicular

2.4.1. The final included study in our systematic study, considers a specific moving on specific roads with specific directions, for the small number of vehicles in wide simulation field, and compare the AODV, OLSR and DSR parameters of End to End delay and the packet delivery ratio.

2.4.2. Simulation results

While in the second scenario there are 10 vehicles with the same simulation specifications. The network of 10 Vehicles within same space is also considered as small density network, but the goal is to determine the change in the performance of the three protocols which were named previously when the number of the vehicles increased.

The results were as follows:



B. Hasan. "Performance Comparison Among Reactive And Proactive Routing Protocols in Vehicular Networks with low Vehicular Density". [12].

Fig. 6 End to End delay for 4 vehicles "on the left". End to End delay for 10 vehicles "on the right".

Fig. 6 "on the left" compares (AODV, OLSR, and DSR) End to End delay for 4 vehicles. DSR was the slowest with the maximum delay, while AODV and OLSR have corresponding curves, but the OLSR is slightly faster by 17% than AODV. Fig. 6 "on the right" compares End to End delay in case of 10 vehicles, AODV and OLSR still the fastest, and have the least delay. However, the AODV became faster in comparing with OLSR, when the number of vehicles increased. AODV is an efficient dynamic protocol, especially in the dense V2V networks, thus by increasing the number of the vehicles, AODV is eligible.

2.4.3. The results of the study:

- By studying Packet delivery ratio (PDR) parameter, it is noticeable that, there is no significant difference between the curves, the difference goes up more 2.5% as maximum different between AODV and OLSR, and no more than 15% between AODV and OLSR.
- The difference appears clearly, between the studied protocols, when the End to End delay was studied, and the difference reaches till 69%.
- AODV is an effective protocol for V2V networks, in the condition of high density and mobility are available in the network.
- OLSR has an effective performance generally, due to its Proactive algorithm. However, it has the best result in the lower density networks.

3. Conclusions of the Systemic study

Assist VANET technologies with other technologies, to overtake the VANETs communication problems. Consider the switching technology between technologies, ex. Proactive technology could reduce discover and handover periods, due to its prepared and continually updated information tables. On the other hand Reactive algorithm has a worse performance than normal VANET protocols, which could lead to more dangerous VANET problems, instead of solving them.

Consider all the situations and conditions of dynamism, mobility, and density of the networks, to surround all VANETs telecommunication problems. In addition to doing more tests for all VANETs protocol types (Based on topology, based on position, based on clusters, Geocasting routing, and Broadcasting routing). The studies must vary between uninhabited wide areas or inhabited places in war and disasters situations, where could benefit partially from the infrastructure.

Depending on AODV protocol to connect mobile, dynamic, and dense vehicles, because of its high performance in such networks as the results have shown. On the other hand, depending on OLSR is recommended to link the lower dense and smaller networks to have a better performance. As it is the best to manage handover between the different technologies or the different servers.

Thinking about hybrid technologies to switch between many protocols depending on the traffic density, ex. The traffic density by day is too high and differs from night traffic density which is too low. In such situation, thinking of prospective multi-protocols technology could manage the network connections to improve the linking inter the VANET network itself, and smarten simultaneously linking to the other networks.

Classifying some nodes in the network could achieve a better performance and lower cost. Classifying ex, Broadcaster vehicle, GSM connector vehicle, Satellite Connector vehicle..., but to classify the nodes must use, cluster-based protocols, to manage the nodes rules, and organize its cooperation to achieve the network target.

References

- [1] E. Abd-Elrahman, A. M. Said, T. Toukabri, H. Afifi and M. Marot, "A Hybrid Model to Extend Vehicular Intercommunication V2V through D2D Architecture", International Conference on Computing, Networking and Communications, Mobile Computing & Vehicle Communications Symposium, 2015.
- [2] M.M.M.Nasr, A.M.S. Abdelgader, Z.-G.Wang, and L.-F.Shen. "VANET Clustering Based Routing Protocol Suitable for Deserts". Sensor. Mag. April 2016. 2, 4-16.
- [3] A. Yasser, M. Zorkany, and N. A. kader. "VANET routing protocol for V2V implementation A suitable solution for developing countries" Conget. Jo. August 2017. 3, 12-24.
- [4] G. Fodor, E. Dahlman, G. Mildh, S. Parkvall, N. Reider, G. Miklos, and Z. Turanyi, "Design Aspects of Network Assisted Device-to-Device Communications," Communications Magazine, IEEE, vol. 50, pp. 170- 177, March 2012.
- [5] L. Lei, Z. Zhong, C. Lin, and X. Shen, "Operator Controlled Device-to- Device Communications in LTE-Advanced Networks," IEEE Wireless Communications, vol. 19, pp. 96–104, June 2012.
- [6] Li, Y.; Zhao, M.; Wang, W. Intermittently connected vehicle-to-vehicle networks: Detection and analysis. In Proceedings of the IEEE Global Telecommunication Conference (GLOBECOM 2011), Houston, TX, USA, 5–9 December 2011; pp. 5–9.

[7] Wolny, G. Modified DMAC clustering algorithm for VANETs. In Proceedings of the 3rd International Conference on Systems and Networks Communications, ICSNC'08, Sliema, Malta, 26–31 October 2008; pp. 268-273.

[8] Balapgol, S., & Deshmukh, P. K. (2015, July). Broadcast protocol for V2V and V2RSU in VANET. International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering, 4(7).

[9] SHARMA, Y. and MUKHERJEE, S. Routing Protocol in VANET. International Journal of Computer Applications. Vol. 50, No.21, July 2012.

[10] RANJAN, P. and AHIRWAR, K. Comparative Study of VANET and MANET Routing Protocols. Proc. of the International Conference on Advanced Computing and Communication Technologies .2011.

[11] BHAGCHANDANI, K. and SHARMA, Y. Exploration of VANET Mobility Models with New Cluster Based Routing Protocol. International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE). Vol.2, No.6, January 2013, 2231-2307.

[12] B. Hasan. "Performance Comparison Among Reactive And Proactive Routing Protocols in Vehicular Networks with low Vehicular Density". Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies- Engineering Sciences Series Vol. (37) No. (5) 2015.

Forenzní inženýrství zacílené na rizika

Dana Procházkováⁱ, Jan Procházkaⁱⁱ

Abstrakt: Práce je věnována řízení rizik technických děl a území, jehož cílem je bezpečnost technických děl, území a lidské společnosti. Vychází z výsledků, které byly získány kritickým hodnocením současného poznání a zkušeností. Pro zajištění bezpečnosti technických děl i území vyspělé státy cíleně používají třístupňové řízení (řízení zacílené na rozvoj, řízení nouzové a řízení krizové), jehož stupně mají stejný cíl, avšak s ohledem na podmínky, za kterých jsou aplikovány, využívají různé nástroje, zdroje, síly a prostředky. Práce shrnuje poznatky o základních pojmech forenzního inženýrství zacíleného na rizika; poznatky o zdrojích a typech rizik; a způsoby práce s riziky. Zabývá se nástroji pro zvládnutí rizik a jejich validitou. V závěru uvádí výsledky specifického výzkumu, které ukazují, co je třeba při práci s riziky respektovat, aby technická díla byla bezpečná.

Klíčová slova: riziko, bezpečnost, bezpečí, inženýrství zacílené na rizika, řízení rizik, vypořádání rizik

Abstract: The paper is engaged in risk management of both, the technical facilities and the territory, the aim of which is the safety of technical facilities, territory and human society. It goes from the results that were obtained by critical judgement of present cognition and experiences. For ensuring the safety of both, the technical facilities and the territory, the advanced states use three degreed managements (management aimed to development, emergency management, and crisis management), the degrees of which have the same goal; however, with regard to conditions under which they are applied, they use different tools, sources, forces and means. The paper summarizes: knowledge on basic terms of risk engineering discipline; knowledge on sources and types of risks; and ways of work with risks. It deals with tools for risk control and their validity. At the end it gives the results of specific research that show, what it is necessary to adhere so technical facilities might be safe.

Keywords: risk, safety, security, risk engineering, risk management, trade-off with risks

1. Úvod do problematiky rizik a bezpečnosti

Je skutečností, že všechna lidská společenství i všechna lidská sídla jsou čas od času postihována škodlivými jevy (pohromami). Rizika s nimi spojená jsou proměnná v čase i prostoru a závisí jak na proměnnosti pohrom, ke které dochází v důsledku dynamického vývoje světa, tak na zranitelnosti lidí a veřejných aktiv, která lidé potřebují k životu, a v neposlední řadě také na možnostech lidí při budování ochranných systémů. Proto vznikla disciplína inženýrství sledující rizika (risk engineering), jejímž cílem je řídit rizika tak, aby lidská sídla na všech úrovních byla bezpečnými systémy [1-4]. V důsledku dynamického vývoje světa jde pochopitelně o dynamickou disciplínu, která zohledňuje jak fakt, že pohrom je velké množství a v důsledku rozmanitosti jejich podstaty jejich dopady nejsou stejné, tak fakt, že území a lidská společenství, která je obývají, se odlišují vlastnostmi a proměnnými možnostmi, což se

ⁱ doc. RNDr. Danuše Procházková, DrSc., ČVUT FD, Ústav bezpečnostních technologií a inženýrství, Horská 3, 128 03 Praha 2, prochdan@fd.cvut.cz

ⁱⁱ RNDr. Jan Procházka, Ph.D., ČVUT FD, Ústav bezpečnostních technologií a inženýrství, Horská 3, 128 03 Praha 2, prochj31@fd.cvut.cz

projevuje různou zranitelností aktiv a různými možnostmi lidí v čase a prostoru. Proto veličina riziko je místně a časově specifická, a při řízení a ovládání rizika je třeba předmětnou skutečnost zvažovat.

V současné době se v souvislosti se zajištěním bezpečí a dalšího rozvoje pro lidskou společnost [5] stále častěji diskutuje problematika kritických aktiv, kterými jsou kromě lidí a přírodních zdrojů i kritické objekty a kritické infrastruktury, které představují složité kyber-socio-technologické systémy [6]. Technická díla jsou výsledkem lidského intelektu a jejich aplikace v praxi umožňuje lidem rozvoj a přežití nástrah přírody. Využití v praxi je spojeno s jejich rozšířením v území, což se mnohdy děje pomocí infrastruktur. Předmětem práce je jak území, tak technická díla, která jsou přínosná pro lidstvo, tj. nejsou řešena díla, kterými dochází ke zneužití technologií.

Technická díla objektová i síťová byly, jsou a budou veřejným aktivem, protože zajišťují dennodenní potřeby občanů, tj. energii, vodu, jídlo, informace apod. a závisí na nich přežití lidí při kritických situacích. Představují otevřené systémy vzájemně propojených systémů, které popisujeme modelem systém systémů - zkratka SoS [7]. Jsou v dynamicky proměnném světě, který je ovlivňován jak procesy, které probíhají nezávisle na člověku, tak procesy, které člověk vytváří vědomě či nevědomě svou činností a chováním.

Práce vychází z výsledků, které byly získány kritickým hodnocením současného poznání a zkušeností. Pro zvládnutí bezpečnosti technických děl si vyspělé státy cíleně vytvořily třístupňové řízení (řízení zacílené na rozvoj, nouzové a krizové), jehož stupně mají stejný cíl, avšak s ohledem na podmínky, za kterých jsou aplikovány, využívají různé nástroje, zdroje, síly a prostředky [8].

Protože připuštění existence rizik a zavedení práce s riziky s cílem zajistit bezpečí a rozvoj člověka do praxe znamená nový pohled na problémy reality a na způsob jejich řešení, je třeba postupovat způsobem, který do vědecké praxe zavedl francouzský vědec Descartes, což znamená dle konceptu založeného na práci s riziky, že se problémy reality musí nově strukturovat a dílčí problémy spolehlivě řešit (dnes jde o realitu, kterou představují vzájemně propojené systémy různé podstaty). Práce tudíž respektuje koncept OSN „Resilient Nation“ [9], tj. koncept, který je založen na předpokladu, že výskyt pohrom, zranitelnost lidí a dalších veřejných aktiv a velikost dopadů pohrom na aktiva lidského systému se nebude v čase snižovat, ale spíše zvyšovat, a proto pro zajištění bezpečí a rozvoje lidí je důležitá funkcionalita vysoce spolehlivé veřejné správy, bezpečná technická díla a bezpečné infrastruktury. Jelikož legislativy vyspělých zemí vymezují pojem kritická infrastruktura a do něho zahrnují jen některé infrastruktury, např. [10], je třeba uvést, že životně důležité pro lidi jsou i zelené infrastruktury, infrastruktura výchovy a vzdělávání lidí a také infrastruktura výzkumu.

Práce se opírá o současné poznání. Navazuje na dřívější publikace autorky, jejichž seznam je v práci [11], které byly zpracovány na základě kritického vyhodnocení poznatků v dostupných stovkách odborných prací a zkušeností autorky z praxe. Předmětné poznatky jsou dále doplněny znalostmi získanými z řešení výzkumných projektů. Jde především o práce, které jsou cíleně shromažďované evropskou agenturou ESRA (European Safety and Reliability Association), prezentované na světových konferencích ESREL od r. 1990 a následně publikované ve formě tištěných a elektronických knih, jejichž seznam je v práci [11], a také na specifických odborných konferencích, z nichž některé byly pořádány nebo spolupořádány VUT i ČVUT a jejich výsledky jsou v recenzovaných sbornících.

2. Souhrn použitých znalostí a zkušeností

Odborné práce i nákladné projekty EU z posledních let jako např. CASCADE, CIPRnet, EDEN [12] ukazují, že:

- pro zajištění bezpečného otevřeného systému, tj. i celku skládajícího se z území s technickými díly a příslušného lidského společenství, je nutné dané území a jeho obyvatele řádně poznat tím, že se analyzují a vyhodnotí historické pohromy v souvislostech, přičemž se zvažují jak zranitelnosti aktiv, tak lidské schopnosti a možnosti v dané době,
- každá země EU si musí vytvořit systém ochrany aktiv, včetně technických děl takový, který navazuje na její historicky zavedené systémy ochrany, protože z pochopitelných důvodů není možné navrhnout a zavést jeden univerzální systém ochrany technických děl pro všechny země EU (každá unifikace vyžaduje čas, finance, nástroje pro změny a přizpůsobení lidí, a nemusí být přijatelná z hlediska národních tradic a kultur).

Vzhledem k uvedeným skutečnostem je třeba, aby každá země budovala systém řízení bezpečností, který zajišťuje jak ochranu lidí a životního prostředí, tak ochranu technických děl, základních infrastruktur a dodavatelských řetězců. Daný cíl lze efektivně dosáhnout jen kvalifikovaným přístupem a kvalitním řízením aktivit, zdrojů, sil a prostředků, což zajistí pouze dobré vzdělání.

Syntéza současného poznání zvažující dynamický vývoj světa [6] ukazuje, že neexistují uzavřené neměnné technologické ani jiné systémy v neměnném okolí. Při úvahách o bezpečnosti je třeba zvažovat nejen proměny prostředí a materiálů v čase, ale i skutečnost, že všechny technické, sociální i organizační systémy se mění v čase výskytem pohrom majících velikosti větší než projektové [4]. Při výskytu nadprojektových pohrom vznikají kritické podmínky, na které nejsou technická díla konstruována a dochází k závažným selháním funkcí technických děl, která působí závažné ztráty lidem, ekonomice, životnímu prostředí i technickým dílům samotným.

Provedené analýzy dopadů pohrom, a to hlavně havárií a selhání [4] ukazují, že pro bezpečí a rozvoj lidí, je třeba s kritickými podmínkami počítat. Z důvodu omezených možností lidí, lidé jsou schopni technologické objekty vybudovat jako bezpečné systémy jen pro jistý interval podmínek, a pro případ jiných podmínek pak musí vytvářet nástroje, kterými sníží ztráty, újmy a škody na všech veřejných aktivech (tj. i na technických dílech a infrastrukturách, které poskytují výrobky nebo služby, a to ať jsou veřejné nebo soukromé).

Základní pojmy a jejich souvislosti jsou shrnuty v pracích [7,8]. **Riziko** (angl. Risk) spojené s danou pohromou, činností či procesem je pravděpodobná velikost škod, ztrát a újmy na chráněných aktivech, které v daném místě vzniknou při výskytu pohromy mající velikost normativně stanoveného ohrožení, která je normovaná na stanovenou jednotku území či jednotku počtu jedinců a jednotku času [7]. Rozdíl mezi nebezpečím a rizikem spočívá v tom, že nebezpečí je určité (označuje aktuální stav) a riziko je jen očekávaná možnost. **Bezpečnost** představuje soubor antropogenních opatření a činností, kterými lidé brání sebe nebo aktiva, na kterých jim záleží proti škodlivým jevům všeho druhu. Bezpečnost a riziko jsou v určitém vztahu, ale nejsou komplementárními veličinami, např. aplikací varovacích systémů zvýšíme bezpečnost, ale riziko nesnížíme. Antonymem bezpečnosti je kritičnost.

Zdroje rizik jsou popsány v pracích [7,8,13,14]. Faktem je, že se stále objevují nové zdroje pohrom (jde hlavně o projevy možných propojení mezi systémy v reálném světě), a tím roste počet pohrom. Některé z pohrom mohou lidé zvládnout pomocí preventivních opatření, pro

jiné je třeba mít připravena opatření odezvy, zmírňující opatření a standardní zdroje s tím, že pro velké pohromy je třeba mít připraveny nadstandardní zdroje, síly a prostředky [7,8].

Na základě současného poznání je třeba věnovat specifickou pozornost rizikům, spojeným s chováním člověka, a to především při řízení a rozhodování [8]. Tzv. organizační havárie jsou dle současného poznání způsobeny jednou nebo několika dále uvedených příčin: řídicí pracovník přecenění vlastní rozhodnutí; neznalost a nezkušenost řídicího pracovníka; neschopnost řídicího pracovníka zajistit včasné a správné předání zásadních informací; malé oprávnění řídicího pracovníka při řešení problémů; řídicí pracovník podcenění závažnost situace; řídicí pracovník při rozhodování nerespektuje zákonitosti přírodní, technické, ekonomické či sociální. Proto je důležité neustálé vytváření kultury bezpečnosti [4,6,11].

Přijatelná úroveň rizika je subjektivní. U známých a častých pohrom je lidmi vnímaná úroveň rizika blízká skutečné míře rizika. U málo častých a málo známých pohrom je lidmi vnímaná úroveň rizika jako neskutečná a vzdálená. Vnímání rizika ovlivňují i jiné faktory – např. u činností, které děláme dobrovolně (horolezectví, skoky na lyžích apod.), předpokládáme, že úroveň rizika je zanedbatelná. Přijatelnost rizika ve skutečnosti je výsledkem porovnávání několika typů přijatelnosti – technická přijatelnost (spolehlivost a složitost technologií, strojů a zařízení), ekonomická přijatelnost (náklady) a socio-politická přijatelnost (vnímání rizik).

Obecně lze tvrdit, že přijatelné riziko se stanovuje na sociálním a znalostním základě a přitom se zvažují sociální, ekonomické a politické faktory. To mimo jiné znamená, že úroveň přijatelného rizika pro bohaté země či entity je vyšší než pro chudé, protože redukce rizika něco stojí. Proto také platí, že přijatelná úroveň neznámá bezpečnou úroveň rizika, tj. že pravděpodobnost vzniku ztrát, škod a újm na chráněných aktivech je malá až zanedbatelná.

Riziko je místně specifické a určuje se z velikostí místních ohrožení, která vytváří možné pohromy v daném místě s ohledem na míry zranitelnosti místa vůči konkrétním možným pohromám. Metodické aspekty jsou shrnuty v pracích [6-8,11,15,16].

Na základě současných znalostí jsou rizika pro potřeby řízení bezpečnosti území, objektu či lidské komunity [7,11] stanovena správně a mají zřejmou vypovídací hodnotu, jestliže jsou stanovena: s ohledem na všechna definovaná chráněná aktiva (zájmy); definovaným postupem; na základě kvalifikovaného datového souboru se stanovenou vypovídací hodnotou a hranicí homogenity; a na základě kvalifikovaného zpracování kvalifikovaného souboru dat pro dané zadání.

Rizika se liší podle toho:

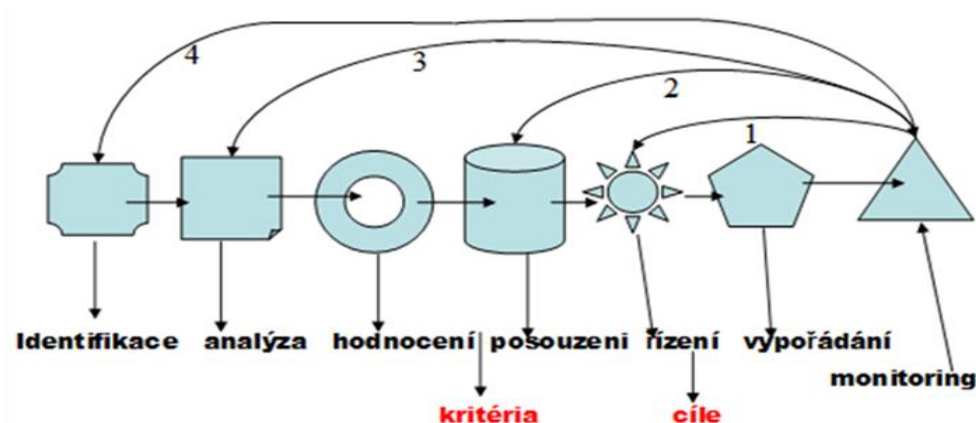
- jaká jsou zvolena chráněná aktiva, zda je sledován jeden chráněný zájem (a pak jde o dílčí riziko), anebo soubor chráněných zájmů (a pak jde o integrované nebo integrální / komplexní riziko),
- jaké pohromy, tj. zdroje rizik se berou v úvahu. Pro některé úlohy postačuje omezený počet pohrom, např. jen těch, které mohou mít nepřijatelné dopady ve sledovaném prostoru třeba dvakrát za sto let apod.

Dílčí rizika jsou rozmanitá, např. zdravotní rizika, technologická rizika, riziko požáru atd. Pro výpočet dílčích rizik již existuje řada právních předpisů, norem a standardů a s nimi souvisejících podpůrných software. Např. dílčí rizika, která se musí zohlednit, při žádosti o projekty EU, anebo pro zajištění úspěšnosti projektů PPP (Public Private Partnership), se dělí do sedmi skupin [7,11]: bezpečnostní rizika spojená s chováním a činnostmi lidí; stavebně-

technologická a projekční rizika; kreditní rizika; tržní rizika; vnější rizika spojená s přírodními pohromami; provozní rizika; a rizika spojená s řízením a rozhodováním.

Každá základní skupina dílčích rizik se dále dělí na další dílčí rizika [7,8]. Výběr z těchto rizik pro konkrétní případ se provádí podle formulace problému a podle stanovených cílů, které jsou v daném případě sledovány, a podle pohrom, které se zvažují jako zdroje rizik.

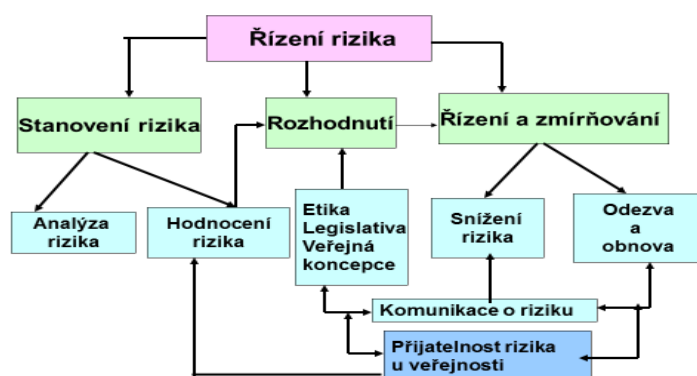
Koncept práce s riziky, tj. procesní model je zobrazen na obrázku 1; další modely jsou uvedeny v práci [7].



Obr. 1 Procesní model práce s riziky. Kritéria = podmínky, které stanovují, kdy je riziko přijatelné, podmíněně přijatelné nebo nepřijatelné. Cile označují žádoucí stavy. Čísla 1,2,3,4 označují zpětné vazby, které se používají, když monitoring ukáže, že nejsou splněny stanovené požadavky na bezpečnost.

V rozhodování o rizicích se řeší dále uvedená dilemata: vztah mezi riziky a přínosy (často větší přínos pro lidi znamená zvýšené škody a ztráty pro ekosystémy); časový konflikt mezi současnými a budoucími potřebami lidí; a sociální konflikt (vztah potřeb jedince a celku). Je obtížné řešit inverzní problémy pro složitost systémů. Zkušenosti ukazují, že když se stanoví a utřídí nějaké příznaky spojené s riziky, vynoří se příznaky nové. Z toho vyplývá, že praktický přístup k řízení udržitelnosti musí být iterační, interaktivní a adaptivní [7,8]. To znamená, že žádná opatření řízení a vypořádání rizik nejsou trvalá, ale jen dočasná, a proto lidé, a zvláště vytvářené řídicí systémy lidské společnosti, musí podmínky monitorovat a antropogenní opatření činnosti a opatření přizpůsobovat situaci.

Jak již bylo řečeno, rizik však existuje velké množství, protože jejich zdrojů je velké množství. Navíc rizika stále přibývají a lidská společnost nemá zdroje, síly a prostředky, aby tomu zabránila, tak musí cíleně řídit rizika. Aby řízení bylo úspěšné, tak se musí zaměřit na prioritní rizika a jejich aspekty, jak požaduje typ řízení TQM (Total Quality Management), který je základem norem v Evropě [17]. Řízení rizik entit není záležitosti, ani jednotlivce, ani jednoho sektoru, jak ukazuje obrázek 2. Název podkapitoly (12b., tučně, Times New Roman)



Obr. 2 Základní rámec pro řízení rizik.

Základním rozdílem mezi řízením rizik (obrázek 2) a řízením bezpečnosti (tj. řízením rizik zacíleným na bezpečnost) [7] je v tom, že v druhém případě se rozhodování provádí na základě míry bezpečnosti, která se stanovuje podle integrovaného rizika, které zvažuje všechny specifické pohromy (tj. pohromy, které mohou způsobit ztráty, škody a újmy na sledovaných aktivech) a bere se v úvahu princip předběžné opatrnosti.

Přijatelné riziko pro technické dílo i jeho okolí lze dosáhnout snížením ohrožení od konkrétních pohrom, což však jde jen u pohrom, které souvisí s činností člověka, a především snížením zranitelnosti technického díla, která je předmětem hodnocení rizika.

3. Nástroje pro práci s riziky technických děl

Výzkum zacílený na zajištění bezpečných technických děl a jejich bezpečného okolí [4,6,11] vyšel z poznání chování složitých technických děl za různých podmínek na základě sběru a zpracování konkrétních dat s použitím kritického myšlení a metod inženýrství zacíleného na práci s riziky. Jeho výsledky jsou reálné nástroje a postupy, kterými lze buď zabránit realizaci nepřijatelných rizik, anebo zmírnit jejich dopady na veřejná aktiva, tj. i na technická díla.

Na základě současných znalostí přímé škody, ztráty a újmy na aktivech umíme určit, když vybereme správný scénář pohromy. Neumíme správně určovat škody, ztráty a újmy spojené s vazbami a toky ve složitých systémech [4]. Proto v případě potřeby zajistit bezpečnost závažných objektů stanovíme expertním způsobem řadu relevantních scénářů prioritních pohrom; způsob je popsán v práci [4].

Úkolem řízení rizika je najít optimální způsob, jak vyhodnocená rizika snížit na požadovanou společensky přijatelnou úroveň, případně je na této úrovni udržet. Proto je třeba se dohodnout na tom, jaké požadavky bude výstup z hodnocení rizika splňovat a při vypořádávání rizik je nutné se snažit tyto požadavky dodržovat a případné nedodržení odůvodnit. Na základě poznání moderní způsob práce s riziky požaduje: riziko stanovovat během celého cyklu životnosti objektu (umísťování, projektování, výstavba, provoz; stanovení rizika zaměřovat na požadavky uživatelů a úroveň poskytovaných služeb; stanovovat rizika podle kritičnosti dopadů na procesy, poskytované služby a na aktiva, která stanovuje veřejný zájem; a nepřijatelná rizika zmírňovat prostřednictvím nástrojů řízení rizik, tj. pomocí technických a organizačních návrhů, standardizací operačních postupů nebo automatizovanou kontrolou.

Postup v případě, že riziko není přijatelné dle údajů shromážděných v práci [7] spočívá v: vyhnutí se riziku (tj. nezahájit nebo nepokračovat v činnostech, které jsou zdrojem rizika), když

to jde – u přírodních pohrom to nejde; odstranění zdrojů rizik, tj. zabránění vzniku pohrom, když to jde – u přírodních pohrom to nejde; snížení pravděpodobnosti výskytu rizika, tj. výskytu větších pohrom (např. snížením množství nebezpečných chemických látek v podnicích), když to jde – u přírodních pohrom to nejde; snížení závažnosti dopadů rizika, tj. příprava zmírňujících opatření jako jsou varovací systémy, systémy odezvy a obnovy; sdílení rizika, tj. rozdělení rizika mezi zúčastněné a pojišťovny; či retence rizika.

Aby se zabránilo iniciaci velkých rizik, která při realizaci působí velké ztráty a škody lidem a dalším veřejným i privátním aktivům, tak základním cílem řízení technologických celků není dosáhnout velkého množství výrobků, ale i prevence ztrát na svých i veřejných aktivech, a proto se hledá konsensus mezi řízením rizik a řízením aktiv objektu. Jde o nalezení způsobu, kterým se nevyvolají rizika, která způsobí ztráty a škody na veřejných i privátních aktivech, které budou de facto vyšší než užitky ze zvýšené výroby.

Protože při orientaci na prevenci ztrát dle [18] nejde jen o snížení pravděpodobnosti výskytu selhání, technologického systému, ale také o zlepšení podmínek provozních aktiv, tak SMS (systém řízení bezpečnosti) technologických objektů musí být flexibilní a musí být zacílen na interoperabilitu veřejných a privátních aktiv.

Heterogenita a těsná propojení systémů v technologických objektech a infrastrukturách jsou příčinou obtížného popisu a emergentního chování předmětných systémů [4,6]. Výzkum ukázal, že klasické analytické metody nemají schopnost poskytnout dostatečný pohled kvůli složitosti systémů. K tomu je třeba hluboké porozumění a holistický přístup [6,11].

Základní systém pro řízení rizika stanovuje norma ČSN ISO 31000 [19]. Předmětná norma je mezinárodní a stanovuje řadu principů, které je třeba naplnit, aby bylo řízení rizik efektivní. Doporučuje, aby organizace rozvíjely, implementovaly a kontinuálně zlepšovaly rámec, jehož účelem je integrovat proces pro řízení rizik do svého celkového vedení, strategie a plánování, managementu, procesů podávání hlášení, politik, hodnot a kultury. Norma se opírá o projektové a procesní řízení v entitě. Detailní analýza normy je v práci [11].

Další používané normy spojené s rizikem v technické praxi jsou: ČSN IEC 300-3-9; ČSN OHSAS 18001; ČSN EN ISO 12100; ČSN EN ISO 12 100-1; ČSN EN ISO 14121-1; ČSN EN 1050:2001; ČSN EN ISO 12100-1; ČSN EN ISO 12100-2; ČSN EN ISO 9000 atd. Normy a standardy ukládají požadavky, které jsou oprávněné. Nestanovují však často způsob, jak požadavky splnit, tj. jaká data a jaké metody použít a platí jen pro jisté podmínky. Proto při aplikaci norem a standardů si musíme uvědomit, co standardy pokrývají. V daném směru jsou obvykle založené na zásadách teorie pravděpodobnosti. Proto si musíme uvědomovat, že v žádném případě nepokrývají všechny možné varianty. Při použití normálního rozdělení platí, že interval (medián- σ , medián + σ) pokrývá 68.5 % případů; interval (medián -2 σ , medián +2 σ) pokrývá 95.4 % případů; interval (medián -3 σ , medián+3 σ) pokrývá 99.8 % případů. To znamená, že neplatí pro celý rozsah možných podmínek. Proto u důležitých technických děl je nutno provádět všechna hodnocení spojená s riziky a bezpečností jako místně specifická, tj. vycházet z logických základů metod a systémového pojetí entity; aplikace různých kódů a software, které nejsou místně specifické, mohou za kritických podmínek vést k selhání technických děl [6,20].

V praxi při práci s riziky spojenými s technickými díly se dosud stále používají jen tradiční metody, jako jsou Kontrolní seznam, HAZOP, FMEA, FMECA, QRA apod. [7,11,16], protože pro ně existuje řada software. Předmětné metody však nerespektují systémový charakter technického díla při dopadech vnějších pohrom, úmyslných vnějších aktů (např. korupce na

správních úřadech s cílem oslabit konkurenceschopnost technického díla), teroristických činů apod., což potvrzují šetření US EPA [21]. To znamená, že platí, že předmětné metody lze použít s ohledem na bezpečnost technických děl jen při řešení některých úloh, ve kterých nejde o integritu bezpečnosti technického díla; všeobecně použitelné metody jsou správně aplikované metody What, If [7,11] a místně specifické kontrolní seznamy, které jsou sestavené experty.

4. Nástroje pro zajištění koexistence technických děl a okolí

Na základě poznatků uvedených v pracích [4,6,11] by technická díla měla být konstruována a provozována podle následujících zásad: každé technické dílo je systém systémů, který se v čase mění; v důsledku změn v technickém díle a okolí může dojít ke konfliktu, který nebyl očekávaný; technické dílo i okolí jsou postihovány pohromami s tím, že velké pohromy se vyskytují zřídka a nepravidelně, a proto jejich možné velikosti nejsou odhalitelné metodami založenými na teorii pravděpodobnosti; a pohromami pro technické dílo se stávají i vazby a spřažení, a to jak ty, které jsou úmyslně vytvořené z důvodu cíle, který dílo plní, tak i ty, které vzniknou neplánovaně tím, že v důsledku pohromy dojde k neočekávaným propojením, která pak vyvolají selhání díla.

V důsledku náhodných i znalostních nejistot je pro každé lidské společenství z pohledu veřejného zájmu, konkurenceschopnosti technického díla a udržitelného rozvoje lidského systému důležité, zda: bezpečnost (tj. úroveň opatření a činností ve prospěch bezpečí lidí, tj. i technického díla) v čase roste či klesá; ve stanovených časových úsecích je dosahováno plánované úrovně bezpečnosti; a aplikovaná opatření vedou skutečně ke zvýšení bezpečnosti.

Protože jak technické dílo, tak jeho okolí jsou složité systémy, které se vyvíjí a tento vývoj nemusí být nutně synergický, aplikace přesných matematických metod založených na teoriích, které počítají jen s náhodnými změnami, není schopna určit parametry a jejich proměnnost, jež zajistí bezpečnost technického díla po celou dobu životnosti. Inženýrství rizika proto zavádí do praxe nástroje, kterými lze zvládnout podmínky, pro něž nebylo technické dílo konstruováno.

Při stanovení rizik je základní aktivitou určení ohrožení, které představuje pohroma / škodlivý jev pro technické dílo. V případě technických děl se často používají k danému cíli techniky HAZOP, FMECA, FTA, ROA (Recursive Operability Analysis, která je méně časově náročná než FTA). V uvedených případech jde o strukturované procedury – organizované přes výrobní proces. Při identifikaci rizik se vyhodnocení škod provádí deterministicky a odhad četnosti výskytu pravděpodobnostně. Právě jejich zaměření na sledování výrobního procesu nedovoluje postihnout selhání na více místech z jedné příčiny [11].

Jelikož většinu rizik nelze odstranit, tak při provozu technického díla leží tíha ochrany na způsobu řízení bezpečnosti technického díla. Zavádí se pokyny pro provoz při abnormálních situacích: zvážit proměnlivost procesu, tj. odchylky od normálního provozu; příčiny proměnlivosti procesu; důsledky způsobené selháními bezpečnostních funkcí; a ochrana prováděná pomocí: alarmů; zásahu obsluhy; automatickými systémy pro bezpečnost.

Dle [22] existuje více než 60 metodik pro analýzu rizik, které umožňují řízení aspektů bezpečnosti průmyslových objektů. Jsou však místně specifické, a proto vždy před jejich použitím je třeba ověřit, zda jsou pro daný případ vhodné. Analýzy havárií [4,6] ukazují, že při výskytu vnější pohromy nebo chyby lidského činitele může dojít k poškozením na několika místech objektu současně, což stromy událostí založené na výrobním procesu neodhalí. O problémech, které jsou spojené s aplikací stromových modelů, pojednává také práce [23], která

ukazuje, že velkým nedostatkem aplikace stromových modelů v bezpečnostních a spolehlivostních studiích technických děl je, že technická díla pokládáme za hierarchicky uspořádaná a neuvědomujeme si předpoklady, které používáme při vytváření struktury modelů (tj. to, co zanedbáváme). Další podrobnosti jsou v práci [11]. Práce [24] ukazuje, že míra získaného poznání na základě zpracování dat výsledek hodnocení významně závisí na kvalitě dat a zvolené metodě zpracování dat, což potvrzuje výsledky z naší praxe [25].

5. Závěry výzkumu pro praxi

Jelikož je skutečností, že mnoho zdrojů rizik nelze odstranit, tak pro bezpečí a rozvoj lidí je třeba, aby riziko bylo přijatelné, tak je třeba ho správně řídit. Pro zajištění bezpečí a rozvoj společenství lidí musí správy celků, na které je organizačně roztržiděn lidský systém (tj. správci technických děl i správci území, tj. obce, kraje, státy a společenství států) dobře pracovat s riziky. Pro práci s riziky v každé entitě je třeba vymezit: koncept entity a jejich částí v systémovém pojetí; základní / prioritní či kritická aktiva entit; pojmy důležité pro chápání a řízení bezpečnosti entit; zdroje rizik, jejich dopady na chráněná aktiva entity; metody pro identifikaci, analýzu, hodnocení a posuzování rizik; způsoby řízení rizik; způsoby inženýrského vypořádání rizik; a způsoby práce s riziky v čase.

Na základě výzkumu [11] normativ určující úroveň práce s riziky má sedm položek (obrázek 3), které ovlivňují výsledek práce s riziky technického díla, tj. jeho bezpečnost, a to:



Obr. 3 Položky, které ovlivňují výsledek práce s riziky technického díla.

Technické dílo i okolí na sebe neustále působí, přičemž konfliktní situace nastávají zejména ve čtyřech fázích: výběr typu technického díla a jeho umístění do území; výstavba technického díla; provoz technického díla; a vyřazení technického díla z provozu a umožnění dalšího využití území zabraného technickým dílem.

Nashromážděná fakta ukazují, že pro zajištění bezpečnosti složitých technických děl je nutno z důvodu složitosti pracovat s riziky specifickým způsobem. Nestačí aplikace norem a standardů, které mají omezenou platnost, je třeba poznat dopady stabilních i možných dočasných propojení mezi prvky, komponentami a systémy technického díla i při abnormálních a kritických podmínkách a podle toho sestavit systém řízení bezpečnosti a způsob jeho fungování v čase. Jelikož během času vznikají rizika nová, je třeba mít pravidelný monitoring rizik, jehož součástí budou i připravená nápravná opatření pro případ výskytu nepřijatelných rizik.

Analýza současné situace ukazuje, že umíme systematicky zvládnout řadu nežádoucích procesů, tj. poruch a selhání technických děl, které dokážeme předem odhalit. Někdy se však vyskytne vzájemné propletení řady zdánlivě nesouvisejících faktorů a v důsledku nelinearit v systému vznikají velmi atypické havárie (často označované jako *černé labutě*, *dračí králové* atd.). Proto nyní připouštíme, že složité objekty, jakými jsou technická díla, jsou z různých důvodů čas od času v nestabilním stavu a vznikají extrémní havárie, kaskády selhání bez zjevné příčiny, neobvyklé jevy apod., tj. připouštíme nejistoty náhodné i znalostní v jejich chování. Z důvodu zajištění jejich bezpečnosti a ochrany lidí: zavádíme specifická technická opatření (např. po havárii jaderné elektrárny Fukushima čtvrtý nezávislý zdroj energie a čtvrtý nezávislý zdroj chladiva pro případ odezvy na extrémní pohromu); a připravujeme řešení odezvy pro možné případy, kdy se realizují rizika z příčin, které nelze odhalit pravděpodobnostními přístupy, a budujeme pro ně náhradní zdroje vody a energie, specifické systémy odezvy a specifický výcvik inženýrů a záchranářů.

Výsledky výzkumu v EU, uvedené v práci [4], ukazují velmi mnoho nedostatků spojených s prací s riziky. Příčiny v oblasti vrcholového řízení států jsou způsobeny tím, že řízení: je předurčené politickými a vojenskými aspekty a postrádá lidský rozměr a dává malou podporu obyvatelům EU; není prováděno na základě kvalifikovaných dat zpracovaných kvalifikovanými metodami; je často určeno fixními ideami bez reálného ohodnocení jejich realizovatelnosti; je založeno na představě, že všechno je stacionární, tj. nerespektuje se dynamický vývoj světa, který vyžaduje přípravu na možné extrémní scénáře situací a opatření pro přežití lidí; a není realizované na základě principu systém řízení bezpečnosti systému systémů v dynamicky proměnném světě.

Ve všech úvahách si je třeba uvědomit známé pravdy, a to: riziko je mírou inherentní vlastnosti lidského systému (světa) i každého technického díla, tj. není možné se mu zcela vyhnout; zdroje rizik jsou uvnitř i vně technického díla a v procesech, které v technickém díle probíhají a mění se v čase; větší riziko znamená zároveň možnost většího zisku i ztrát, a proto riziko vyžaduje duální pohled – pokud chceme získat vyšší zisk nebo jiné přínosy, zvyšujeme i riziko nezdaru a ztrát, a proto úkolem managementu rizik je tyto dvě stránky vyvážit; čím přesněji definujeme předmět a cíle technického díla, tím je riziko nižší, protože nejvíce rizik vzniká z nejednoznačných definic předmětu a cílů technického díla; dříve identifikované riziko má vyšší šanci na úspěšné vyřešení a naopak, pozdější identifikací rizika nebo jeho ignorováním a následným řešením nečekaných problémů je technické dílo výrazně poškozováno; vše, co není řízeno, dopadá náhodně, většinou však hůře než při aktivním řízení (aktivní řízení rizik znamená trvalé sledování rizika, přípravu a provádění plánů ošetření rizik; zanedbání tohoto principu vede ke zbytečným ztrátám); a rizika je třeba řídit efektivně. Z pohledu hospodárnosti se zdroji, silami a prostředky nemá smysl se zabývat všemi riziky, ale jen těmi, kde vynaložené úsilí přinese výsledky, jež toto úsilí přesvědčivě převyšují.

Na základě zkušeností autorky, která se v roli recenzenta odborných prací a projektů setkala s výsledky specialistů z oblasti informačních technologií, kteří na křídovém papíře prezentovali barevné obrázky modelů zpestřené blikajícími efekty, jež odporovaly fyzikálním zákonitostem (např. zákonu o zemské přitažlivosti, zákonu útlumu energie se vzdáleností apod.) uvádíme pravidla publikovaná Golombem v r. 1970 [26]:

1. Nevěřte důsledkům 33. řádu u modelů 1. řádu.
2. Neextrapolujte výsledky modelu za hranice jeho platnosti.

3. Nepoužívejte žádný model, dokud neporozumíte zjednodušujícím předpokladům, na kterých je založen.
4. Nevěřte tomu, že model je realita.
5. Nepokoušejte se realitu přizpůsobit modelu.
6. Neomezujte se pouze na jediný model sledovaného jevu nebo procesu. Použití více modelů pro sledovaný jev umožňuje lépe porozumět jeho různým aspektům.
7. Nepoužívejte modely, o kterých se ví, že nejsou správné.
8. Nebuďte zamilovaní do svého modelu.
9. Neaplikujte terminologii oblasti A na problémy oblasti B. Neprospěje to žádné z nich.
10. Nečekejte, že pokud jste problém pojmenovali, tak jste ho také vyřešili.

Zejména je třeba se vyvarovat přístupu, který je možno shrnout do následujících bodů:

1. Pokud máte kladivo, hledáte hřebík.
2. Pokud máte dobré kladivo, vše vypadá jako hřebík.

Dynamické vlastnosti systémů jsou dány dynamickými charakteristikami, které mohou být algebraické nebo experimentální. Každý řídicí systém má pět vzájemně souvisejících struktur: rozhodovací; funkční; organizační; informační; a technické zabezpečení. A každá struktura řeší specifický okruh problémů, tj. jde též o systém systémů. Cílem praktických úloh je pochopitelně najít optimální řešení pro všechny uvedené systémy, jak ukazuje [6].

Poznatky pro kvalitní práci s riziky, zacílenou na bezpečné technické dílo a jeho bezpečné okolí, uvedené výše lze shrnout následovně: určit kritické procesy, kritická místa a kritická aktiva technického díla; zvážit všechny možné pohromy, které mohou ovlivnit technické dílo (All-Hazard-Approach) [14] a vypořádat se s nimi pomocí aplikace přístupu Defence-In-Depth [27] a přitom zachovat hospodárnost se zdroji, silami a prostředky [28]; a monitorovat a posuzovat rizika v čase a posuzovat úroveň bezpečnosti technického díla a v případě, že není žádoucí reagovat kvalifikovaně na prioritní rizika.

Důležité je si uvědomit, že riziko je nejen proměnné v čase, ale i místně specifické, a tudíž není určitelné nástroji, které byly odvozené jinde pro konkrétní situace a mají softwarové podoby. Zde je nutné respektovat podmínky transferu technologií a nástroj přizpůsobit místním podmínkám. Přizpůsobení místním podmínkám vyžaduje: rekognoskaci technického díla a jeho okolí doprovázenou určením kritických procesů, kritických míst a kritických aktiv technického díla; stanovení variantních scénářů pro prioritní pohromy (příčiny prioritních rizik), jejichž zdroje jsou uvnitř i vně technického díla a také lidský faktor. Z důvodu výše zmíněného poznání, že použití jednoho software, které respektuje jen výrobní proces, vede k nezvážení dopadů pohromy na několik míst technického díla najednou (v technickém slangu mluvíme o příčinách selhání technického díla z jedné příčiny), je nutné vytvořit scénáře pro technické dílo jako celek s mnoha aktivy, i scénáře pro dobře definované části kolem kritických míst. Na základě všech scénářů stanovit dopady na aktiva technického díla metodou What, If; a logicky vyhodnotit variantní scénáře a jejich dopady, a přitom vyznačit a posoudit možná propojení.

Pak už lze použít logické rutinní postupy, které jsou shodné u obecných metod, popsané v [7,16], a které jsou obsaženy v modelu řízení rizik obsaženém v normě ISO 31 000 [19], a mají softwarové podpory. Z uvedeného je zřejmé, že know how práce s riziky je právě v prvních

bodech, které jsou určeny specifikami technického díla. Ze zkušeností z praxe vyplývá, že právě tato část je často podceněná zpracovateli, kteří věří v sílu software. Kvalitní provedení první specifické části práce s riziky vyžaduje spolupráci odborníka, který má zkušenosti s popsány úkoly a odborníků z technického díla, kteří mají místní znalosti a zkušenosti. Pro podporu praxe, jsou proto v publikaci uvedeny konkrétní příklady jak vzorů úspěšných aplikací nástrojů používaných inženýrskými disciplínami při práci riziky, tak obecné nástroje, které lze použít u každého technického díla, protože je v nich inherentně zabudována proměnnost sledovaných položek v prostoru i čase.

Literatura

- [1] ASCE. *Global Blueprints for Change – Summaries of the Recommendations for Theme A „Living with the Potential for Natural and Environmental Disasters“, Summaries of the Recommendations for Theme B „Building to Withstand the Disaster Agents of Natural and Environmental Hazards“, Summaries of the Recommendations for Theme C „Learning from and Sharing the Knowledge Gained from Natural and Environmental Disasters“*. Washington: ASCE 2001.
- [2] HAIMES, Y. Y. *Risk Modeling, Assessment, and Management*. ISBN: 978-0-470-28237-3. John Wiley & Sons 2009. 1040p.
- [3] KIRCHSTEIGER, Ch. (ed.). *Risk Assessment and Management in the Context of the SEVESO II Directive*. Amsterdam: Elsevier, 1998.
- [4] PROCHÁZKOVÁ, D. *Bezpečnost složitých technologických systémů*. ISBN: 978-80-01-05771-1. Praha: ČVUT 2015, 208p.
- [5] UN. *Human Development Report*. UN, 1994 New York: UN 1994. www.un.org.
- [6] PROCHÁZKOVÁ, D. *Zásady řízení rizik složitých technologických zařízení*. ISBN: 978-80-01-06180-0. Praha: ČVUT 2017, 364p. <http://hdl.handle.net/10467/72582>
- [7] PROCHÁZKOVÁ, D. *Analýza a řízení rizik*. ISBN: 978-80-01-04841-2. Praha: ČVUT 2011, 405p.
- [8] PROCHÁZKOVÁ, D. *Strategické řízení bezpečnosti území a organizace*. ISBN: 978-80-01-04844-3. Praha: ČVUT 2011, 483p.
- [9] UNDP. *Human Development Report*. ISBN: 978-92-1-126413-5. New York: UN 2016, 272p., <http://hdr.undp.org>
- [10] ČR. Nařízení vlády č. 432/2010 Sb.,
- [11] PROCHÁZKOVÁ, D. *Analýza, řízení a vypořádání rizik spojených s technickými díly*. ISBN 978-80-01-06480-1. Praha: ČVUT 2018, 222p.
- [12] EU. <http://ec.europa.eu>
- [13] PROCHÁZKOVÁ, D. *Rizika spojená s pohromami a inženýrské postupy pro jejich zvládnutí*. ISBN 978-80-01-05479-6. Praha: ČVUT 2014, 234p.
- [14] FEMA. *Guide for All-Hazard Emergency Operations Planning*. State and Local Guide (SLG) 101. Washinton: FEMA 1996.
- [15] PROCHÁZKOVÁ, D. *Metodika pro odhad nákladů na obnovu majetku v územích postižených živelní nebo jinou pohromou*. ISBN 978-80-86634-98-2. Ostrava: SPBI SPEKTRUM XI 2007, 251p.
- [16] PROCHÁZKOVÁ, D. *Metody, nástroje a techniky pro rizikové inženýrství*. ISBN 978-80-01-04842-9. Praha: ČVUT 2011, 369p.
- [17] ZAIRI, M. *Total Quality Management for Engineers*. Cambridge: Woodhead Publishing Ltd, 1991
- [18] BORGES, HICKEY, C. Balancing Safety and Performance through QRA and RAM Analyses. In: *Safety and Reliability: Methodology and Applications*. ISBN:978-1-138-02681-0. London: Taylor & Francis Group 2015, pp. 445-452.

- [19] ISO. *Risk Management – Principles and Guidelines*, ISO 31000:2009.
- [20] FEMA. *Promoting Critical Infrastructure Protection by Emergency Managers and First Responders*. Nationwide. 2005. www.usfa.fema.gov
- [21] US EPA. PHA Techniques in Chemical Emergency Prevention & Planning. *Newsletter* 2008, No. 8, pp. 3-6.
- [22] CONTINI, P. M., CONTINI, S., COPELLI, S., ROTA, R., DEMICHELA, M. From HazOp Study to Automatic Construction of Cause Consequence Diagrams for Frequency Calculation of Hazardous Plant States. In: *Safety and Reliability of Complex Systems*. ISBN:978-1-315-64841-5. London: Taylor & Francis Group 2015, pp. 347-355.
- [23] GUANGHAO ZHU, YUFENG SUN & GUANGYAN ZHAO. A Dynamic Fault Tree Method for Availability Assessment of the Repairable Gas Transmission System. In: *Safety and Reliability of Complex Systems*. ISBN:978-1-315-64841-5. London: Taylor & Francis Group 2015, pp. 1897-1903
- [24] SHORTRIDGE, J. E., AVEN, A., GUIKEMA, S. D. Risk Assessment under Deep Uncertainty: A Methodological Comparison. In: *Safety and Reliability of Complex Systems*. ISBN:978-1-138-02879-1. www.taylorandfrancis.com, London: Taylor & Francis Group 2015. pp. 847-855.
- [25] ČVUT. *Archiv řešených úloh z oblasti řízení bezpečnosti a krizového řízení*. Praha: ČVUT, fakulta dopravní, ústav bezpečnostních technologií.
- [26] GOLOMB, S. W. Mathematical Models - Uses and Limitations of Simulation. *Mathematical Journal*, 14 (1970), 4, pp 197 - 198.
- [27] INSAG. *Defence in Depth in Nuclear Safety*. INSAG-10. ISBN 92-0-103295-1. Vienna: IAEA, 1996.
- [26] COASE, R. H. The Problem of Social Cost. *Journal of Law and Economics*, 3 (1960), pp. 1-44.

Návaznost na výzkumné projekty: EU „FOCUS - Foresight Security Scenarios – Mapping Research to a Comprehensive Approach to Exogenous EU Roles“; grant ČVUT „OHK2-003/15, Řízení bezpečnosti a ochrana kritických objektů a kritických infrastruktur“; a projekt MŠMT „RIRIZIBE CZ.02.2.69/0.0/0.0/16_018/000“. Autoři děkují všem zadavatelům uvedených projektů za vytvoření podmínek, které jí umožnily odbornou práci.

Project of the first public heliport in Prague

Lukáš Matějkaⁱ, Jakub Krausⁱⁱ

Abstrakt: Předkládaný článek se zabývá projektem veřejného heliportu na území Prahy, který by měl umožnit nejlepší letecké spojení s centrem města. Při zpracování této studie byly zohledněny veškeré předpisové požadavky, stanovené předpisem L 14H. Dále byly nalezeny vhodné lokality pro umístění heliportu s 24-hodinovým provozem a vyhodnoceny kritické vrtulníky pro daný heliport. Kromě samotného projektu z pohledu dopravního a stavebního se práce věnuje také provozu a využití heliportu.

Klíčová slova: heliport, vrtulník, letecká záchranná služba, územní plán, vzdušný prostor

Abstract: The article deals with the project of the public heliport in Prague. This heliport is designed to provide the best air connection to the city centre. Firstly, the paper considers all the requirements established in the Czech aviation regulation L14H for helicopters. Then suitable locations for a 24-hour operated heliport were found and critical helicopters were analysed. In addition to construction of the heliport and its traffic situation, the article focuses on operation and usage of the heliport as well.

Keywords: heliport, helicopter, HEMS, development plan, airspace

1. Introduction

Nowadays, due to the improving economic situation in the Czech Republic, public interest in modern and unconventional modes of transport – including helicopters – is growing. Over the last 5 years, the number of helicopters registered in the Czech Republic has risen by almost 100%, which proves the growth of this transport and indicates that helicopter flying will be constantly evolving. [1]

Along with the increasing number of helicopters, it is also necessary to discover places for landing. Nowadays, helicopters are reliant on airports and private or industrial areas, where companies use helicopters for urgent transport of people or production components between production sites (e.g. Škoda Auto a.s.). There are also many helipads by hospitals, but these are strictly reserved for HEMS (Helicopter Emergency Medical Service) operations. [5] Consequently, the number of public landing sites for private helicopter owners or helitaxi companies is very low in the Czech Republic, reaching even zero in Prague. For this reason,

ⁱ Ing. Lukáš Matějka, Czech Technical University in Prague, Faculty of Transportation Sciences, Department of Air Transport, Horská 3, 128 03 Prague 2, Czech Republic, matejlu3@fd.cvut.cz

ⁱⁱ Doc. Ing. Jakub Kraus, Ph.D., Czech Technical University in Prague, Faculty of Transportation Sciences, Department of Air Transport, Horská 3, 128 03 Prague 2, Czech Republic, kraus@fd.cvut.cz

the key idea of designing a public heliport with a VFR / night operation and a few parking spots for helicopters has been expressed. Heliport should primarily serve to private users but is also intended for various companies interested in this project, such as companies operating helitaxi, sightseeing flights or aerial and special operations. Some of them have been asked in an opinion poll followed by positive response to the idea of the public heliport. [2]

Although this is a unique project and a first concept of this heliport type, many public heliports can be found in Western Europe and are frequently used. The great example is The London Heliport located on the banks of the River Thames in Cotton Row area, laying just 4 km from the Westminster district. Heliport offers parking (up to 4 helicopters), refuelling options and connection to river transport. [3] In the United States, even almost every town is equipped with its public heliport. [4] But, to set the record straight, the approach to aviation is significantly different in the US because the air legislation of FARs (Federal Aviation Regulations) does not demand such requirements for heliport equipment and certification that Czech CAA and EASA does.

2. Criteria for selecting the right area for heliport

The main goal of the Prague public heliport is to enable customers to reach the city centre as quickly as possible. Due to the densely populated Prague centre (Prague districts 1 to 10) and several airspaces that restrict the helicopter's operation, the heliport has been considered to be located rather on the outskirts of Prague.

Airspaces that restrict the helicopters over Prague [6]:

- LKP 1 (Prague Castle) – Prohibited area
- LKR 9 (Centre) – Restricted area (only for twin-engine helicopters)
- CTR Prague (LKPR Control Area) – necessary to coordinate the flight with the ATC

LKP 1 covers the airspace from the ground to 5000 ft AGL (Above Ground Level) as well as LKR 9. The LKR9 airspace does not seem to be so restricting, as it is simple to request a permission from the ATC. But, the downside is reservation of the airspace merely for twin-engine helicopters, which disturbs the business objective and heliport availability for many private customers, who mostly own a single engine helicopter. In this case, it would be necessary to consider another primary use of the heliport rather than the area for private helicopters.

Several factors must be taken into account during the site search. The key criteria are the driving distance and, in particular, time to reach the centre of Prague. Considering high traffic intensity on some arteries, the real availability has been more important than the air distance during the assessment. Other considered criteria are the dimensions and accessibility of chosen land, the heliport's location, regarding the above-mentioned airspaces and the expected noise impact on its surrounding area.

According to the above-mentioned criteria, three locations have been considered for assessment. The features and benefits vary depending on the location.

3. Selection of the location

Considering the criteria mentioned in chapter 2 above, three areas have been chosen – Radlice (Prague 5), Císařský ostrov (Prague 8) and Radotín (Prague 16).

3.1. Radlice

Thanks to the size of an area and its expanse, the area between Radlice and Zlíchov was the first to be considered. Its position on top of the hill is advantageous because the approach can be designed from multiple directions (basically from 2 directions). There are no significant obstacles like buildings, forests or high voltage power lines.

However, the biggest advantage of this area is a very good connection to the Prague centre, as there are tube station Radlická (B line) and Radlická thoroughfare in 500 meters distance. Driving distance by car is within 15 minutes (depending on traffic). Václav Havel Airport can be easily reached within 15-20 minutes.

The disadvantage of Radlice is its position in the approach corridor to the RWY 12/30 at Václav Havel Airport in Prague (LKPR), therefore a coordination with the ATC is necessary.

Figure 1 shows the location in Radlice including the approach and take-off protection areas. Due to the dimensions of this area was as a critical helicopter considered Bell 412 with its MTOW (Maximum Take-Off Weight) of 5,397 kg, which covers all helicopters registered in the Czech Republic. [7]

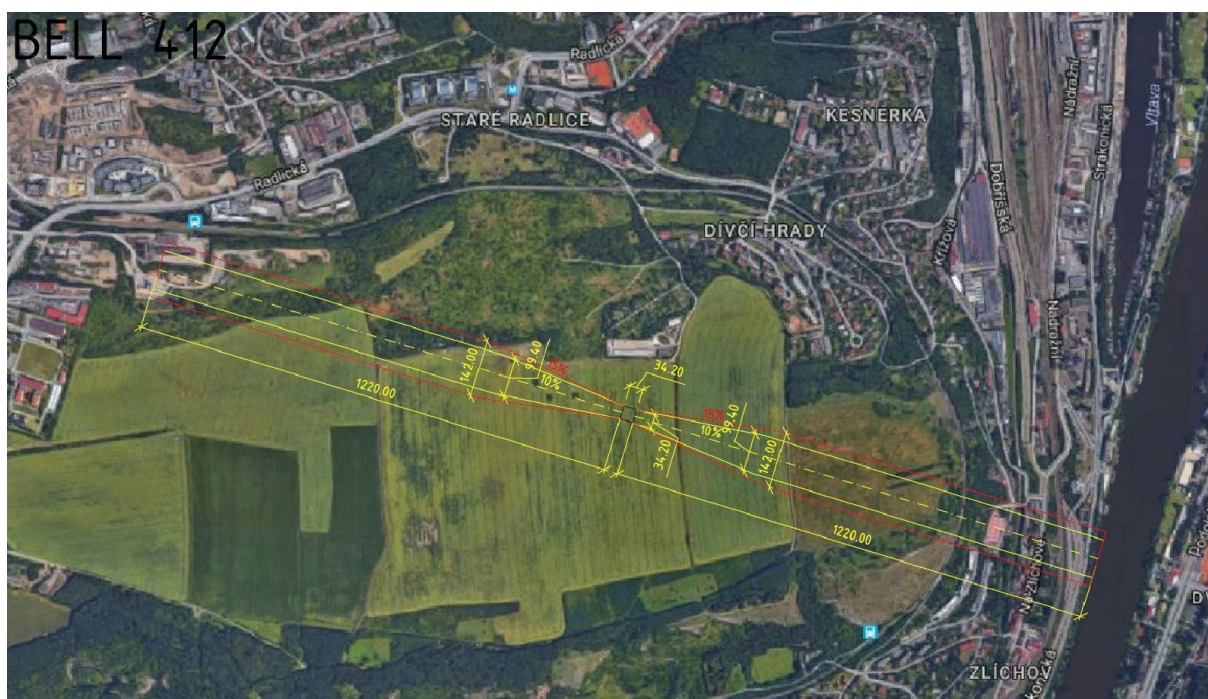


Fig. 1 Heliport in Radlice

3.2. Císařský ostrov

On the river island Císařský ostrov there would not be as much space as in Radlice, but the city centre connection is satisfying, especially due to the new city tunnel called Blanka and the bridge Trojský most, with driving distance to city centre of 10 – 15 minutes by car.

Figure 2 shows a technical drawing of approach areas for the location of Císařský ostrov. Since it is an area with high traffic density and plenty of significant obstacles, it is not feasible to design the approach from the east. Therefore, only one approach corridor has been considered.

Solution in this location counts with more compact heliport, suitable for helicopter EC 135 [8], which is considerably smaller than Bell 412, but covers most of helicopter types in the Czech Republic. The reason for cutting the dimensions is primarily a position of the heliport in flooded area and consequently the related higher costs of the construction.



Fig. 2 Heliport in Císařský ostrov

3.3. Radotín

Radotín offers a very good connecting times to the city centre, especially by using road transport (by car or by bus). The centre can be reached within 15 minutes using Strakonická highway.

The great advantage of this site is its considerable distance to residential areas, especially in respect of the noise that helicopters produce. In the closest surroundings there are only industrial areas and warehouses.

Figure 3 shows a technical drawing in area of Radotín. Because of the substantially rugged terrain around the confluence of the rivers Berounka and Vltava, only one direction of approach from the south-east direction was proposed. In the opposite direction, the terrain is very steep and cannot comply with rules regarding OCA (Obstacle Clearance Altitude) and the glide path angle.



Fig. 3 Heliport in Radotín

3.4. Final selection

Three localities emerged from the research of the Prague public heliport. The areas of Radlice and Císařský ostrov offer good connections to the city centre; Radlice even features with the possibility of two directions of approach, but the land prices are considerably high and since it is situated within CTR and LKR 9 airspaces, close to residential areas and in the corridor of approach to Prague Airport, these locations do not appear as suitable.

Eventually, the area of Radotín was chosen as the most advantageous. Although the site subjects to flooding, which means a more complex and expensive construction of a heliport with anchoring systems, and offers only one approach direction, a feasibility of the project is the least restrictive. The area is located outside of LKR 9 and beyond CTR Prague Ruzyně, travel distance to Prague is more than satisfying, land prices are lower than in other two areas and last but not least, the noise study also seems to have positive results.

4. Discussion

Thanks to the location in Radotín, there would be a greater potential commercial use of the heliport, especially due to its availability for single-engine helicopters, hence private operators. There also arise other opportunities, such as HEMS operation, Prague sightseeing flights, or drones landing area. At the same time, due to the considerable interest in such a heliport, several parking spaces are necessary.

On the river island Císařský ostrov, the parking spots would not be easily placed due to the lack of space. Consequently, heliport capacity and operation revenues would be significantly

reduced. In Radlice there is a large area, but accessibility, as mentioned above, is merely for twin-engine helicopters.

5. Conclusion

Due to the increasing number of registered helicopters in the Czech Republic, it is surprising that there is no public heliport in Prague yet. If pilots need to land with the helicopter, they just have to use the airports. But it brings a disadvantage in the form of high fees, long distance to the city centre, or possible restriction of movements to daytime (eg. no night operation).

For this reason, three potential sites were analysed - Radlice, Císařský ostrov and Radotín. From these locations, the last one was considered as the most appropriate one, mainly due to its realization potential.

An important aspect is also the commercial use and business opportunities, which makes the first two areas complicated and restricted by LKR 9 airspace, which defines restrictive criteria for single-engine operation.

However, no matter where the heliport will be located, its designation and construction are desirable, because a large number of helicopter operators are interested in flying to Prague for various purposes, but they do not have a landing area, which means there seems to be a great potential of this project.

6. Acknowledgement

This paper was supported by the Grant Agency of the Czech Technical University in Prague, grants No. SGS17/152/OHK2/2T/16

References

- [1] Česká databáze vrtulníků a vírníků. *Helidat.cz* [online]. 2018 [cit. 2018-08-09]. Dostupné z: <https://helidat.cz/>
- [2] DSA – Letecká záchranná služba [online]. 2018 [cit. 2018-08-09]. Dostupné z: <https://www.dsa.cz/letecka-zachranna-sluzba>
- [3] The London Heliport. *The London Heliport* [online]. 2017 [cit. 2018-08-09]. Dostupné z: <http://www.londonheliport.co.uk/>
- [4] Manhattan (NYC) Area Heliports & Helipads. *Core Helicopters* [online]. 2007 [cit. 2018-08-20]. Dostupné z: http://coreheli.com/NYC_helipads.html
- [5] *VFR příručka – Česká republika* [online]. 2018 [cit. 2018-08-20]. Dostupné z: http://lis.rlp.cz/vfrmanual/actual/hel_1_cz.html
- [6] *AIP Czech Republic: ENR 5.1* [online]. ANS of the Czech Rep., 2018 [cit. 2018-08-20]. Dostupné z: https://lis.rlp.cz/ais_data/aip/data/valid/e5-1.pdf
- [7] Bell 412 EP. *Bell Helicopter* [online]. 2018 [cit. 2018-08-20]. Dostupné z: <http://www.bellflight.com/commercial/bell-412ep>
- [8] *Airbus Helicopters* [online]. [cit. 2018-08-20]. Dostupné z: <https://www.airbus.com/helicopters/civil-helicopters/light-twin/h135.html>

Vliv stárnutí na modifikovaná asfaltová pojiva

Marek Blaščíkⁱ

Abstrakt: Článek pojednává o možnosti nahrazení jednoho cyklu dlouhodobého stárnutí třemi cykly krátkodobého stárnutí pro čtyři vybrané normované zkoušky asfaltového pojiva. Data byla naměřena pro zkoušku penetrace jehlou a pro metodu kroužek – kulička, které jsou obě používány v České republice pro kategorizaci pojiva. Dále byla data naměřena pro zkoušku Multiple Stress Creep and Recovery a pro nízkoteplotní měření vlastností pojiva na trámečkovém reometru. Obě tyto zkoušky jsou součástí severoamerického testování Strategic Highway Research Program, které je organizací American Association of State Highway and Transportation Officials používáno ke kategorizaci pojiva a jejichž výsledky je možné vztáhnout na reologické chování materiálu. Měření bylo provedeno na nemodifikovaném pojivu, na pojivu modifikovaném reaktivním elastickým polymerem v kombinaci s polyfosforečnou kyselinou a na pojivu s kombinací reaktivního elastického polymeru s polymerem na bázi styren-butadien-styren a s kyselinou polyfosforečnou.

Klíčová slova: zkoušení asfaltového pojiva, Multiple Stress Creep and Recovery, Trámečkový reometr, Penetrace, metoda Kroužek Kulička, krátkodobé stárnutí, dlouhodobé stárnutí

Abstract: This paper evaluates the possibility of replacing one cycle of long term aging by three cycles of short term ageing for four standardized tests. For penetration test and Ring and Ball test, which are used for asphalt standardization in Czech Republic and also for Multiple Stress Creep and Recovery and Bending Beam Rheometer testing, which are part of Strategic Highway Research Program testing introduced by American Association of State Highway and Transportation Officials and their results correlates with rheological behaviour of the binder. The tests were performed for non-modified binder as well as for polymer modified binders with added reactive elastomeric polymer with polyphosphoric acid and for binder with combination of reactive elastomeric polymer and styrene butadiene styrene polymers with added polyphosphoric acid.

Keywords: asphalt binder testing, Multiple Stress Creep and Recovery, Bending Beam Rheometer, Penetration test, Ring and Ball test, short term aging, long term aging

1. Úvod

Modifikací asfaltového pojiva je možné snížit degradaci materiálu vlivem času a dopravního zatížení konstrukce pozemní komunikace. Technologie umožňuje navrhnout takovou formuli pojiva a polymeru (popřípadě dalších aditiv), která rozšíří teplotní rozsah (PG třídu) použití materiálu a tím vytváří univerzálnější pojivo.

Právě toto rozšíření teplotního rozsahu je pro co nejefektivnější využívání nerostných surovin důležité, naakumulovaná teplota v asfaltové vozovce může v letních měsících v České republice dosahovat 60°C a v zimních naopak klesat až k -30°C. Navržení pojiva, které by bylo schopné odolávat trvalým deformacím při vysokých teplotách a zároveň nebylo náchylné na mrazové či únavové trhliny při nízkých teplotách je značně usnadněno při použití technologie

ⁱ Ing. Marek Blaščík, ČVUT FD, Ústav dopravních systémů, Horská 3, 128 03 Praha 2, blasmar@fd.cvut.cz

modifikace pojiva polymery, čím větší je teplotní rozsah (PG třída), ve kterém musí pojivo splňovat limity určitých normovaných zkoušek, tím obtížnější (a dražší) je navrhnout správnou kombinaci pojiva a polymeru a zároveň tím menší jsou budoucí servisní náklady na pozemní komunikaci.

Pro zjištění vlastností asfaltového pojiva slouží zkoušky normované americkou silniční asociací (AASHTO) a ostatní zkoušky. Aby bylo možné zkoušet v laboratoři materiál, který má vlastnosti srovnatelné s vozovkou, která byla vystavena po dobu své životnosti klimatickým podmínkám a dopravnímu zatížení, jsou zde dva typy laboratorního stárnutí. Krátkodobé stárnutí RTFO simuluje proces, kterým projde pojivo na obalovně a při pokládce směsi a dlouhodobé stárnutí PAV napodobuje vystavení materiálu klimatickým podmínkám a dopravnímu zatížení po dobu deseti let. Dlouhodobé stárnutí je časově nákladnější a je otázkou, jestli proces, kterým materiál při tomto stárnutí projde, skutečně simuluje používání pozemní komunikace po dobu deseti let.

2. Materiál

Pro tento výzkum bylo použito asfaltové pojivo dodávané firmou Total ČR s katalogovou tvrdostí 50/70. Byl použit základní (nemodifikovaný) asfalt, asfaltové pojivo modifikované polymerem typu RET (reaktivní elastický polymer konkrétně Elvaloy 5160) v kombinaci s kyselinou polyfosforečnou (PPA) a jako třetí vzorek byl do takto modifikovaného pojiva (RET + PPA) přidán polymer typu SBS (polymer styren-butadien-styren, Kraton D). Celkově tedy vznikly tři laboratorní vzorky:

- Nemodifikovaný asfalt
- Reaktivní elastický polymer + kyselina polysforečná, (základní asfalt + RET + PPA)
- Reaktivní elastický polymer + kyselina polyfosforečná + polymer styren-butadien-styren, (základní asfalt + RET + PPA + SBS)

Každý z těchto vzorků byl testován v nezestárlém stavu (original binder), po provedení jednoho cyklu stárnutí typu RTFO, třech cyklech RTFO (3xRTFO), po provedení jednoho cyklu stárnutí typu PAV a nakonec po provedení šesti cyklů krátkodobého stárnutí RTFO (6xRTFO). Celkově tedy byl každý vzorek asfaltového pojiva podroben pěti typům stárnutí:

- Nezestárlý asfalt
- krátkodobé stárnutí RTFO
- tři cykly krátkodobého stárnutí 3xRTFO
- jeden cyklus dlouhodobého stárnutí PAV
- šest cyklů krátkodobého stárnutí 6xRTFO

3. Metoda

3.1. Zkouška penetrace jehlou

Zkouška je prováděna dle normy AASHTO T 49-15 [1] v České republice se používá ke kategorizaci pojiva na základě jeho tvrdosti. Ta se zjišťuje pomocí jehly, která při 25°C penetruje pojivo po dobu pěti sekund. Na základě hloubky vpichu v milimetrech se asfaltové pojivo rozřazuje dle jeho tvrdosti. Výsledky této zkoušky není možné spojit s typickými poruchami asfaltových vozovek, jako jsou tvorba trvalých deformací nebo mrazové trhliny.

3.2. Kroužek kulička

Druhou normovanou zkouškou, která je používána v České republice ke kategorizaci asfaltového pojiva se nazývá metoda Kroužek - Kulička. Tato zkouška se provádí dle teploty buď s použitím destilované vody, nebo pro vyšší teploty s použitím glycerinu. Z reologického hlediska tato zkouška není příliš vypovídající, výsledky tedy není možné stáhnout na tvorbu trvalých deformací nebo na náchylnost vozovky na tvorbu trhlin. Měření bylo provedeno v souladu s normou AASHTO T 53-08. [2]

3.3. Zkouška Multiple Stress Creep and Recovery

Multiple stress creep and recovery je zkouška, při které je pojivo opakovaně smykově namáháno a poté odtíženo s určitou frekvencí (0.1 s namáhání a 0.9 s doba pro relaxování pojiva). Namáhání probíhá nejprve při zatížení 0.1 kPa a při druhém cyklu 3.2 kPa, to má simulovat projíždějící vozidla na pozemní komunikaci. Výsledkem zkoušky je parametr Jnr pro 0.1 a 3.2 kPa, který reprezentuje ztrátu elastické části deformace. Větší Jnr znamená (dle zkoušky MSCR), že pojivo bude více náchylné na tvorbu trvalých deformací. Významný je zejména tento parametr pro opakované zatěžování pod tlakem 3.2 kPa. Zkouška je normována AASHTO T350 [3] a její výsledky vypovídají o náchylnosti pojiva na tvorbu trvalých deformací.

3.4. Trámečkový reometr BBR

Pomocí zkoušky AASHTO T313 [4] jsou zjišťovány nízkoteplotní vlastnosti pojiva. Vzorek je při konstantní (záporné) teplotě namáhán tříosým ohybem, konstantní silou, po stanovenou dobu a z průhybu vzorku v milimetrech je přepočtena tuhost materiálu v kPa a m-hodnota, která reprezentuje změnu tuhosti v čase. Výsledky měření reprezentují náchylnost pojiva vůči mrazovým trhlinám.

3.5. Krátkodobé stárnutí RTFO

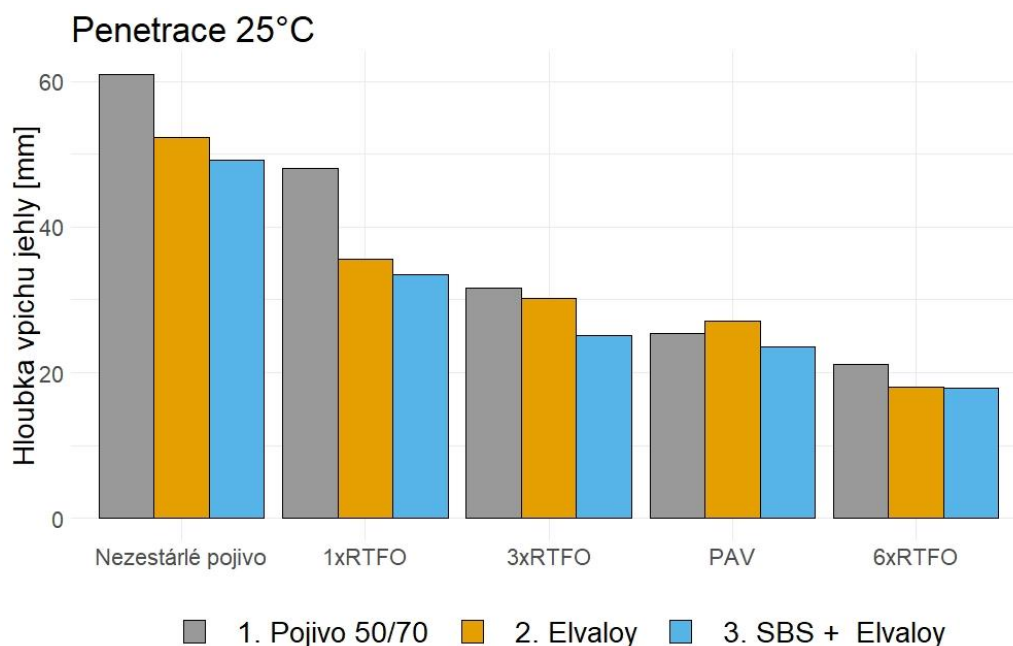
Krátkodobé stárnutí asfaltového pojiva simuluje proces, kterým pojivo projde na obalovně při míchání s kamenivem a následně při pokládce směsi. Velmi tenký asfaltový film je vystaven foukání horkého vzduchu po dobu 85 minut, čímž dojde k homogenní oxidaci vzorku. Zkouška je normována AASHTO R30 [5].

3.6. Dlouhodobé stárnutí PAV

Dlouhodobé stárnutí pojiva je prováděno dle normy AASTHO R 28 [6], výsledné pojivo má vlastnosti srovnatelné s materiálem, který byl po dobu 10 let vystaven klimatickým jevům a dopravnímu zatížení na pozemní komunikaci.

4. Naměřená data

Všechna data byla naměřena v souladu s normovanými zkouškami. Pro zjištění tvrdosti asfaltového pojiva byla provedena pro každý vzorek zkouška penetrace jehlou:

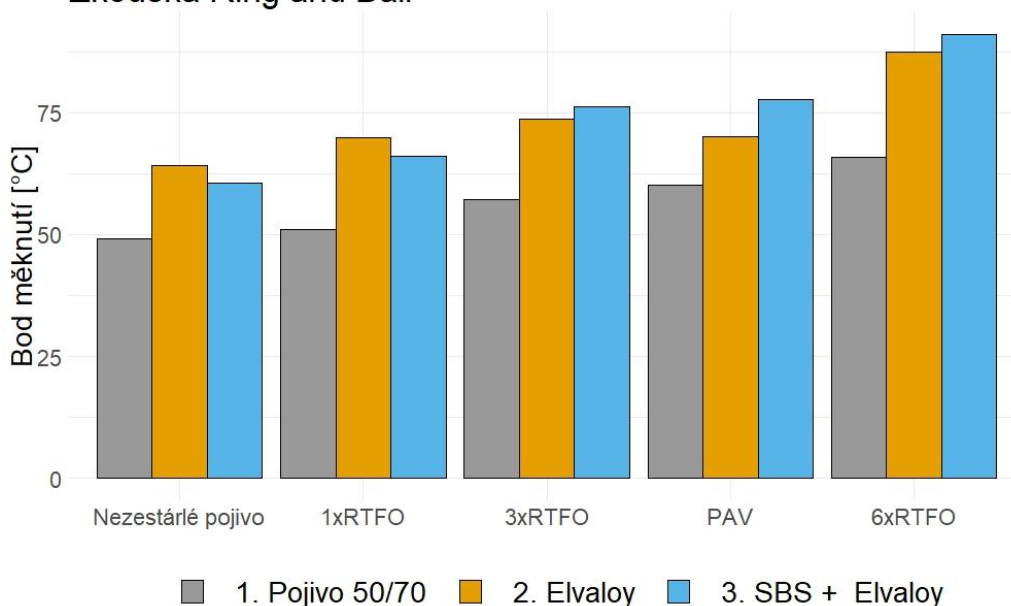


Obr. 1 Penetrace

Z Obr. 1 lze vyčíst, že modifikované pojivo (žlutá a modrá barva) bylo tvrdší než nemodifikované (šedá barva) vzorky. Pro dlouhodobě zestárlé vzorky (PAV) je situace opačná pro pojivo modifikované RET polymerem (žlutá barva).

Další data byla naměřena metodou kroužek – kulička, pro teploty naměřené v tomto souboru bylo jako měřící medium použita destilovaná voda. Bod měknutí je teplota, od které se pojivo přestává chovat jako pevná látka a začíná mít vlastnosti kapaliny. Ačkoli je tato veličina značně spjata s viskozitou pojiva, její aplikace na reologické vlastnosti materiálu nebyla prokázána, nicméně v České republice se zkouška používá ke kategorizaci asfaltového pojiva.

Zkouška Ring and Ball

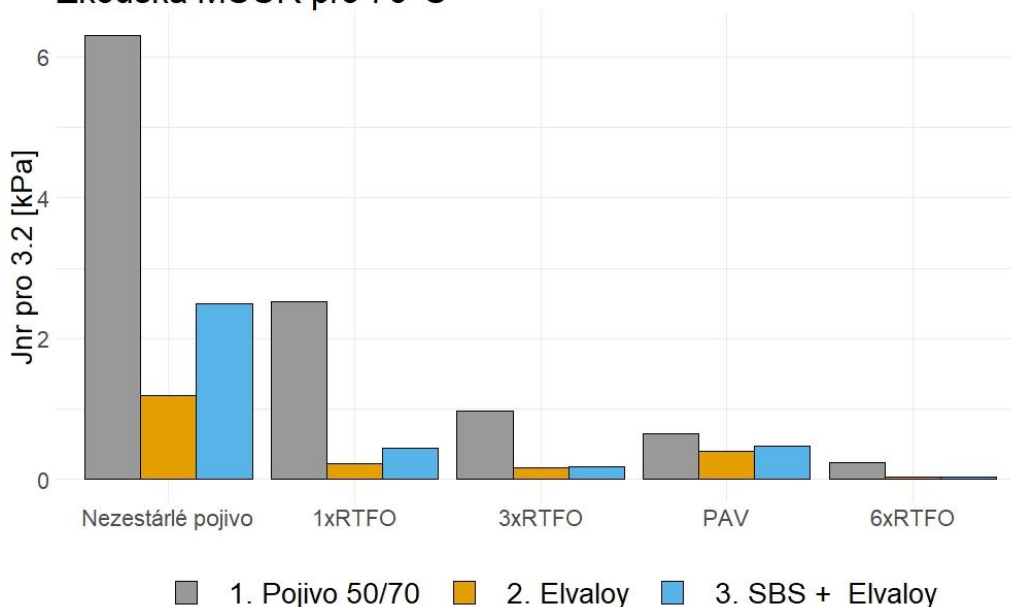


Obr. 2 Metoda Kroužek – Kulička

Z Obr. 2 lze vyčíst, že se stárnutím pojiva se zvyšuje teplota bodu měknutí asfaltu. Pro nezezstárlé pojivo a pro jeden cyklus RTFO byla pomocí kombinací polymeru RET a SBS tato teplota snížena. To ovšem neplatí pro dlouhodobě zestárlé pojivo PAV. Zkouška pro kategorizaci pojiva se provádí na nezezstárlém pojivu, tudíž zde je přidáním SBS umožněno dosáhnout nižší teploty (a pro ostatní zkoušky dosáhnout lepších reologických vlastností).

Náchylnost asfaltového pojiva na tvorbu trvalých deformací byla zjišťována zkouškou MSCR, která se provádí na dynamickém smykovém reometru DSR:

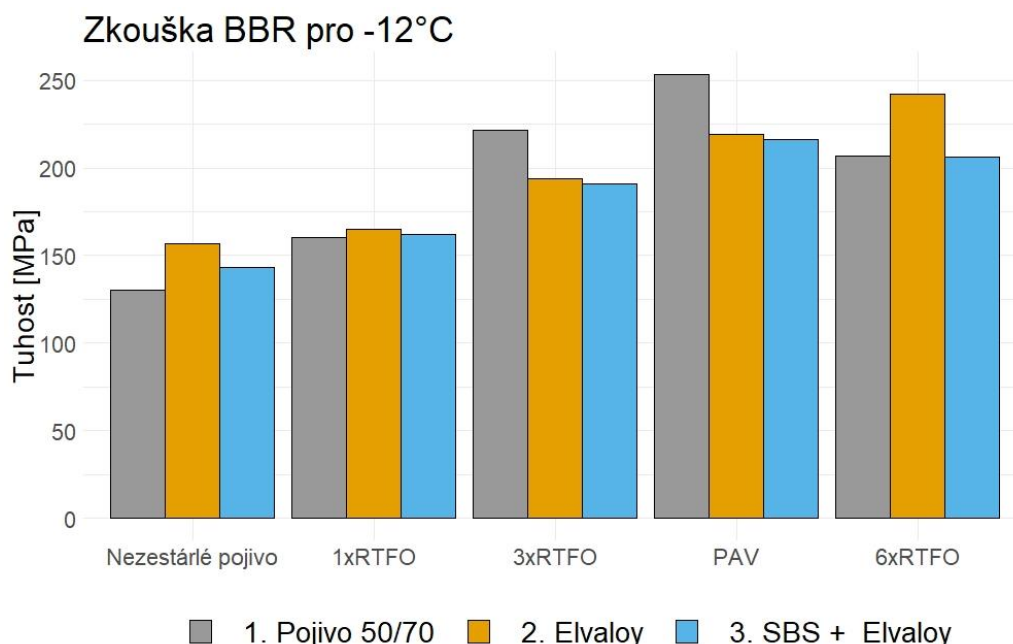
Zkouška MSCR pro 70°C



Obr. 3 MSCR

Na Obr. 2 nemodifikované pojivo (non modified) bylo vždy náchylnější na tvorbu trvalých deformací, pojivo modifikované pouze RET polymerem (žlutá barva) vykazovalo pro oba normované typy stárnutí (1xRTFO a PAV) lepší výsledky než po té, co se do formule zařadil polymer typu SBS.

Nízkoteplotní vlastnosti asfaltu byly zjišťovány zkouškou na trámečkovém reometru BBR:



Obr. 4 Zjišťování tuhosti na BBR

Pro nezestárlé pojivo (original 50/70 – Obr. 3) jeví lepší výsledky nemodifikovaný asfalt (šedá barva). Pro pojivo zestárlé krátkodobým stárnutím RTFO byly výsledky značně vyrovnané, ovšem ani zde efekt modifikace nepřinesl lepší výsledky. Pro pojivo zestárlé dlouhodobým stárnutím PAV jeví oba modifikované vzorky (jak RET, tak RET + SBS) lepší výsledky, které byly téměř totožné.

5. Diskuse výsledků

Byl zkoumán vliv stárnutí na asfaltové pojivo, které bylo nemodifikované a modifikované dvěma typy standardně používaných polymerů. Laboratorní vzorky byly zkoumány jak nezestárlé, tak zestárlé dle dvou normovaných zkoušek (RTFO a PAV) a dále experimentálně třemi a šesti cykly krátkodobého stárnutí RTFO.

Pro zjištění možnosti nahrazení dlouhodobého PAV stárnutí třemi nebo šesti cykly krátkodobým stárnutím PAV byla zvolena zkouška penetrace jehlou pro zjištění tvrdosti pojiva, zkouška MSCR pro zjištění náchylnosti pojiva na tvorbu trvalých deformací a měření na trámečkovém reometru BBR pro zjištění odolnosti pojiva proti tvorbě mrazových trhlin.

Tvrдость asfaltového pojiva (zjišťováno penetrací jehlou) byla podobně ovlivněna třemi cykly stárnutí RTFO, jako byla ovlivněna jedním cyklem PAV. To platí především pro modifikované pojivo (oba typy modifikací). Komplexnější zkoušky (MSCR a BBR) již ukazují značně odlišné výsledky, zvláště při srovnání s PAV a šesti cykly RTFO. Právě tyto modernější zkoušky jsou důležité pro pochopení reálného chování materiálu a pro reologické objasnění jeho vlastností.

Dále je možné vyzorovat odlišné chování pojiva modifikovaného pouze polymerem typu RET a kombinací polymerů RET + SBS. Pro zkoušku MSCR byly výsledky pro nezestárlé a krátkodobě zestárlé pojivo značně odlišné, pro dlouhodobé stárnutí PAV výsledky nejsou nijak významně rozdílné. Pro zkoušku prováděnou na trámečkovém reometru (odolnost vůči tvorbě mrazových trhlin) jsou výsledky jak pro krátkodobé, tak pro dlouhodobé stárnutí značně podobné a vliv daného typu modifikace není až tak zřejmý.

- Dle naměřených dat nelze doporučit záměnu třech či šesti cyklů krátkodobého stárnutí RTFO za jeden cyklus dlouhodobého stárnutí PAV.
- Modifikace asfaltového pojiva ovlivňuje spíše vysokoteplotní vlastnosti (zkouška MSCR) a to především pro krátkodobé stárnutí RTFO.
- Vliv polymeru typu SBS na nízkoteplotní vlastnosti asfaltu byl v pojivu, ve kterém již byl přítomný polymer RET, zanedbatelný.
- Přidání polymeru typu SBS umožnilo dosáhnout normovaných hodnot, aniž by oproti pojivu s polymerem RET významně ovlivnilo reologické vlastnosti materiálu.

Literatura

- [1] AASHTO. Standard Method of Test for Penetration of Bituminous Materials, T 49-15.
- [2] AASHTO. Softening Point of Bitumen. AASHTO Designation: T 53-08.
- [3] AASHTO. Standard Method of Test for Multiple Stress Creep Recovery, T350.
- [4] AASHTO. Standard Method of Test for Determining the Flexural Creep, T 313.
- [5] AASHTO. Standard Practice for Mixture Conditioning of Hot Mix Asphalt, R 30.
- [6] AASHTO. Standard Practice for Accelerated Aging of Asphalt Binder Using, R 28.

RIZIKA SPOJENÁ S PROVOZEM NA ŽELEZNICI

Tomáš Kertisⁱ, Dana Procházkováⁱⁱ, Jan Procházkaⁱⁱⁱ, Zdenko Procházka^{iv}

Abstrakt: *Železnice patří do kritické infrastruktury státu a je důležitou dopravní infrastrukturou, proto její bezpečnost je prioritní. Článek shrnuje pokrokové zásady řízení bezpečnosti a porovnává je s pravidly, která platí pro systém železniční dopravy. Srovnání ukazuje na nedostatky řízení bezpečnosti na drahách. V druhé části se článek zaměřuje na příčiny dopravních nehod na železnici.*

Klíčová slova: *železnice; kritická infrastruktura; RAMS; legislativa; dopravní nehody*

Abstract: *Railway belongs to the critical infrastructure of the State and it is important traffic infrastructure, therefore, its safety has a high priority. The paper sums up the advanced principles of safety management and it compares them with rules that are in force in railway transportation system. The comparison shows to lacks in safety management of railway. In the second part the paper is directed to causes of traffic accidents on railway.*

Keywords: *railway; critical infrastructure; RAMS; legislative; traffic accidents*

1. Úvod

Dopravní infrastruktura patří do základních systémů tvořících kritickou infrastrukturu. Železnice je technické dílo, které významně přispívá ke kvalitě života lidí. Podle výsledků výzkumu [1] je při řešení kritických situací nejdůležitější dopravní infrastrukturou v ČR, protože je v případě potřeby schopna přepravit velké množství lidí i objemné náklady. Proto patří do kritické infrastruktury státu, jejíž bezpečnost musí být správně řízena, a to nejen krátkodobě, ale především v dlouhodobém časovém horizontu. Článek se soustřeďuje na bezpečnost technických děl a jejich řízení. Ukazuje pokrokové principy řízení bezpečnosti a aplikuje je na železnici. Provádí srovnání současných pravidel používaných na železnici se zásadami řízení bezpečnosti, které je založené na integrální bezpečnosti, tj. při zajišťování bere v úvahu nejen aktiva dopravního systému provozujícího železnici, ale i aktiva veřejná, která jsou vně tohoto systému (životy, zdraví a bezpečí občanů, majetek, životní prostředí, ostatní technologie a infrastruktury). Poté se podrobně se zaměřuje na příčiny dopravních nehod na železnici, které vedou jak ke ztrátám lidských životů, tak k velkým ekonomickým

i Ing. Tomáš Kertis, ČVUT v Praze FD, Konviktská 20, Praha 1, 110 00, kertitom@fd.cvut.cz

ii doc. RNDr. Dana Procházková, DrSc., ČVUT v Praze FD, Konviktská 20, Praha 1, 110 00, prochazkova@fd.cvut.cz

iii RNDr. Jan Procházka, PhD., ČVUT v Praze FD, Konviktská 20, Praha 1, 110 00, prochj31@fd.cvut.cz

iv Ing. Zdenko Procházka, CSc., ČVUT v Praze FD, Konviktská 20, Praha 1, 110 00, prochzd5@fd.cvut.cz

ztrátám a mnohdy i k vážnému poškození životního prostředí. Na základě kritické analýzy dat o dopravních nehodách ukazuje jejich příčiny; podrobně se věnuje dopravním nehodám v ČR.

2. Poznatky o bezpečnosti technických děl a jejich řízení

Současné poznání ukazuje, že při řešení problémů je nutno zvažovat jejich systémovou podstatu, jednotlivé entity a skutečnost, že u velkých technických děl jde o složité systémy, jejichž struktura je popsána modelem systém systémů (SoS), tj. soubor otevřených a vzájemně provázaných systémů [2]. Aktiva každé entity jsou: základní veřejné zájmy (tj. životy, zdraví a bezpečí lidí, majetek, veřejné blaho, životní prostředí, kritické infrastruktury a technologie [3]); zájmy spojené s plněním úkolů entity; prosperita (zisk); a soulad entity se státem v místě působení. Poslední vyjmenovaná tři aktiva jsou typická pro soukromé entity, jako např. pro systém provozující železniční dopravu. Pro úplnost je třeba uvést, že aktiva lidského systému jsou strukturální elementy a že vazby a toky energií, hmot, informací a povelů mezi nimi jsou vytvářeny fyzikálními, biologickými, chemickými, společenskými, sociálními či psychickými zákonitostmi, které jsou spojené s hmotnou a energetickou podstatou světa, legislativou, financemi, etickými a morálními pravidly, tj. představují toky v architektuře sledovaného systému.

Bezpečnost v současném pojetí založeném na dokumentu OSN z r. 1994 [4] je soubor opatření a činností, které provádí člověk, aby zajistil své bezpečí a udržitelný rozvoj. V uvedeném pojetí v případě technických děl je bezpečnost vlastnost vytvářená člověkem na úrovni systémů a zahrnuje jak funkčnost, tak spolehlivost. Analýza a syntéza poznatků a zkušeností uvedených v odborných publikacích, shrnutá v knize [5] ukazuje, že bezpečnost drážního systému (v integrálním smyslu) lze naplnit jen tehdy, když se při jejím řízení: zvažují všechna výše uvedená aktiva; používá současné poznání v kontextu teorie systému; a požaduje, aby drážní systém prováděl své činnosti tak, aby ani při jeho kritických podmínkách nezpůsobovaly jevy, které by vedly k desintegraci až rozpadu drážního systému, anebo až lidského systému, tj. i zvažuje i bezpečí svého okolí. Jinými slovy cíl je možné dosáhnout jen tehdy, když drážní systém zná a zvažuje všechna možná rizika v detailech i souvislostech (tzv. All Hazard Approach v představě zpracované pro Evropu v rámci projektu FOCUS [6]), a má správně nastavené řízení rizik.

Řízení rizik složitých systémů není jednoduché, protože jejich chování a stav jsou ovlivněny procesy a jevy, které probíhají uvnitř i vně systému a navíc jejich dopady se modifikují spleťtí sítí vazeb a toků, které jsou uvnitř podsystémů, napříč podsystémů, napříč celého systému i v okolí. Řízení rizik proto musí být komplexní a jeho priority musí být zaměřeny na bezpečí a udržitelný rozvoj entity a jejího okolí [5], tj. ve sledovaném případě systému železniční dopravy a jejího okolí. V úvahách, koncepcích, a praxi [5,7] se rozlišují **systém řízení bezpečnosti** (SMS – Safety Management System), který zajišťuje bezpečné technické dílo, tj. ve sledovaném případě systému železniční dopravy, jeho bezpečné okolí; a **bezpečnostní systém** (ve smyslu zabezpečení, tj. Security System), tj. systém zajišťující zabezpečené technické dílo (ve sledovaném případě systému železniční dopravy). První jmenovaný systém v sobě zahrnuje druhý, protože obsahuje nejen prvky systému, ale i pravidla pro hierarchicky uspořádané soubory opatření a činností, kterými se zajišťuje jistá úroveň bezpečnosti sledovaného technického díla a jeho okolí a která jsou navázaná na momentální situace, krátkodobé i strategické cíle řízení bezpečnosti. Cíle prvního systému jsou stále proaktivně zvyšovat úroveň bezpečnosti v čase, technickém díle a jeho okolí (ke

kterému patří i lidská společnost) tím, že se provádí soustavný monitoring a prognózy, předem se připravují plány akcí na možné situace a ve správném okamžiku se aplikují opatření a činnosti, které rychle stabilizují technické dílo při výskytu pohromy a vedou k růstu bezpečnosti v technickém díle, okolním území v čase. Cílem komplexního systému řízení bezpečnosti technického díla a jeho okolí je integrální, neboli ucelená či sjednocená bezpečnost s ohledem na chráněná aktiva a udržitelný rozvoj technického díla a jeho okolí. Komplexní systém řízení bezpečnosti technického díla má nadřazená pravidla, kterými řídí bezpečnost dílčích systémů řízení bezpečnosti v technickém díle, protože bezpečnost technického díla je chápána jako vlastnost na úrovni celku, přičemž obecně platí, že soubor bezpečných systémů není bezpečný systém [5].

Systém řízení bezpečnosti technického díla (tj. v našem případě systém drážní dopravy) musí dle práce [5] založené na směrnici OECD [8] a konceptu bezpečnosti OSN 1994 [4], který sleduje jak vlastní chráněná aktiva, tak veřejná chráněná aktiva, zahrnovat šest hlavních procesů: tvorba koncepce a řízení; administrativní postupy; technické záležitosti; vnější spolupráce; nouzová připravenost a odezva; dokumentace a šetření havárií a skoronehod. Ze současného poznání systémů a způsobů jejich ovládání (viz údaje v práci [2,5,7] a v pracích v nich citovaných), z vlastního výzkumu v oblasti fyzikálních a geovědních disciplín a ze zkušeností získaných při řešení závažných úkolů spojených s umístěním, projektováním a provozem důležitých objektů vyplývá, že celistvou charakteristiku každého systému dostaneme, když vytvoříme:

- morfologický popis systému, tj. popis jeho prvků a jejich vnitřních vazeb,
- popis spřažení (couplings) prvků systému, po kterých probíhají toky energií, hmot, informací, peněz a pokynů (jako lidských instrukcí pro realizaci opatření a činností). Spřažení na jedné straně zajišťují jisté žádané procesy v systému, tj. jisté chování a podmínky v systému, a na straně druhé jsou příčinou nežádoucích jevů, mezi které patří např. kaskádovité šíření poruch v systému, vytváření slabých míst systému apod.,
- popis souboru odezev na dynamické procesy probíhající v systému a v jeho okolí, tj. typy chování systému na určitý proces v systému nebo jeho okolí – odezva systému,
- popis souboru ovládacích mechanismů, kterými za očekávaných podmínek dosáhneme žádané chování systému a při neočekávaných podmínkách (abnormálních a zvláště kritických) zajistíme, aby selhání systému nevedlo k degradaci až rozpadu systému, tj. v případě lidského systému zajistíme za kritických podmínek přežití lidí a kontinuitu důležitých činností v území.

Důkladnou znalostí a pochopení položek, na které jsme výše soustředili pozornost, vytváříme schopnost člověka v oblasti zdokonalování ovládacích mechanismů předmětného systému. Vnitřní vazby v systému řízení technického díla jsou založeny v jeho projektu a v provozních předpisech. Spřažení, soubory odezev na dynamické procesy v technickém díle a jeho okolí i soubory ovládacích mechanismů, kterými člověk usměřuje v rámci svých možností chování technického díla, jsou pak určeny jak přírodními, tak ekonomickými, technickými, finančními, společenskými a sociálními zákonitostmi, z nichž jen některé jsou kodifikovány platnou legislativou. Pro podporu žádaných spřažení, odezev a ovládacích mechanismů byly na základě znalostí a zkušeností vytvořeny jisté specifické nástroje pro podporu řízení, z nichž nejdůležitější jsou: zlatá pravidla bezpečnosti (Golden Rules for Safety); kultura bezpečnosti (Safety Culture); program na zvyšování bezpečnosti (Safety Improvement Programme); indikátory / ukazatelé bezpečnosti (Safety Performance Indicators). Uvedené nástroje jsou

souhrnně popsány v práci [5]. Z pohledu současného poznání do nástrojů patří i systematická aplikace řízení znalostí (Knowledge Management) a přátelského řízení (Friendly Management) lidských zdrojů [5].

Systém řízení bezpečnosti zahrnuje organizační strukturu, odpovědnosti, praktiky, předpisy, postupy a zdroje pro určování a uplatňování prevence pohrom či alespoň zmírnění jejich nepřijatelných dopadů v komunitě a jejím okolí. Opírá se o koncepci prevence pohrom či alespoň jejich závažných dopadů, která zahrnuje povinnost zavést a udržovat systém řízení, ve kterém jsou zohledněny výše uvedené aspekty a procesy, včetně plánů pro jejich řízení, plnění a hodnocení. Komplexní systém řízení bezpečnosti technického díla stanovuje obecné principy pro plánování zajištění bezpečnosti technického díla v proměnném světě. Jeho základní principy jsou určené pro všechny zúčastněné, tj. jak řídicí pracovníky a zaměstnance technického díla, tak veřejnou správu, která dává povolení ke zřízení a v zájmu bezpečí lidí i státu musí provádět dohled nad provozem technického díla [5]. V oblasti technologické má dominantní roli vlastník / majitel licence, protože on má znalosti a možnosti pro účinné a kvalitní řízení technologických pohrom, ale celkově má významnější roli veřejná správa, která musí vlastníky donutit k tomu, aby ve veřejném zájmu zajišťovali možnou úroveň bezpečnosti aplikací principů ALARA a ALARP [5,7,8].

3. Řízení bezpečnosti drážních systémů dle současné legislativy

V rámci železniční dopravy je základním dokumentem účely bezpečnosti Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2004/49/EC (Směrnice o bezpečnosti železnic) [9]. Uvedená směrnice vedle systému řízení bezpečnosti zavádí i společné bezpečnostní cíle (CST – Common Safety Targets) a společné bezpečnostní metody dle Prováděcího nařízení Komise (EU) 402/2013 (CSM – Common Safety Methods) [10]. Při jakékoliv technické, provozní a organizační změny je nutné ji zdokumentovat, posoudit a odůvodnit její vliv na bezpečnost dle metodiky Drážního úřadu, jakožto drážní autority v ČR stanovené Ministerstvem dopravy, metodika je založená na CSM [10], tj. analýza rizik (ne integrální). Část výše uvedené směrnice vztahující se k systému řízení bezpečnosti [9] byla v ČR transponována do Vyhlášky číslo 376/2006 Sb. o systému bezpečnosti provozování dráhy a železniční dopravy a postupech při vzniku mimořádných událostí na drahách [11]. Systém řízení bezpečnosti má dle této Vyhlášky povinnost zavádět pouze provozovatel dráhy, respektuje pouze systém za normálních podmínek a při tzv. mimořádných událostech. Mimořádné události se ohlašují Drážnímu úřadu, který události vyšetřuje a je-li potřeba, navrhuje bezpečnostní opatření [12].

Drážní průmysl není vždy povinen, ale je konkurenčním prostředím stimulován k zavedení drážního standardu IRIS (ISO/TS 22163) [13], který je integrován do stávajícího systému řízení. IRIS rozšiřuje požadavky systému řízení jakosti (dle ISO 9001 [14]) s důrazem na kvalitu a bezpečnost vyvíjených a instalovaných systémů v jejich celém životním cyklu, tj. mimo jiné implementuje požadavky EN 50126 pro prokázání bezporuchovosti, dostupnosti, udržitelnosti a bezpečnosti systému (RAMS) [15], zavádí pojem integrity bezpečnosti a stupeň integrity bezpečnosti (dále jen SIL – Safety Integrity Level), kterou stanovuje provozovatel dráhy dle vlastního posouzení. Principy funkční bezpečnosti jsou dále rozšířené normou EN 50129 [16] pro bezpečnostně relevantní systémy (zabezpečovací zařízení) a EN 50128 [17] pro jakýkoliv software aplikovaný na drahách, mimo jiné také definují strukturu dokumentu zvaného Důkaz bezpečnosti (Safety Case). Uvedené evropské normy jsou založené na funkční bezpečnosti dle IEC 61508 [18]. Bližší informace o požadavcích

uvedených standardů jsou uvedeny v práci [6], o legislativě pro řízení bezpečnosti v dopravě a na drahách v práci [12].

Jelikož dle údajů v pracích [5,7] existuje v praxi několik způsobů řízení rizik, je třeba si vždy uvědomit jejich cíl; existuje řízení rizik zacílené na spolehlivost i řízení rizik zacílené na bezpečnost, a to buď provozní, anebo integrální. Práce [19] ukázala, že bezpečnost v rámci RAMS se opírá o veličinu SIL, která se vztahuje k provozní bezpečnosti, tj. ne k celkové (integrální) bezpečnosti systému, která odpovídá konceptu OSN [4]; provozní bezpečnost systému je zajištěná řízením rizik zacíleným na spolehlivost celého systému [5]. Pro podporu systému řízení bezpečnosti je třeba v případě aplikace RAMS dle údajů shrnutých v práci [19], zpracovat řadu podpůrných nástrojů jako jsou: bezpečnostní plány, vnitřní a vnější nouzové plány, plány kontinuity a krizové plány. V praxi se velmi osvědčily plány řízení prioritních rizik zacílené na bezpečnosti (nebo identifikovaných v souladu s přístupy All-Hazard-Approach a Defence-In-Depth).

4. Posouzení shody drážní legislativy s nároky na řízení integrální bezpečnosti

Posouzení shody je provedeno srovnáním požadavků na integrální bezpečnost technických děl [5,7] s požadavky výše uvedené legislativy na provoz železnice je podrobně uvedeno v práci [20]. Výsledkem deduktivních a induktivních analýz [12,20-22] základních požadavků na řízení bezpečnosti objektu kritické infrastruktury na drahách je identifikace několika viditelných mezer v současné praxi:

- není řádně zavedeno proaktivní vrcholové řízení s přístupem k integrálnímu riziku;
- chybí mezioborová komunikace a vazba mezi jednotlivými vrstvami řízení bezpečnosti;
- požadavky na bezpečnost nejsou řešeny komplexně; nejsou identifikována všechna rizika;
- ve všech vrstvách řízení bezpečnosti chybí koncept All-Hazard-Approach a Defence-In-Depth pro kritické objekty;
- přístup k bezpečnosti a zabezpečení je v české i evropské legislativě pojat odděleně a neřeší vzájemné závislosti, které mohou ovlivnit bezpečnost;
- drážní předpisy a normy dostatečně neřeší zabezpečení drážních zařízení;
- neuvažují se vazby a toky za hranicemi systému.

Z pohledu ochrany lidí ve veřejném zájmu je možno konstatovat, že otázky integrální bezpečnosti jsou ponechány pouze na subjektivní přístup drážního průmyslu, provozovatele a schvalovatele bezpečnosti. Uvedený subjektivní a oddělený přístup nemusí analyzovat veškerá rizika a je oborově závislý, tedy nevidí systém jako součást širšího systému tj. SoS.

5. Data o haváriích a metody jejich zpracování

Jak bylo řečeno v předchozím odstavci, když chceme řídit dopravní systém s cílem zajistit jeho bezpečí a rozvoj, tak musíme znát prioritní aspekty, na nichž závisí dosažení cíle a na které musíme soustředit pozornost, tj. opatření a činnosti. Na základě analýzy systému železniční dopravy jsou jeho kritická místa následující: liniové stavby; objekty (budovy, stanice, depa a dílny, mosty, tunely, traťové distance, napájecí a čerpací stanice); zařízení; systémy řízení (informační a komunikační systém, pravidla provozu apod.). Z širokého spektra problémů systému železniční dopravy se práce soustřeďuje na dopravní nehody, které poškozují liniové stavby, objekty, zařízení i lidé a ostatní aktiva v jejich okolí. Výzkum se zaměřil jak na dopravní nehody vcelku, tak speciálně na dopravní nehody spojené s

přítomností nebezpečných látek. Pro výzkum dopravních nehod byla sestavena specifická databáze dopravních nehod na železnicích [23] pomocí:

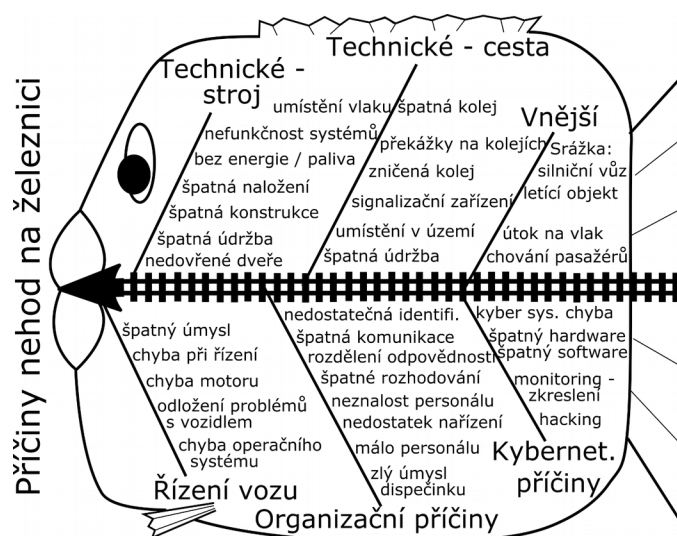
- údajů Drážního úřadu z let 2006 – 2015 [24]. Soubor údajů obsahuje 204 podrobných zpráv o dopravních nehodách v České republice a o ztrátách, škodách a újmách, které při nich vznikly,
- údajů o nehodách na železnicích ve světě od r. 1815 [24-29]. Předmětné údaje byly zváženy z důvodu bezpečnosti železniční dopravy v ČR, protože odborníkům je známo, že velké pohromy se vyskytují nepravidelně a zřídka.

Data v databázi byla zpracována, jak běžnými statistickými metodami, tak speciálními postupy inženýrských disciplín, které pracují s riziky, rozdělení do kategorií podle příčiny nehod a určení logických propojení mezi zdroji nehod, zobrazení pomocí diagramu rybí kost [30]. Databáze dopravních nehod s přítomností nebezpečných látek v letech 1815-2017 je v práci v práci [31]. Její údaje byly podrobeny kritické analýze a byly roztříděny podle místa vzniku, charakteru nebezpečné látky a specifických dopadů na veřejná aktiva.

6. Výsledky výzkumu

Výsledky spojené s posouzením, jak požadavky současné legislativy respektují současné poznání, které preferuje integrální bezpečnost, již byly z logických důvodů uvedeny v odstavci 4. Dále jsou uvedeny výsledky studia dopravních nehod, přičemž jsou speciálně uvedeny výsledky dopravních nehod s přítomností nebezpečných látek, protože jejich důsledky jsou zpravidla velmi závažné. Analýza údajů v databázi [23] ukazuje, že příčinou každé dopravní nehody je zpravidla kombinace několika faktorů. Na základě posouzení potenciálu působení jednotlivých pohrom náležících do souboru pohrom [6], na provoz na železnici a analýzy havárií na železnici ve světě, a na vyhodnocení údajů ve výše citované databázi dopravních nehod na železnici v České republice, jsou hlavní příčiny vzniku dopravních nehod a skoro-nehod v provozu drah následující: Technické – spojené s dopravním prostředkem – lokomotiva, vagony; Technické – spojené s dráhou a nádražím; Řízení drážního provozu – organizační příčiny; Řízení drážního provozu – kybernetické příčiny; Ovládání drážních vozidel; Útok na vlak; Legislativní a Jiné. Detailní popis jednotlivých kategorií je uveden v práci [32]. Diagram rybí kosti (Fishbone diagram) zobrazující základní kategorie příčin dopravních nehod vlaků je uveden na obrázku 1.

Analýzy a posouzení dopravních nehod s přítomností nebezpečných látek na pozemních komunikacích [35] ukazují, že k nehodám dochází i tehdy, když strojvedoucí dodržují dopravní předpisy. Na jejich vzniku se podílí: stav vozidla, stav komunikace, způsob řízení přepravy na komunikaci, technická závada na vozidle, meteorologické podmínky, jiné vozidlo, chodec nebo zvíře a řidič vozidla. Předmětné dopravní nehody na železnicích se udály většinou na nádražích, kde je třeba očekávat velký problém v případě velké nehody, která zasáhne okolí nádraží, protože nejsou připraveny plány odezvy a v přilehlých objektech s velkým počtem lidí není plán evakuace.



Obr. 1 Příčiny dopravních nehod na železnici v ČR

7. Závěr

Výše uvedené výsledky posuzující shodu mezi požadavky formulovanými OSN v roce 1994 [4] na bezpečnost a opatřeními použitými v řízení systému železniční dopravy ukazují, že současná legislativa nevyžaduje všechna opatření a činnosti, které jsou potřebné pro bezpečný systém železniční dopravy podle současné úrovně poznání. Je to způsobeno tím, že základní přístup RAMS, používaný pro zajištění bezpečnosti na železnici, se opírá o veličinu SIL, která se vztahuje k provozní bezpečnosti, tj. ne k celkové (integrální) bezpečnosti systému, která odpovídá konceptu OSN [4]. To znamená velký prostor pro zlepšování legislativy, aby se dosáhlo zlepšení reálného stavu.

Lze také konstatovat, že na úrovni provozovatelů jsou požadavky řízení bezpečnosti často v krátkodobém a střednědobém horizontu v rozporu s jejich primárními cíli, protože se zaměřují především na zisky. S ohledem na dlouhodobý rozvoj, tj. i zachování konkurenceschopnosti v čase, se dnes ve velké míře zavádí systémy řízení rizik, orientované na prevenci ztrát na zisku. V důležitých oblastech je proto nutné, aby stát vynutil řízení rizik orientovat na prevenci ztrát na veřejných aktivech (životy a zdraví lidí, majetku, životního prostředí, veřejného blaha, infrastruktury a jiné) [2,5,7], a proto prosadil do praxe právní předpisy, které ukládají zvažování určitých rizik a příslušné vypořádání jistých rizik.

Kritická analýza železničních nehod ukázala, že některé příčiny nehod se často opakují, například nedostatečná údržba, nízká kvalita oprav a modernizace. Jejich společnou kořenovou příčinou je nedostatečná kultura bezpečnosti v celém sektoru a nedostatečný výcvik. Pro zvýšení bezpečnosti přepravy nebezpečných látek je třeba zpracovat českou legislativu, která bude respektovat principy řízení rizik ve prospěch bezpečnosti, která je ve veřejném zájmu. Je třeba přesně stanovit odpovědnost veřejné správy za dohled nad bezpečností dopravy, protože jako správce státu musí zabezpečit ochranu veřejných aktiv a základní funkce státu. Je pochopitelně nutné zajistit, aby všichni účastníci dopravy, a zvláště přepravci nebezpečných látek dbali na bezpečnost v integrálním smyslu. Proto stát musí zajistit kvalitní dopravní výchovu, kvalitní vzdělávání aktivních účastníků a zajistit dohled nad dodržováním pravidel provozu na železnicích. Jelikož na železnicích jsou kritická místa

[19,20,31], tak hlavně pro přepravu nebezpečných látek je třeba zpracovat: plán řízení rizik pro případ dopravní nehody s nebezpečnou látkou; evakuační plán; a popř. krizový plán.

Literatura

- [1] PROCHÁZKA, J., PROCHÁZKOVÁ, D. Criticality of transportation infrastructure in Czech Republic. IRICoN 2016. Acta Polytechnica CTU Proceedings. ISBN: 978-80-01-06022-3.
- [2] PROCHÁZKOVÁ, D. Analýza a řízení rizik. Praha: ČVUT 2011, ISBN: 978-80-01-04841-2
- [3] PROCHÁZKOVÁ, D. Strategické řízení bezpečnosti území a organizace. Praha: ČVUT 2011, 483p. ISBN: 978-80-01-04844-3.
- [4] UN. Human Development Report. New York 1994, www.un.org.
- [5] PROCHÁZKOVÁ, D. Zásady řízení rizik složitých technologických zařízení. Praha: ČVUT 2017, 364p. ISBN: 978-80-01-06180-0, e-ISBN: 78-80-01-06182-4. <http://hdl.handle.net/10467/72582>
- [6] PROCHÁZKOVÁ, D. Study of Disasters and Disaster Management. Praha: ČVUT 2013, ISBN: 978-80-01-05246-4, 202p.
- [7] PROCHÁZKOVÁ, D. Bezpečnost složitých technologických systémů. ISBN: 978-80-01-05771-1. Praha: ČVUT 2015, 208p
- [8] OECD. Guidance on Safety Performance Indicators. Guidance for Industry, Public Authorities and Communities for developing SPI Programmes related to Chemical Accident Prevention, Preparedness and Response. OECD, Paris 2002, 191p.
- [9] ČR. Směrnice Evropského Parlamentu a Rady 2004/49/ES ze dne 29. dubna 2004: o bezpečnosti železnic Společenství a o změně směrnice Rady 95/18/ES o vydávání licencí železničním podnikům a směrnice 2001/14/ES o přidělování kapacity železniční infrastruktury, zpoplatnění železniční infrastruktury a o vydávání osvědčení o bezpečnosti. In: Úř. věst. L 220. 2004. http://www.dicr.cz/uploads/dokumenty/2004_49.pdf
- [10] ČR. Nařízení Komise (ES) č. 402/2009 ze dne 30. dubna 2013: o společné bezpečnostní metodě pro hodnocení a posuzování rizik a o zrušení nařízení (ES) č. 352/2009. In: Úřední věstník Evropské unie. 2013. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/cs/TXT/?uri=CELEX:32013R0402>
- [11] ČR. Vyhláška číslo 376/2006 Sb. o systému bezpečnosti provozování dráhy a železniční dopravy a postupech při vzniku mimořádných událostí na dráhách. <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2006-376>
- [12] KERTIS, T. Porovnání přístupů pro řízení bezpečnosti v dopravě. Rizika podnikových procesů 2016. Děčín. Praha: ČVUT 2016, s. 34-59. ISBN 978-80-01-06033-9.
- [13] ISO. ISO/TS 22163:2017 Railway applications — Quality management system — Business management system requirements for rail organizations: ISO 9001:2015 and particular requirements for application in the rail sector, geneva: ISO 2017
- [14] ČR. ČSN EN ISO 9001:2016 (010321). Systémy managementu kvality – Požadavky. Praha: ÚNMZ, 2016.
- [15] ČR. ČSN EN 50126-1 (333502). Drážní zařízení - Stanovení a prokázání bezporuchovosti, pohotovosti, udržovatelnosti a bezpečnosti (RAMS): Část 1: Základní požadavky a generický proces. Praha: Český normalizační institut, 2001.
- [16] ČR. ČSN EN 50129 (34 2680). Drážní zařízení – Sdělovací a zabezpečovací systémy a systémy zpracování dat – Software pro drážní řídicí a ochranné systémy. Praha: ÚNMZ, 2012.
- [17] ČR. ČSN EN 50128 (342680). Drážní zařízení - Sdělovací a zabezpečovací systémy a systémy zpracování dat - Software pro drážní řídicí a ochranné systémy. Praha: ČNI, 2002.
- [18] ČR. ČSN EN 61508-1 ed. 2 (180301). Funkční bezpečnost elektrických/elektronických/programovatelných elektronických systémů souvisejících s bezpečností – Část 1: Všeobecné požadavky. Praha: ÚNMZ, 2005.

- [19] PROCHÁZKOVÁ, D. Analýza, řízení a vypořádání rizik spojených s technickými díly. Praha: ČVUT 2018, 222p. ISBN: 978-80-01-06480-1.
- [20] KERTIS, T., PROCHÁZKOVÁ, D. Judgement of Conformity Level of Legislation with the Normative for Ensuring the Safety of Railway Systems from the Perspective of Integral Safety. In: ExFoS 2017 - Expert Forensic Science 2017. Brno: VUT 2017, pp. 366-372. ISBN: 978-80-214-5459-0.
- [21] KERTIS, Tomáš. Snížení kritičnosti objektů kritické infrastruktury v drážním prostředí. In: Bezpečnost v regionech. Praha: VŠRR, 2015, s. 6.
<http://www.bezpecnostnimanagementvregionech.cz/12016/snizeni-kriticnosti-objektu-kriticke-infrastruktury-v-draznim-prostredi>
- [22] KERTIS, T.: Introduction of Modern Approaches of Ensuring Safety into Business Processes in Railway Industry. Vybraná rizika podnikových procesů 2015. Praha: ČVUT 2015, pp. 26-38, ISBN 978-80-01-05831-2.
- [23] ČVUT. Archiv pohrom, havárií, selhání a jejich dopadů. Praha: ČVUT 2018.
- [24] DRÁŽNÍ INSPEKCE ČR. Archiv. www.dicr.cz
- [25] Google [online]. [cit. 2018-08-30]. www.google.com
- [26] Railway Technology [online]. London: Verdict Media Limited, 2018 [cit. 2018-08-30]. www.railway-technology.com
- [27] Revolvy [online]. Kansas City: Revolvy, 2018 [cit. 2018-08-30]. www.revolvy.com
- [28] International Civil Defence Organisation [online]. Geneva: ICDO, 2018 [cit. 2018-08-30]. www.icdo.org
- [29] S DOT. Railway accident reports. Dostupné z: <http://specialcollection.dot.library.dot.gov>
- [30] PROCHÁZKOVÁ, D. Metody, nástroje a techniky pro rizikové inženýrství. Praha: ČVUT 2011, 369p. ISBN: 978-80-01-04842-9
- [31] PROCHÁZKOVÁ, D., PROCHÁZKA, J., PATÁKOVÁ, H., PROCHÁZKA, Z., STRYMPLOVÁ, V. Kritické vyhodnocení přepravy nebezpečných látek po pozemních komunikacích v ČR. ISBN 978-80-01-05599-1. Praha: ČVUT 2014, 150p
- [32] KERTIS, T., PROCHÁZKOVÁ, D. Railway accidents in the Czech Republic, causes of risks and their mitigation. In.: Safety and Reliability – Theory and Applications. ESREL 2017. Portoroz. London: Taylor & Francis. 2017, s. 1667-1673. ISBN 978-1-138-62937-0.

Návaznost na výzkumné projekty: EU „FOCUS - Foresight Security Scenarios – Mapping Research to a Comprehensive Approach to Exogenous EU Roles“; grant ČVUT „OHK2-003/15, Řízení bezpečnosti a ochrana kritických objektů a kritických infrastruktur“; a projekt MŠMT „RIRIZIBE CZ.02.2.69/0.0/0.0/16 _018/000“. Autoři děkují všem zadavatelům uvedených projektů za vytvoření podmínek, které jim umožnily odbornou práci.

Merging Bayesian Networks based on different types of input knowledge

Miroslav Vanišⁱ

Abstrakt: Jedním z vhodných nástrojů pro analýzu nehodových dat jsou Bayesovské sítě. Vhodně navržená Bayesovská síť je prvním předpokladem pro získání kvalitních výsledků. Za tímto účelem je možné využít dva typy zdrojů. Prvním z nich jsou informace získané z naměřených historických dat a dále z expertních znalostí. Tyto znalosti mohou obsahovat všeobecná pravidla či dopravní předpisy. Při tvorbě Bayesovských sítí se většinou používá pouze jeden z těchto zdrojů. Ve chvíli, kdy je Bayesovská síť navržena, může být tato síť ohodnocena na základě likelihoodů či predikční chyby. Cílem tohoto článku je ukázat, že pokud jsou vytvořeny dvě Bayesovské sítě, jedna z dat a druhá z expertních znalostí, mohou být spojeny do jedné, která bude obsahovat jak objektivní informace z dat, tak subjektivní názor experta a tato síť bude mít lepší ohodnocení než předcházející.

Klíčová slova: Bayesovské sítě, expertní znalosti, znalosti z dat, spojování struktury Bayesovských sítí, evaluační metody

Abstract: Bayesian networks are one of the most suitable tools for traffic accident data analysis. A well-designed and trained Bayesian network is the first assumption for obtaining good results. Two sources of information can be used for this purpose. They are information extracted from measured historical data and also information specified by an expert. The latter one can also involve some generally known rules or knowledge based on traffic regulations or safety rules. Mostly, only one of these sources of information is used. After training the network can be evaluated with standard methods based on likelihood or prediction error evaluation. The goal of this paper is to show that if two Bayesian networks are created, e.g. one from the data and second from the expert knowledge, they can be merged into one which joins the objective information from data with the subjective opinion from expert and which has better evaluation than the original ones.

Keywords: Bayesian networks, expert and data knowledge, merging network structures, evaluation methods

1. Introduction

The task of data analysis of traffic accidents severity is nowadays requested and important because consequences of these accidents unfortunately may lead to serious injuries or deaths. If the reason of a traffic accident is known, it is easier to prevent the traffic accidents with some arrangements. It often happens that the traffic accident occurs not only because of a single reason but because of a combination of several reasons. Bayesian networks are very useful tool to find out these reason combinations. They represent not only a model of the data studied but they also provide reduction of dimensionality of the model, which is very important.

Bayesian networks are models which consist of network structure and parameters. The parameters correspond to the chosen network structure. They specify a relation between input

ⁱ Ing. Miroslav Vaniš, ČVUT FD, Ústav dopravní telematiky, Konviktská 20, 110 00 Praha 1, vanismir@fd.cvut.cz

and output variables of each node. Not every selection of input variables is suitable for modeling the output of a node. Hence, it happens that one Bayesian network is good to describe the problem in study and second one is not.

Bayesian networks can be created in two ways. An algorithm can be used to find the network structure from the data. However, the data are limited, so expert knowledge can be of use. An expert can look at the problem in a different view and he determines his own network structure.

The two main questions arise:

- Is it possible to compare these two network structures and say which is better?
- Is it possible to merge these two network structures and create better one?

The meaning of the word “better” will be explained later in the paper.

The goal of this paper is to answer these two questions.

2. State of the art

A typical use of Bayesian network in traffic accident data analysis can be found in [1]. Here the authors work with several variables (terrain, accident type etc.) to find number of injuries and property damage on Ethiopian roads. A network structure is created via K2 Hill Climbing algorithm and the results from this network are discussed.

Bayesian networks are also used in [2] and [3] to find out causes of traffic accidents. The authors analyze data from Spanish rural highways. They make six domains which contain various variables based on selection methods. Then, more than 50 Bayesian networks are created for each domain and after that, these networks are evaluated using performance criteria. They obtain many different results based on selected networks. The problem is the number of different networks for the conclusions. It can happen that the results from one network can deny the results from the other one.

In the above papers the authors do not use any expert information to create Bayesian networks. The goal of the presented paper is to show that there is a possibility to make a new network, merged from data and expert networks, with better evaluation in order to make more accurate results about the causes of traffic accident.

3. Methods

3.1. Bayesian networks

Bayesian networks are models that efficiently encode the joint probability distribution for a large set of mostly discrete variables $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ into graph. Bayesian networks consist of a network structure that is caused by conditional independence of variables in X, and a set of conditional probability tables (CPT) which contain local probability distributions associated with each variable in X. The nodes in BN are in one-to-one correspondence with the variables from X and the edges represent the relations between two particular variables [4],[5].

Bayesian networks factorize the joint probability distribution

$$\begin{aligned} f(x_1, x_2, \dots, x_n, \theta) &= f(x_1 | \text{Pa}(x_1), \theta) \cdot f(x_2 | \text{Pa}(x_2), \theta) \cdot \dots \cdot f(x_n | \text{Pa}(x_n), \theta) \\ &= \prod_{i=1}^n f(x_i | \text{Pa}(x_i), \theta), \end{aligned}$$

where $\text{Pa}(x)$ denotes the parents of variable x . This factorization defines network structure of Bayesian network.

There are many algorithms for determining network structure, more information about Bayesian search algorithm used in this paper is in [7]. There also exist algorithms for computing CPTs, here used EM is described in [8].

Bayesian network theory is very comprehensive, more information can be found e.g. in [4] [6].

3.2. Evaluation methods

These evaluation methods allow us to measure a quality (score) of not only the whole Bayesian network but also the quality of particular nodes. We also introduce the word “better” in terms of Bayesian network. If we say that the one Bayesian network is better than another one, it means that the first Bayesian network has lower overall prediction error than another one. The prediction error is defined below.

Now we describe two approaches of evaluating Bayesian networks.

3.2.1. Likelihood

Likelihood of a variable x is defined as a function of parameters θ which correspond to CPTs $f(x_t | \theta)$

$$L(\theta | x) = \prod_{t=1}^N f(x_t | \theta), \quad (1)$$

The likelihood-based evaluation is a product of a probability functions given data. The x_t the t -th data record and N is number of data records. The problem of this approach lies in the fact that values of likelihood converge to zero. Therefore log-likelihoods are used to prevent these problems. We rewrite equation (1) using logarithms

$$\log(L(\theta | x)) = \log\left(\prod_{t=1}^N f(x_t | \theta)\right) = \sum_{t=1}^N \log f(x_t | \theta), \quad (2)$$

Equation (2) is further employed as a likelihood evaluation of Bayesian network.

3.2.2. Prediction error

We define prediction as the estimate of an unknown variable in the given data. We can also use term classification, it has the same meaning here. The difference between estimation and real value of a variable is called prediction error,

$$PE(x) = \sum_{t=1}^N |x_t - \hat{x}_t|, \quad (3)$$

where x_t denotes the t -th data record, N is number of data records and \hat{x}_t is the predicted value of variable x .

The predicted value \hat{x} can be selected differently. We use the mean value

$$\hat{x}_t = \sum_{i=0}^k v_i f(x_t | \text{Pa}(x_t)), \quad (4)$$

where k denotes the number of values of variable x , v_i is particular value of x and $\text{Pa}(x_t)$ denotes the parents of variable x .

If we connect the equations (3) and (4) we obtain

$$PE(x) = \sum_{t=1}^N \left| x_t - \sum_{i=0}^k v_i f(x_t | \text{Pa}(x_t)) \right|, \quad (5).$$

Equation (5) is further used as a prediction evaluation of Bayesian network.

4. Data

To demonstrate the results of the presented theory, we use real data sample. The data sample used for analysis was measured in 2012 in Prague, Czech Republic. The following six variables will be used:

- RV – road visibility (with 3 states),
- RSC – road surface condition (with 4 states),
- AL – alcohol (3 states),
- AT – accident type (3 states),
- AC – accident causes (4 states),

and the sixth variable represents an accident severity (AS) and is given by:

$$AS = a \cdot 433 + b \cdot 4867,7 + c \cdot 19440 + d$$

where a is a number of minor injuries, b is a number of serious injuries, c is number of deaths and d is a material damage connected with the accident. The variable AS is divided to three intervals representing very light accident, light accident and serious accident.

We will work in GeNIe 2.2. Academic, software for Bayesian networks, which is for scientific purposes free.

5. Results

We state the problem as follows: Specify variables and the combination of their values that cause serious traffic accidents? In terms of Bayesian network, we set the output variable as accident severity. Other variables can be either input variables or output variables based on network structure determination and specific node.

We have said that Bayesian networks can be created in two main ways, by an expert or some algorithm. Let us demonstrate the situation in the example. Let the expert determines network structure depicted in Figure 2. He has only one limitation that the bottom node (output node) must be accident severity.

The second Bayesian network is created by a Bayesian search algorithm [7]. The parameters of the algorithm are set as follows: iterations: 100, discrete threshold: 20, sample size: 50, K-Fold: 100, class variable: Accident severity. For more information about Bayesian search algorithm, see [7]. The class variable guarantees that the node has no outputs. The resulting structure is depicted in Figure 1.

We can see that the node AS does not depend on the nodes RSC, RV and AT in the algorithm structure. In the expert structure the node AS depends on the all other nodes. This is the next good reason for merging the networks. The expert claims that all variables depend on the node AS but algorithm's results some variables quantify as independent.

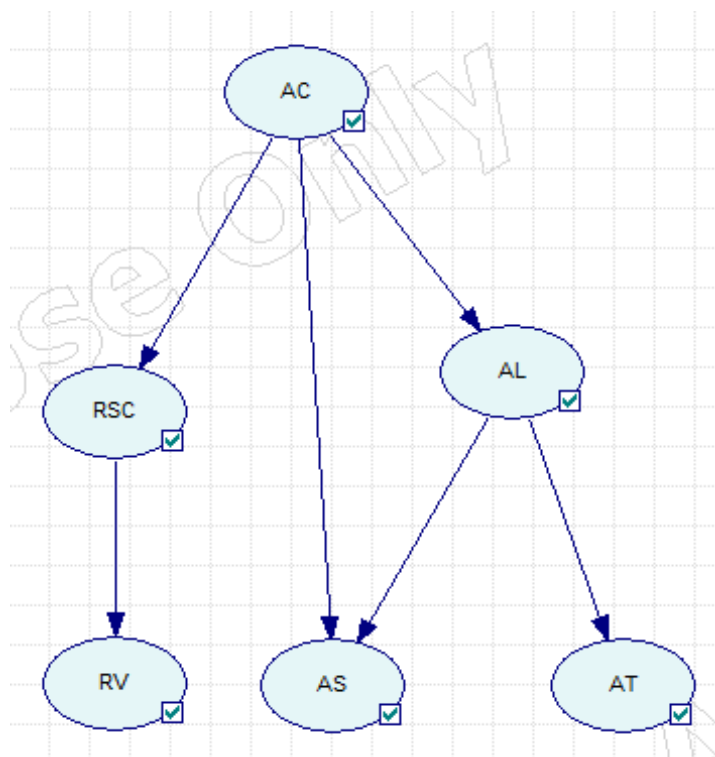


Fig. 1 Bayesian network created by Bayesian search algorithm

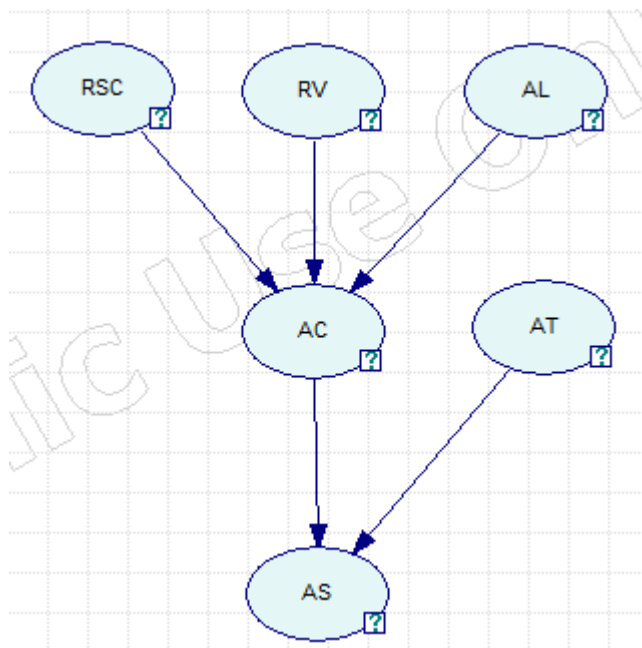


Fig. 2 Bayesian network created by an expert

We have introduced two evaluation methods and the results for the algorithm structure in Figure 1 are in Table 1 and the results for the expert structure in Figure 2 are in Table 2.

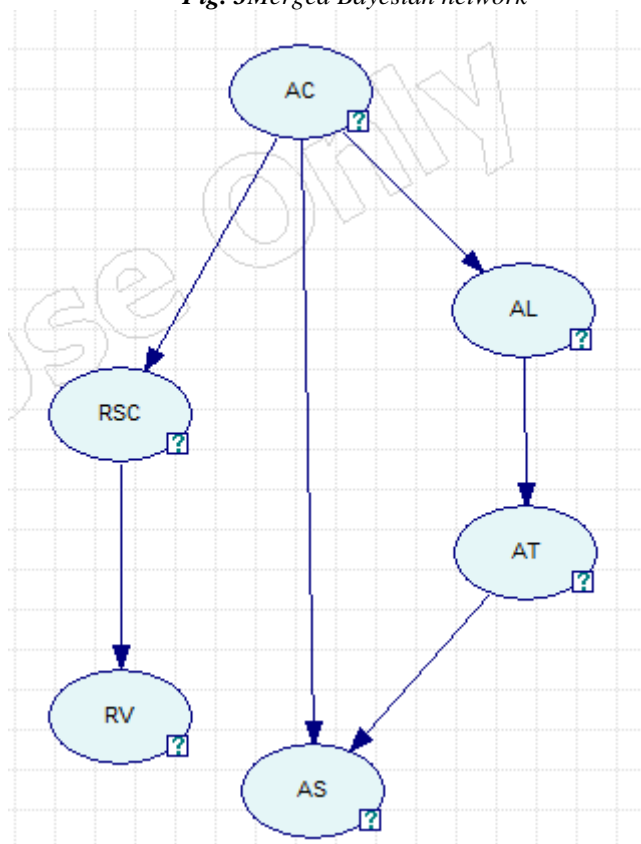
Tab. 1 Evaluation results for BN_1 – determined by algorithm

	Likelihoods	Prediction errors
Accident causes	-3667.27	847.81
Road surface condition	-2313.33	447.37
Road visibility	-742.25	244.73
Alcohol	-2358.65	698.82
Accident severity	-1949.66	611.54
Accident type	-4022.01	794.67
Overall	-15053.18	3644.94

Tab. 2 Evaluation results for BN_2 – determined by expert

	Likelihoods	Prediction errors
Accident causes	-3157.99	794.96
Road surface condition	-2526.68	512.46
Road visibility	-1368.85	377.25
Alcohol	-2638.19	764.20
Accident severity	-1848.73	579.91
Accident type	-4607.11	898.55
Overall	-16147.50	3927.33

Fig. 3 Merged Bayesian network



Tab. 3 Evaluation results for BN_3 – merged network

	Likelihoods	Prediction errors
Accident causes	-3667.27	847.81
Road surface condition	-2313.33	447.37
Road visibility	-742.25	244.73
Alcohol	-2358.65	698.82
Accident severity	-1848.73	579.91
Accident type	-4022.01	794.67
Overall	-14952.25	3613.31

As we have said before, one Bayesian network is better than another one, if the first Bayesian network has lower prediction error (or likelihood) than another one. A node in one Bayesian network is also better than the corresponding node in second Bayesian network, if the node has lower prediction error (or likelihood) than another one.

If we look into the tables, we can see that overall evaluation results in Bayesian network created by the algorithm (Table 1, row overall, $L(\theta|x) = -15053.18$, $PE(x) = 3644.94$) are better than overall evaluation results in Bayesian network created by the expert (Table 2, row overall, $L(\theta|x) = -16147.50$, $PE(x) = 3927.33$). If we compare the particular nodes from each network, we can see that some of the nodes have better evaluation in Bayesian network created by the expert than in Bayesian network created by the algorithm (Table 1 and Table 2, rows Accident Causes, Accident severity).

We conclude that the Bayesian networks are AS compared with the overall score. The lower overall score, the better network. The nodes in the Bayesian networks can be also compared. It is the

basis for merging the networks. This is the answer for the first question in introduction “Is it possible to compare Bayesian networks?”.

The evaluation results from Table 1 and Table 2 give a possibility to make another, new network that will include the relations from either Figure 1 or Figure 2. The new network is depicted in Fig. and the evaluation results are in Table 3. The algorithm for merging these two networks will be described as a part of the author’s dissertation thesis. The principle of the merging algorithm is to take the nodes with better evaluation in one network than in the other one. We can see that the evaluation overall results in Table 3 are better than in Table 1 or Table 2.

So, we can also conclude that it makes sense to merge two network structures in order to create the better one.

6. Discussion

From the results presented, it can be seen that the evaluation results of the whole Bayesian network created by algorithm are better than the whole Bayesian network created by expert. The algorithm works with really measured data while the expert has only his experience. However, the experience can be strong in some specific points. So, it often happens that some nodes have better evaluation in Bayesian network created by the expert. If we create a new network combining these two networks (we choose nodes with better evaluation in both network structures), we hope to obtain the network which is better than the original ones. If the evaluation of one network is better in every node, the merged network will be the same as the network better in every node.

Merging the networks brings some difficulties. There are two main problems: conservation of Bayesian network and recalculating CPTs in the nodes. The conservation of Bayesian network means that after using merging algorithm we obtain network which is not acyclic, so it is not Bayesian network anymore. The possibilities of solving this type of problem will be described in dissertation thesis. One solution for the latter problem is to use the EM algorithm to recalculate the CPTs.

7. Conclusion

The submitted paper presents the results of two questions mentioned in introduction. The first one is related to comparison of two Bayesian networks and choosing the better one. Bayesian network with lower evaluation score is considered to be the better one. We have described two options of Bayesian network evaluation and we have shown that the better Bayesian network can also have nodes with worse evaluation in comparison with the nodes in the other network. These results lead to an idea of merging the networks.

We have also confirmed the second question about possibility of merging the networks. We have created two networks, the first one is determined by an algorithm and the other one by an expert. We have evaluated them and found out that the Bayesian network created by an algorithm is better, but we also found that some nodes in expert network have had better evaluation. We have merged these two networks into one, which has had better evaluation results.

This article shows that it is possible to compare Bayesian networks and also to merge them into the one which has better evaluation. The typical usage of this approach is to create one Bayesian network based on data and the second one based on expert knowledge, merge them to make more accurate data analysis.

The algorithm of merging two Bayesian networks is going to be the object of the author dissertation thesis, but the basic principles are described in this article. There are also other problems related to merging the networks, e.g. recalculating CPTs, which could be also the topic of the further research.

References

- [1] BESHAH, Tibebe, et al. Pattern recognition and knowledge discovery from road traffic accident data in Ethiopia: Implications for improving road safety. In: *Information and Communication Technologies (WICT), 2011 World Congress on*. IEEE, 2011. p. 1241-1246.
- [2] MUJALLI, Randa Oqab; DE ONA, Juan. A Method for simplifying the analysis of traffic accidents injury severity on two-lane highways using Bayesian networks. *Journal of safety research*, 2011, 42.5: 317-326.
- [3] DE OÑA, Juan; MUJALLI, Randa Oqab; CALVO, Francisco J. Analysis of traffic accident injury severity on Spanish rural highways using Bayesian networks. *Accident Analysis&Prevention*, 2011, 43.1: 402-411.
- [4] HECKERMAN, David; GEIGER, Dan; CHICKERING, David M. Learning Bayesian networks: The combination of knowledge and statistical data. *Machine learning*, 1995, 20.3: 197-243.
- [5] VANIŠ, Miroslav; URBANIEC, Krzysztof. Employing Bayesian networks and conditional probability functions for determining dependences in road traffic accidents data. In: *Smart City Symposium Prague (SCSP), 2017*. IEEE, 2017. p. 1-5.
- [6] DARWICHE, Adnan. *Modeling and reasoning with Bayesian networks*. Cambridge university press, 2009.
- [7] COOPER, Gregory F.; HERSKOVITS, Edward. A Bayesian method for the induction of probabilistic networks from data. *Machine learning*, 1992, 9.4: 309-347.
- [8] LAURITZEN, Steffen L. The EM algorithm for graphical association models with missing data. *Computational Statistics & Data Analysis*, 1995, 19.2: 191-201.

Implementing Evidence-Based Practice in Initial Pilot Training

Viktor Valentaⁱ

Abstract: *The objective of this study is to explore the need for implementation of evidence-based practice in initial pilot training programs. Such programs are primarily designed to meet regulatory requirements. The training is focused on fulfilling these requirements rather than on acquiring competences. This study evaluates effectiveness of theoretical knowledge instruction, and looks for data that can support evidence-based training. Small scope analyses of training records and test reports have been performed, and several areas where new-hire pilots underperform have been identified. This leads to a conclusion that evidence-based training may facilitate pilot transition from training environment to commercial airline flying. Further research is required before any changes to training syllabi can be made.*

Keywords: *pilot training, competency-based training, evidence-based training, evidence-based*

1. Introduction

Effective pilot training is a prerequisite for safe and smooth operations. However, assessing the degree to which training is successful in producing suitably qualified pilots is challenging. Leoff [1] estimates that “50% of pilots graduating from the current EASA pilot training being assessed by airlines have insufficient competencies for employment.” Kimlickova’s survey of training methods [2] demonstrated that 80% of respondents identified deficiencies in initial training. However, no attempt was made to differentiate between flight instruction and theoretical knowledge instruction. The survey still supports the belief that there is significant room for improvement in theoretical knowledge instruction.

A more comprehensive study is required to identify both weak and strong areas. The following resources may provide constructive information:

- training records;
- theoretical knowledge examination reports;
- flight test reports.

The International Air Transport Association (IATA) is promoting evidence-based training (EBT) in the commercial airline environment. The European Aviation Safety Agency (EASA) currently allows commercial air transport operators to implement mixed EBT in recurrent training programs. In July 2018, a Notice of Proposed Amendment [3] was published by EASA to allow the full implementation of EBT, replacing recurrent training and checking. Further effort will be made by EASA to expand EBT to operator conversion courses and initial type rating courses, by 2021.

ⁱ Ing. Viktor Valenta, Czech Technical University in Prague, Faculty of Transportation Sciences, Department of Air Transport, Horská 3, 128 03 Praha 2, Czech Republic, e-mail: valenvik@fd.cvut.cz

The purpose of this study is to evaluate whether evidence-based practice can be applied to initial pilot training (below Airline Transport Pilot License [ATPL] frozen level).

2. Data sources and analysis

2.1. Theoretical Knowledge Instruction

Neither training organizations nor airlines are required to track the progress of trainees in theoretical knowledge instruction. The only regulatory requirement is to log training attendance. Some training organizations utilize progress checks. However, such checks are usually in a form of quiz questions, and are very similar to theoretical knowledge examinations completed by aviation authorities. Owing to this characteristic, they provide very little information on the progress of trainees.

Carefully assembled tests and oral exams offer much greater potential. Such examinations are usually employed by universities. However, there is no standardized way of reporting exam results.

The industry would benefit from implementing a system for monitoring trainee progress in gaining theoretical knowledge. Such an initiative is, however, beyond the scope of this study.

2.2. Theoretical Knowledge Examination Reports

Very little to no information may be derived from theoretical knowledge examination certificates, as these only indicate a percentage of correctly answered quiz questions randomly selected from a database for each subject. Detailed figures of frequently failed subjects and areas would provide some insight into knowledge deficit.

An aviation authority was requested to provide such data; however, this request was denied as the authority only tracks the total number of exams and only counts for fails or passes.

2.3. Flight Training Records

Flight training records are often very detailed. The form of records varies across training institutions. Traditional grading (for example (E)xcellent, (A)verage, (B)elow standard, (R)epeat) are deemed extremely unreliable, because such grading is highly dependent on individual perceptions. This can be perfectly observed during a type rating course: when a trainee performs the very first engine failure, their performance is usually far from ideal. One instructor may grade such task as E – meaning: “*well flown for the first time*”. Another instructor may grade the very same performance as B – meaning: “*flown below standard of a type rated pilot*”. Traditional grading lacks clear definition and can scarcely be used for statistical purposes.

Plain text remarks must be carefully analyzed. This approach requires the analyst to be thoroughly familiar with the pilot training process. Some remarks such as “*Improve Situational Awareness*” do not present grounds for further analysis. By contrast, other remarks such as “*Review holding pattern entry procedures*” or “*Review rudder trim technique*” instantly point to problematic areas. Deficiencies in previous training can be identified by looking for patterns of similar remarks.

Access to training records presents another area of concern. Several airlines and training organizations have been requested to provide de-identified samples of training records. Because all training records are de-identified, it is impossible to determine the training background of trainees. However, trainee experience can be estimated based on the type of training course or phase of training. Table 1 shows the applicability of different training courses to this study. It may happen that an experienced general aviation flight instructor (more than 500 hours total time) enrolls in a type rating course with more than 10 simulator sessions—however such a career path is rare in Europe and is disregarded by this study. A large scope study is required in order to provide meaningful results, as insufficient numbers of records have been received and analyzed to date.

Tab. 1 Estimated Experience and Applicability

Type of training course or phase	Experience (Total Hours)	Applicable
Instrument Rating	70 – 250	Yes
Instrument time in ATP integrated course	70 – 220	Yes
Type Rating (10 or more simulator sessions)	200 – 500	Yes
Type Rating (less than 10 simulator sessions)	More than 500	No
Operator Conversion Course (LIFUS less than 40 sectors)	More than 500	No
Operator Conversion Course (LIFUS 40 or more sectors)	220 – 700	Yes

2.4. Flight Test Records

Training courses are usually concluded by a flight test (skill test, proficiency check, or line check), and traditional grading is no longer recommended by EASA. A simple Pass or Fail result is shown on the test form, with a further remarks section. Remarks are analyzed using the same systematic approach as remarks from flight training records.

An aviation authority and two airlines have been requested to provide de-identified test records. Table 2 shows the flight test records that are available for review and assessment, and their applicability to this study. However, the aviation authority was unable to provide records. It was expected that the instrument rating skill test and the type rating skill test for initial issue could provide relevant information.

Tab. 2 Flight test availability and applicability to this study.

Type of test	Availability	Applicability
Instrument Rating – initial issue	No	Yes – failed only
Type Rating – initial issue	No	Yes – failed only
Type rating – revalidation or renewal	No	No
Operator Proficiency Check	Yes – failed only	No
Line Check – initial	Yes – failed only	Yes
Line Check – recurrent	Yes – failed only	No

While only less than 1% of all line checks are unsuccessful, a review of failed line check records has been performed with surprising results. A total of 31 failed first officer initial line checks have been assessed, and strong patterns have been discovered. The most common factor contributing to line check fail is “Energy/Descent Path Management” (nearly 50% of fails). This can hardly be mitigated by initial training, because this skill is mostly gained by experience. However, thorough familiarization with this issue may improve trainee threat assessment.

Areas that may be easily influenced by theoretical knowledge instruction are shown in Figure 1. The leading position (over 25 % of fails) “SOP – Knowledge and Adherence” is alarming and should be addressed by previous training.

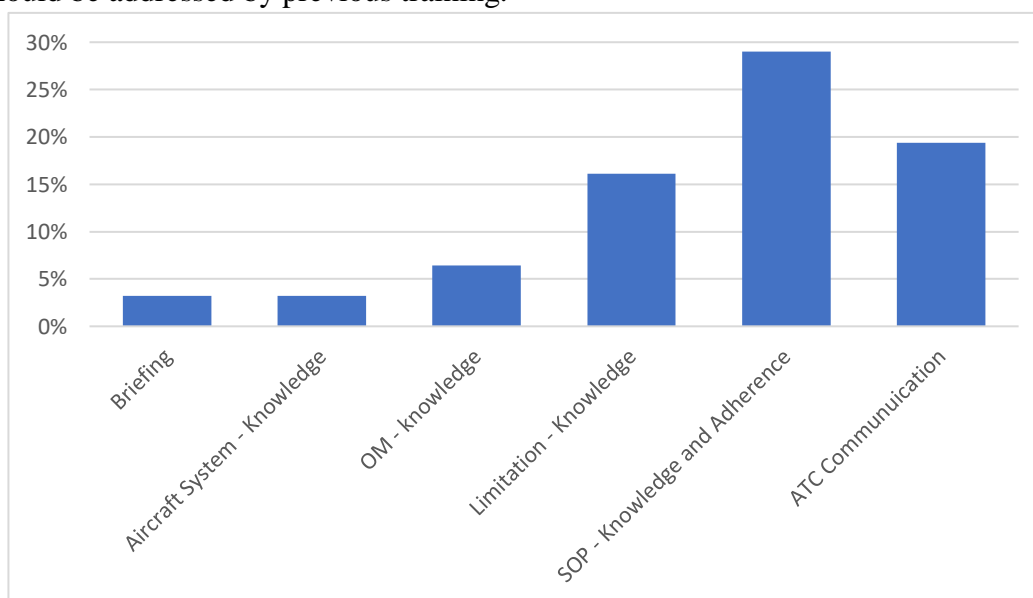


Fig. 1 Percentage of factors contributing to line check failure

3. Training Approach and Methodology

3.1. Competency-Based Training

Competency-based training (CBT) is not a new training philosophy. Whilst the European aviation community faced CBT for the first time in 2006 during implementation of the Multi-Crew Pilot License (MPL), the Australian Civil Aviation Safety Authority introduced the requirement for CBT as early as 1999. Over a decade later, in their groundbreaking analysis of CBT implementation in Australia [4], Todd and Thomas concluded that the competency-based system was still not well developed.

The MPL training program was to be built from scratch with a strong emphasis on CBT. In a survey of experiences with MPL [5] Wikander and Dahlström discovered that the CBT implementation was only a partial success. Surprisingly, many instructors exhibited resistance to the use of CBT. This may be attributed to the general public's view that MPL, and possibly CBT, are meant to reduce training hours—which is in a no way true.

The EASA made no investments in CBT, and did not make any effort to promote its use. Regulatory requirements continue to specify minimum hours to be flown in every training course, and the maximum length of the course. It would be unthinkable to introduce a rating, or a license, based solely on competency. Syllabi are build based on minimum hours requirements. Such requirements are also used to estimate training costs, which is important for both training organizations and trainees. Aviation authorities use hours as an assurance that training has been conducted. However, the minimum hours requirement is in direct contrast to CBT philosophy. Trainee progress should be demonstrated by gaining competencies, not by logging hours.

3.2. Grading System

As indicated above, traditional evaluation is highly subjective. CBT requires a much better tool to measure trainee progress. An evaluation system with clearly defined grades should be established, where each grade represents an observable student behavior, task completion, and the magnitude/level of instructor input [6]. Table 3 presents grade definitions based on instructor input.

Tab. 3 Competency-Based Performance Level Descriptors [6]

Grades	Instructor intervention
Master (5)	Not required, inputs for optimization welcome
Consolidate (4)	Coaching triggers, quick correction of minor errors
Practice (3)	Assistance temporary required
Apply (2)	Active instruction
Describe (1)	Demonstration and active instruction

These grades may appear similar to the Learner Centered Grading introduced by the FAA Industry Training Standards (FITS), which was successfully implemented by many flight schools across the United States.

Traditionally, maneuvers or tasks are graded. Using CBT, grading is focused on measuring the extent that competencies are applied by the trainee. Implementing a grading system in a truly CBT environment is much more challenging. Instructors may be required to grade the application of competencies for completion of each individual task. This approach produces an overwhelming number of grades during each training event, and places an increased workload on the instructor. However, it may be used to precisely track trainee progress, especially during MPL or type rating courses. Alternatively, the application of competencies may be measured throughout the entire training event. This approach may be particularly useful for line flying under supervision. Currently, there is no harmonized grading system, and training organizations develop their own systems. Additionally, both concepts (CBT and learner centered grading) are new to European instructors.

A successfully implemented CBT and grading system is a great asset in pilot training. Instructors can objectively record trainee performance and provide focused training. Such a system is also a comprehensive statistical tool, which allows a training organization to easily identify problematic areas, and adjust training accordingly.”

4. Conclusion

It is clear that constant effort has to be made to provide effective training. This study demonstrates that the effectiveness of initial pilot training can be evaluated, by reviewing training and test records from type rating and operator conversion courses. Although traditional grading systems cannot be used to gain any information, a careful analysis of training remarks does provide sufficient evidence. A shift towards competency-based training and evaluation will provide more options for the collection of suitable data. Currently, insufficient data is collected during theoretical knowledge instruction, whereas detailed statistics on failed subjects (ideally linked to learning objectives) in a theoretical knowledge examination would provide grounds for further analysis. Thus, additional efforts may be made to monitor trainee progress in theoretical knowledge instruction.

The findings of this study suggest that it is possible to gather sufficient data to support the use of evidence-based practice in initial pilot training. However, a prompt transition to fully evidence-based initial pilot training is highly unlikely. Implementing competency-based training should be the first step. However, collecting and evaluating evidence may serve to adjust syllabi and re-arrange training hours, while still meeting current regulatory requirements.

Acknowledgment

This study was supported by the Grant Agency of the Czech Technical University in Prague, grant No. SGS17/155/OHK2/2T/16.

References

- [1] T. Leoff, "Strategic Option for Pilot Training Innovation," in *Workshop on Area 100 Knowledge, Skills & Attitudes: theoretical knowledge courses for the ATPL, MPL and CPL*, Köln, 2018.
- [2] P. Kalavsky, R. Rozenberg, L. Socha, V. Socha, J. Gazda and M. Kimlickova, "Methodology of Pilot Performance Measurements," *Magazine of Aviation Development*, vol. 5, no. 2, pp. 25-30, 2017.
- [3] EASA, "Update of ORO.FC - evidence-based training subtask," 2018.
- [4] M. A. Todd and J. W. M. Thomas, "Experience, Competence, or Syllabus? Influences on Flight Hours at Licensing of Commercial Pilots," *International Journal Of Aviation Psychology*, vol. 23, no. 2, pp. 169-180, 2013.
- [5] R. Wikander and N. Dahlström, "The Multi-crew Pilot License Part II: The MPL Data - Capturing the Experience," Lund University School of Aviation, Ljungbyhed, 2016.
- [6] D. Harms, "The Competency-Based Approach - A Quantum Leap in Pilot Training," in *World Airline Pilot Conference*, Orlando, 2015.

Weather Forecast in Prague Using Different Prediction Models

Iveta Kameníkováⁱ, Jakub Kordošⁱⁱ, David Hůlekⁱⁱⁱ

Abstrakt: Předmětem práce, která vychází z bakalářské práce, je předpovídání počasí na území Letiště Václava Havla v Praze. Práce popisuje, jak fungují moderní předpovědi počasí. Téměř půlroku byly zaznamenávány konkrétní jednodenní předpovědi jednotlivých meteorologických prvků. Veškeré předpovědi byly odebrány z veřejně dostupných zdrojů. Praktická část se zaměřuje na vytvoření důvěryhodné statistiky z dat o skutečných předpovědích jednotlivých modelů a následného zhodnocení jejich přesnosti, stability a vzájemné závislosti. Na základě statistických výpočtů byly jednotlivé metody hodnoceny. Na základě výsledků lze doporučit konkrétní numerický model jak pro civilní, tak letecké uživatele.

Klíčová slova: předpověď počasí, meteorologická předpověď, predikční model, numerický model, meteorologický prvek

Abstract: The subject of this paper, which is based on a bachelor thesis, is the weather forecast at Václav Havel Airport, Prague. The paper describes how modern weather forecasts work. For almost half a year, there were recorded specific daytime predictions of individual meteorological elements. All forecasts have been taken from publicly available resources. The practical part focuses on the creation of reliable statistics from data that are based on real predictions of individual models and the following evaluation of their accuracy, stability and interdependence. Based on statistical calculations, the each method was evaluated by comparing with the other. Based on the results, it is possible to recommend specific numerical models for civil and aviation users.

Keywords: weather forecast, meteorological prognosis, prediction model, numerical model, meteorological element

1. Introduction

Meteorological conditions are one of the most important factors that influence air traffic. It is important to monitor and evaluate the meteorological conditions correctly because of the safe flight and minimization of a probability of a collision with dangerous external conditions [2]. Meteorological forecasts do these points. There are many forecasts in the world. For instance, there are conventional climatological observations, measuring by probes, radars and satellites or modern forecasting methods using mathematical models [1]. This paper is about the forecasting methods using mathematical models.

The theoretical part of the research contains general familiarization with the methods and forecasting history. Then, there is a description of several publicly available numerical models

ⁱ Mgr. Iveta Kameníková, Czech Technical University in Prague, Faculty of Transportation Sciences, Department of Air Transport, Horská 3, 182 03, Praha 2, Czech Republic, e-mail: kamenikova@fd.cvut.cz

ⁱⁱ Bc. Jakub Kordoš, Czech Technical University in Prague, Faculty of Transportation Sciences, Department of Air Transport, Horská 3, 182 03, Praha 2, Czech Republic, e-mail: kordojak@fd.cvut.cz

ⁱⁱⁱ Ing. David Hůlek, Czech Technical University in Prague, Faculty of Transportation Sciences, Department of Air Transport, Horská 3, 182 03, Praha 2, Czech Republic, e-mail: hulekdav@fd.cvut.cz

and their principles in the paper. The practical part is about a basic research. The forecasts and real meteorological situations had been recorded for 90 days. Then, the statistical tests were used, evaluation of the results were done for each model and the results were compared.

2. Numerical Models

The authors worked with several publicly available meteorological numerical models. The models were subjects of an observation. The models were Czech-French Aladin, Swiss Meteoblue, Norwegian Yr, German global models ECMWF and ICON and American global model GFS. Though the cell phone application Klara is not the model, it was the subject too. The Klara gets information from the Norwegian Meteorological Institute. The Klara was included because of academic reasons for comparison with other forecasting tools. Each model uses different calculation method. However, some of them are very similar. In principle, it is always a way how an atmospheric model is created. Input for this model is actual weather conditions. Next step is that the model calculates several possible scenarios and compares them between themselves. Based on the calculation results, the model chooses the most probable scenario and creates the forecast [3, 4, 6, 7].

3. Weather Forecast Recording

The weather forecast recording was done by a smartphone. The authors used free mobile apps and websites of each forecasting model. It was a 24hours forecasts for an area of the Václav Havel Airport, Prague. The forecast from each model was recorded at the same time. The monitored elements were air temperature, total precipitation, clouds cover, wind speed and direction, atmospheric pressure, relative air humidity and dew point. A real weather was controlled and recorded next day at the same time. The real weather was controlled by information from the Czech Hydro-Meteorological Institute. The institute releases the weather conditions each hour and the source for this is professional climatological station at the Václav Havel Airport. The authors worked with 90 forecasts that had been collected during half a year. The forecasts and also the real conditions were placed into the Excel table. The Excel was used for calculation of absolute deviations from the real situation of each forecast. These deviations were used in the statistical models.

4. Application of Statistical Tests

The statistical programs Paleontological Statistics version 3.2.0 (PAST) and Scilab version 5.2.2 were used for processing the collected data. The programs were recommended by Mgr. Pavel Provinský from the Department of Applied Mathematics FTS, CTU in Prague. The goal of the statistics was to evaluate accuracy a stability of the forecasts. This was done by using mean values and variances statistical tests.

First, a conformity of the mean values for all meteorological elements was verified by ANOVA test in the PAST. This was done for all numerical models. The conformity was refuted at all cases. It meant that the mean values of the forecasts were not the same or very similar. This was the impulse for searching significant better and significant worse forecasts. The searching

was done by the PAST too. The PAST showed all mean values for all elements for each model. A table was created after comparing the results. The table 1 shows the forecasts accuracy of each model.

Tab. 1 Accuracy comparison of numerical models

	Temperature	Cloudiness	Precipitation	Windspeed	Humidity	Pressure	Dewpoint
Significantly more accurate	Meteoblue ICON Aladin	Yr	Aladin	Yr GFS Klara	Meteoblue ICON	ICON Klara	ICON
Significantly less accurate	ECMWF GFS	GFS	GFS	Meteoblue	ECMWF	Aladin	GFS

The stability of the forecasts was evaluated by variances prognosis of each model. So the bigger variance was, the deviations from the exact values more significant was. The test began by Levene's test of the variances conformity. It was found out that the variances were different at total precipitation, humidity, atmospheric pressure and dew point. It was necessary to compare each variances of all models for these elements. The PAST calculated specific values of each variance. Based on these results the significant better and significant worse forecast were determined. The stability results were summarized into the table 2.

Tab. 2 Stability comparison of numerical models

	Precipitation	Humidity	Pressure	Dewpoint
Significantly more stable	ICON Aladin Meteoblue	Meteoblue	ICON ECMWF	ICON
Significantly less stable	GFS	Aladin ECMWF	Aladin	Klara

A next criterion for the evaluation was mutual independence of forecasts models. This was done by a correlation function at the PAST. The correlation values between all models were available for all elements. The significantly stronger correlations meant that there were suspicion of a mutual linear dependency and the significantly weaker correlations meant a linear independency. With help of this test, it was found out that there was the mutual linear dependency almost for all meteorological elements for Yr, ECMWF and Klara. This confirmed that these models use similar sources. So it is not recommended to use more than one of these forecasts. It is because they will probably show the same data. It was confirmed or it was not refuted the linear independency for other links between models.

5. Alternate Wind Direction Processing

A wind direction was processed another way. It is because this element was predicted in values of the eight world sides. If the predicted world side coincided with the real wind direction, the forecast was evaluated as a correct. A percentage success of all 90 forecasts was calculated. This was done for all models. The results showed that the accuracy of the wind direction forecasts was approximately 50% for all models. The research did not provide more knowledges in this case. The table 3 shows the results of the wind direction research.

Tab. 3 Alternate wind direction processing results

	Aladin	Klara	Meteoblue	Yr	ICON	ECMWF	GFS
Number of correct predictions	45/90	47/90	44/90	50/90	47/90	49/90	49/90
Percentage success	50 %	52 %	49 %	56 %	52 %	54 %	54 %
Ranking	6.	4.-5.	7.	1.	4.-5.	2.-3.	2.-3.

6. Conclusion

It was possible to determinate the significantly more accurate and more stable forecast models based on the statistical tests and the results that are mentioned above. Very good meteorological models are ICON and Meteoblue. They had significantly better accuracy and stability. On the other hand, worse models are the global one, GFS and ECMWF. The research showed that the local numerical models have significantly better results than the models for very large areas. Based on mutual dependency, the link between Yr, ECMWF and Klara forecasts was proved.

Based on the results, it can be recommended Aladin and Yr models for civil user. It is assumed that the civil user want to know temperature, clouds cover, total precipitation or wind speed in the area of the Czech Republic. The Aladin and Yr have satisfactory accuracy for these elements.

It is not possible to give to a specific user, especially aviation one, an exact recommendation to exact numerical model. Only official source of the meteorological information for aviation in the Czech Republic is the Czech Hydro-Meteorological Institute and its affiliated model – Aladin. The results have only informative character because of this. They can be used as a supporting material for the Civil Aviation Authority of the Czech Republic for forecast improvement. The knowledge of all mentioned elements is substantial in the aviation. There are many reasons why it is suitable to have exact and reliable forecasts. For instance, the user have to be capable to create an idea about coming meteorological situation. For pilot, the temperature is important for an aircraft performance and an accuracy of barometric altimeters, the clouds cover is important for flight minimums, the total precipitation is important because of a visibility and icing, the wind speed and direction is important because of the wind drift and take-offs and landings limits, the air humidity and dew point indicate a probability of a cloud,

fog and precipitation creation, the atmospheric pressure affects flight levels system and so on [5]. The ICON and Meteoblue can be recommended for pilots but only as a supplementing source that supplement the mandatory source. The recommendation is based on the mentioned calculations. These two models have high accuracy and stable stability. This research worked with quite small volume of the data that were collected during one half a year. A longer data collection can show more accurate and authoritative results.

References

- [1] BEDNÁŘ, Jan. *Meteorologie: Úvod do studia dějů v zemské atmosféře*. Praha: Portál, 2003. ISBN 80-717-8653-5.
- [2] CAE Oxford Aviation Academy. *050 Meteorology: ATPL Ground Training Series*. Oxford: CAE Aviation Academy, 2014.
- [3] DVOŘÁK, Petr. *Pozorování a předpovědi počasí*. Cheb: Svět křídel, 2012. ISBN 978-80-87567-20-3.
- [4] ŠÁLEK, Milan. UBIMET. *Monitoring a předpověď počasí*. CZE, 2013, 175 p. Available from: https://is.muni.cz/el/1431/podzim2013/Z0076/um/Monitoring_a_predpoved_pocasi_dr_Salek.pdf
- [5] FREI, J. Basic Evaluation of Meteorological Observation from Aircraft. In: *Zvyšovanie bezpečnosti a kvality v civilnom letectve 2016*. Zvyšovanie bezpečnosti a kvality v civilnom letectve 2016. Zuberec, 27.01.2016 - 29.01.2016. Žilina: Žilinská univerzita. 2016, pp. 16-21. ISBN 978-80-554-1143-9.
- [6] WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. *Guide to meteorological instruments and methods of observation* [online]. 6th ed. Geneva, Switzerland: Secretariat of the World Meteorological Organization, 1996, 716 p. [cit. 2018-09-25]. WMO (Series), no. 8. ISBN 92-631-6008-2. Available from: https://library.wmo.int/pmb_ged/wmo_8_en-2012.pdf
- [7] SOBOTA, J. and KRÁČMAR, J. *Meteorologie*. 1. ed. Brno: Akademické nakladatelství CERM. 2002, ISBN 80-7204-238-6.

Unmanned Aerial System in the current environment of Czech Regulation

Šárka Hulínskáⁱ, Kateřina Kunčíkováⁱⁱ, Jakub Krausⁱⁱⁱ

Abstrakt: Článek se zabývá problematikou bezpilotních letadel a jejich využití, a to zejména z pohledu české legislativy, která tvoří rámec pravidel pro udržení přijatelné úrovně bezpečnosti. Úvodní část je věnována bezpilotním systémům obecně, jejich rozdělení a využití. Dále je část věnována i postupu k získání povolení k provozování leteckých prací v České republice, na základě kterého je možné legálně provozovat tuto činnost. V článku se nachází i užitečná část obsahující statistiky provozu bezpilotních prostředků v České republice. Nastíněna je i problematika harmonizace evropské regulace. Smyslem článku je definovat základy pro bezpilotní systémy, na kterých je možné provádět provozní výzkum.

Klíčová slova: bezpilotní systém, dron, provoz, legislativa

Abstract: The paper focuses on the issue of unmanned aerial vehicles and their use, especially from the point of view of Czech legislation, which forms the framework of rules for maintaining an acceptable level of safety. The introductory part is devoted to unmanned systems in general, their distribution and use. The second part is devoted to the procedure for obtaining a license to operate aerial work in the Czech Republic, based on which it is legally possible to carry out this activity. The article also contains a useful part containing unmanned aerial vehicles statistics in the Czech Republic. The issue of harmonizing European regulation is also highlighted. The purpose of the paper is to define the current basis of unmanned aerial systems on which any operational research can be done.

Keywords: Unmanned aerial system, UAS, UAV, Unmanned aerial vehicle, Operation, Regulation

1. Introduction

Recently, the area of unmanned aerial vehicles (UAVs) has been widely recognized by the public. Seeing a flying “dron” (widely acceptable word for UAV) is a great experience for many people, which often do not realize the possible risks that the operation itself brings. Rolling up a couple of nice pictures can become a threat to surroundings, and ignorance of regulation can even lead to a fine.

Commercial unmanned aerial systems (UASs, which includes UAV and the control system) are undergoing a major technological development, which is influenced by the purpose for which the dron is primarily intended. Currently, there are a huge number of manufacturers, who offer UAVs for both amateurs and professionals. UAVs vary depending on type, total weight, way of controlling, number of engines, load capacity or available heights and distances. As for the type, UAVs can be divided into helicopters, multi-copters and unmanned airplanes, the so-

ⁱ Ing. Šárka Hulínská, Horská 3, 12803 Prague 2, Czech Republic, hulinsar@fd.cvut.cz

ⁱⁱ Ing. Kateřina Kunčíková, Horská 3, 12803 Prague 2, Czech Republic, kuncikat@fd.cvut.cz

ⁱⁱⁱ doc. Ing. Jakub Kraus, Ph.D., Horská 3, 12803 Prague 2, Czech Republic, kraus@fd.cvut.cz

called “wings”. [2] Whilst using a multi-copter a take-off is performed by using a control station, it is necessary to use the launch ramps or the hand for airplanes. Most airplanes then fly based on a planned flight that is sent wirelessly to the airplane. The big advantage of the airplanes over multi-copters is battery life. While multi-copters last only a few minutes for a single battery, the airplane is able to withstand the air for up to an hour. In the future, we can expect a development that would allow longer battery life.

2. The possible use of UAVs

The use of UAVs can be divided into several areas of human activity. The easiest use of UAV is, of course, for entertainment, but the potential for utilization is high and UAVs can be imagined all around us in almost all processes. The CAA addresses in its agenda primarily the UAVs used for civilian purposes.

UAV can be used either as a carrier platform which is part of the business or as a means of transport that is included in the transport process. In general, we can divide the transport into passenger and freight. Since the industry is still relatively young, freight transport systems are the first to be developed. Based on the merits and benefits of UAVs, key uses can be found primarily in medicine, industry and agriculture. The aim of using UAV is to reduce operating costs. In addition, development can make a significant contribution to the development of aviation in general.

UAV can be used for example in aerial photography, monitoring of important infrastructures, remote pipelines, environmental monitoring, meteorological monitoring, accident and crime documentation, firefighting support, firefighting in areas not accessible to normal techniques [11], migration tracking of certain animal species [9], etc. Currently, UAV are mostly used for aerial photography or video capture. Other uses are represented by Figure 1.



Fig. 1 Possible use of UAVs [17]

According to [5] and [12], UASs can also be used for search and rescue, where the UAV can reach even more difficult areas than any other means. The advantage of UAS in this area is a

bird's eye view. The world below is so easy to watch with both professional cameras and cameras using thermal imaging systems or night vision. Similar systems are equipped with rescue helicopters, but their operation is considerably more expensive and the search process with respect to the helicopter base takes longer. Once the UAV finds a lost person, it could drop a useful cargo, such as a radio, a flare, survival kit or even a defibrillator. Based on the revealed location, a rescue team could be sent. Legislation in most countries, including the Czech Republic, does not allow this way of use of UASs so far, due to the need of operation with visual line of sight (VLOS).

Other applications are available in medicine, for example, in the delivery of organs for transplantation. This issue is addressed by the Spanish company Dronlife and the Indian company Fortis Healthcare, which wants to use the UASs especially in the crowded cities of India. [17]

Australia even tests UASs for offshore shark patrol to be able immediately send off the message to the coastguard and even to the swimmer's smartwatch. They assume the use of military UASs that have powerful cameras capable of recording a shark up to a depth of nine meters below the ocean level. [19]

In the energy sector, UAVs can also examine the condition of power lines at high altitudes without a direct risk of life threatening.

Another possible way to use the UAV in the future is delivering mail. In the EU media, the idea of using UAV in logistics or postal services is often used. This service does not currently work in the Czech Republic, but for example in the United States it is in the testing phase. As an example of this, Amazon can be mentioned, more specifically its Prime Air project. It works with the idea of the global deployment of UAVs in the delivery service environment. At the NASA conference, Amazon introduced its vision of creating a special airfield for drones in the US airspace. Documents outlining several solutions to incorporate unmanned aircraft of various shapes, sizes and autonomy into the airspace were published. The FAA is already working on the rules for the operations. [8] This type of delivery service is still limited in the Czech Republic by legislation that does not allow automated operation beyond visual line of sight (BVLOS).

According to [7] UASs are expected to be used directly at the airports, both on runways and taxiways, aprons, and other outdoor areas or in airport terminals. One possible way to use UAS for runways is, for example, tracking the conditions of the runways; on the taxiways can UAS replace Follow me cars; on aprons check the status of the aircraft (e.g. when using thermal imaging systems). In the open air, UAS could monitor the state of the airport (state of fences, occurrence of people or animals in the perimeter of the airport); in airport terminals monitor passenger flow and security. The issue of tracing passengers is their exposure to dangers by UAVs. It is proven that an airplane, heavier than 0.25 kg, can kill a man. [15] According to [1], it is therefore advisable to respect the safe distance from people, which is perceived as twice the flight height. For heavier (more than 7 kg) aircraft, it should be never less than 50 m during take-off and landing and 100 m during flight.

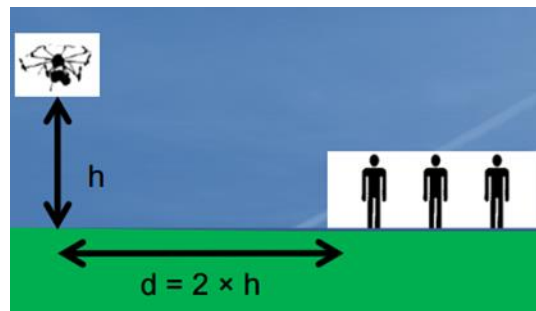


Fig. 2 Safe distance defined by Czech aviation regulation L2 – Attachment X

Other usages will be found in agriculture as monitoring or spraying equipment. [10] These are flights above fields for data collection and their subsequent analysis. Using multispectral sensors on an UAV can monitor plant pests, lack of fertilizer, water, and so on. Cameras can give accurate information to farmers when and where they should work on their field. Another possible use in agriculture is, for example, application of fertilizer. So far, the issue is again legislation that does not allow UAVs to drop any objects or dangerous substances into the air that could cause threat to public. [1]

The next area is the low-altitude operations (up to 150 m). New applications to enable active collaboration between authorities and pilots to safe integration of UAVs into the airspace are being developed. Therefore, authorities can real-time visualize and approve flights and declare so-called "no-fly" zones and pilots can actively plan and receive flight approvals in accordance with international and local regulations in real time. [13] New emphasis is now put on developing more powerful geofencing functions. Geofencing allows to prioritize the area in which the aircraft could operate and the no-fly zones.

In larger UASs, there has recently been a need for designing airspace that would allow UAV to operate at even higher levels. This could reduce safety risks and ensure safe operation. [3] It is therefore necessary to improve the Airspace Management System, which would also allow for UAV operations at higher flight levels. For the Czech Republic, this issue is not yet being solved, because the operation BVLOS is currently unauthorized. [1] On the other hand, new regulation of UASs counts with such traffic.

3. Ensuring safety of UAS operation by the regulation

The level of safety can be improved either through regulation, technology, or pilot training of unmanned aircraft.

Improvement of pilots' knowledge is ensured through awareness raising campaigns addressing this issue. Technological progress relies on better use of airspace, aircraft communications between themselves and, for example, the ability to increase battery capacity. But currently, in the Czech Republic the emphasis lies in legislation that emphasizes safety, the elimination of threats to third parties and the continuous risk analysis of individual subjects.

The regulatory framework for the operation of unmanned aircraft in the Czech Republic is primarily Act No. 49/1997 on Civil Aviation and the Implementing Decree No. 108/1997 and Aviation Regulations of the Ministry of Transport of the Czech Republic, in particular L2 (Rules of the Air), L7 (Aircraft Nationality and Registration Marks), L13 (Aircraft Accident and Incident Investigation) and the Directives of the Civil Aviation Authority.

An important regulation is Attachment X of the Aviation regulation L2 - Rules of the Air [1] that focuses on ensuring safety of UAS operations by adhering to prescribed rules that deal more closely with the safe distances, responsibilities and areas in which UAS can be operated. Attachment X deals also with the protection zones, meteorological minima, or incident reporting system. This framework was created in 2012.

Attachment X is binding for every operator of an unmanned aircraft, regardless of whether he is "registered" or not. It is mandatory even if the unmanned aircraft is lighter than 25 kg and is used for sports and recreational purposes. There is one exception, if the UAS is model of aircraft up to 25 kg, Supplement X is only recommendation (except for chapter 7 Areas that is mandatory).

Overview of the basic requirements for unmanned systems



Fig. 3 General requirements for UAS [5]

Legislation as stated above is binding for all UAS operations carried out within the Czech Republic. Attachment X is binding also for foreigners who are going to the Czech Republic to shoot exceptional pictures. Until now, there is no harmonization of rules within European Union that would unify European UAS legislation. However, such a framework is being prepared now and will also address aircraft certification, which would greatly facilitate the process of obtaining permission to fly with UAS.

So far, each commercially operated unmanned aircraft (UA) is subject to registration at the Civil Aviation Authority. In the case of UA lighter than 20 kg operated for recreational and sporting purposes, the obligation to register is not applicable. [1]

The registration process includes both UA registration and pilot registration. At least one pilot must be registered with each registered UA. After the application to registration, the pilot and UA are subjected to tests in front of CAA (Civil Aviation Authority) inspectors. CAA inspectors verify both the theoretical and practical knowledge of the pilot and check the technical condition of the aircraft. Each UAV should be equipped with a so-called "failsafe" system, which in case of any problems will ensure automatic landing usually from the take-off

point. After a successful test, the pilot gets a "pilot-license" for the type of UA. As a pilot, he is also chained to that particular machine for the record.

A commercial UA must always be identified by the ID with the license plate assigned to it. The requirements for this plate are stated in the Aviation Regulation L6 - Operation of Aircraft. The label shall be made of non-flammable material and the registration plate letters height shall be at least 15 mm. [4]

The minimum requirements for insurance are regulated by Regulation (ES) No 785/2004 of the European Parliament and of the Council.

In the event of any incident, serious incident or accident, the pilot is required to report this fact without delay to Air Accidents Investigation Institute. This obligation is imposed by the Aviation regulation L13 Aircraft Accident and Incident Investigation.

For commercial use of the UAV, it is still necessary to obtain a permit to carry out aerial work or aerial activities for own use, which is issued again by the CAA.

The CAA must be contacted again if the aerial work license holder decides to fly in a prohibited or restricted area in the protection zone of roads, railways, high voltage power lines, water resources, protected landscape areas, the national parks, or a specially protected area. Operation in these areas is conditional by obtaining authorization issued as specific exemptions to the standard terms and conditions where the requirements under which a flight is possible are described. This authorization is issued on the basis of a request in the form in which the applicant states the coordinates of the flight where the flight is intended to be carried out and what measures have been taken to reduce the potential risks from the operation. Upon evaluation of the application by CAA, the applicant will be authorized.

4. UAVs registered in Czech Republic

Currently (August 1st, 2018), the Civil Aviation Authority of the Czech Republic records 49 aircraft lighter than 0.91 kg, 653 aircraft up to 7 kg, 133 aircraft up to 25 kg and 34 aircraft heavier than 25 kg. The weight categories are allocated according to the L 2 - Flight Rules and are aircraft registered for recreation and sport as well as for commercial use. [18]

A more detailed analysis of aircraft up to 7 kg is represented by Figure 4. So far, the heaviest aircraft registered at the CAA is an aircraft weighing up to 130 kg. [18]

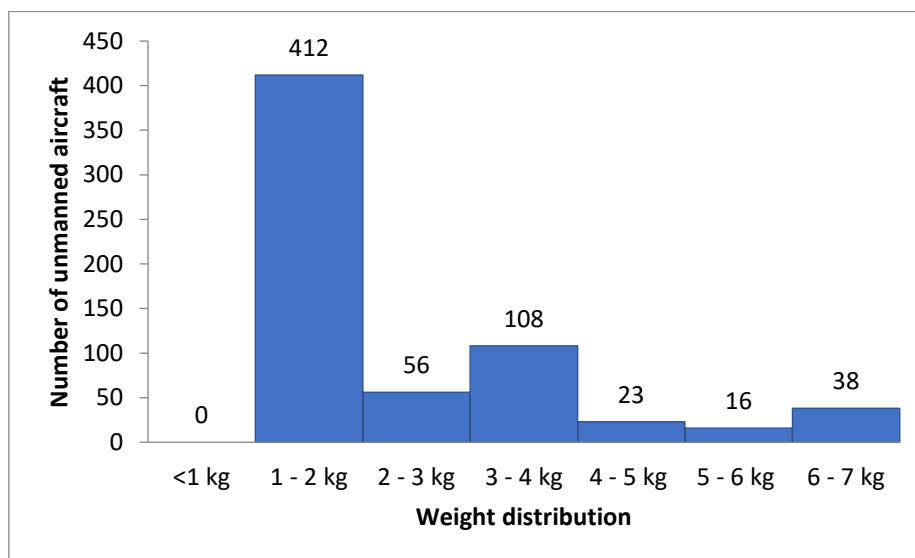


Fig. 3 Weight distribution of “up to 7 kg category” of unmanned aircraft in the Czech CAA records (January 2018) [18]

As far as the division of unmanned aircraft in terms of category is concerned, the Czech CAA currently records 516 helicopters and 37 airplanes. The rest consists of airships, balloons and gliders. The above mentioned numbers only count for aircraft that have a valid flight license issued. In terms of more detailed analysis of helicopters, 357 quadcopters, 123 hex copters and 35 octocopters are recorded. A substantial part of the evidence consists of the products of the Chinese manufacturer DJI. [18]

The unmanned aircraft agenda is relatively young at the Czech CAA, the need to solve it stemmed up in 2012. Since then, over 2000 licenses have been issued. A huge increase in applications was recorded in early 2015, when more than 400 applications for a permit to fly were received for the whole year. In 2016, the increase in applications almost doubled. In 2017, the Czech CAA registered approximately the same number of applications as in 2016. In 2018, so far, almost 400 applications have been received in the first half of the year. [18]

As mentioned above, a permit to fly is a prerequisite for obtaining a permit to operate aerial work or aerial activities for own use. In the Czech Republic there are currently almost 580 legal operators of aerial work. The largest increase was again recorded with the year 2015. When comparing permits issued by 2016, the number of permits issued in 2017 doubled. A similar trend is expected in 2018 as in 2017. Permits to operate aviation activities for own use have 15 percent of operators. [18]

If an aerial work operator or an aviation activity operator have a valid permit, he or she may also apply for a one-off exception beyond the Standard Limitations (so-called HOP) to the CAA. Due to the existence of protection zones and restrictions on traffic in densely populated areas, the need for this type of permit is very widespread among the majority of approved operators. These permits have been issued since 2013 and more than 2,000 have been issued by this time. Since they are one-time permits, their validity does not last for more than 1 month. The interest in these exceptions is enormous. For the year 2015, 5 permits were issued on average per month, 2016 seven times more, and in 2017, 72 permits were issued per month. For the year 2018, the average number of 78 permits is currently monthly issued. CAA capacities are limited and therefore it is not possible to reflect all received requests. Sometimes,

unfortunately, the applicant himself is guilty, as he does not sufficiently meet the requirements of the request. [18]

5. Main objectives for the year 2019 and European regulation

According to the European Commission, among the major challenges for unmanned aircraft for 2019 are the development of systems to support fully automated flight operations in real time, the creation of a dense ATM network, the development of systems allowing one pilot to control more aircraft at the same time, faster development of new technologies, and the related changes to regulations that will respond flexibly to this field's requirements. [14]

Currently, EASA is actively developing a harmonized regulatory framework for EU Member States that will lead to the uniform regulation and mutual recognition of issued documents. According to EASA, unmanned traffic is newly divided into three categories - open, specific and certified. The resulting document (EASA NPA 2017-05) [16] is currently focused only on Open and Specific operations. The Certified operation is still under development and is expected to be completed by 2019. Based on the basic regulation, which will enter into force in September 2018, two documents are produced – Implementing regulation for the UAS operation and registration and the related regulation for technical requirements. Both documents should be adopted by the end of 2018. The Czech Republic actively participated in the reminders procedure and a large number of operators and regulators (CAA, ATC) in this field have been actively involved. The documents produced should set precise requirements for the operation of UAS in the EU Member States for Open and Specific categories.

6. Conclusion

It is important to note that the airspace below 300 m is not empty. The operation of small unmanned aircraft, whether for business or leisure activities, is constantly increasing, so the issue of safety, security and privacy is becoming more and more up to date.

An important element in enhancing the safety of unmanned technologies is building awareness and trust in these devices. There is a need to develop interest in practical benefits and to inform the population of the risks associated with the UAS.

The progressive development of the whole aviation sector, not only within this field, but also its implementation in all parts of human activity, must be controlled by a single legislative framework. The requirements for setting up this framework should be based on precise and comprehensible definitions, easy integration and specific tools to combat illegal traffic that can occur due to the availability of unmanned aircraft. A single legislative framework across EU Member States has the potential for an effective ensuring safety and security, and will make a uniform standard for the Member States, as is the case with traditional civil aviation regulated with international conventions and agreements.

7. Acknowledgement

This paper was supported by the Grant Agency of the Czech Technical University in Prague, grant No. SGS17/149/OHK2/2T/16.

References

- [1] Attachment X – Unmanned Aerial Systems. Aviation regulation L2. Ministry of Transport of the Czech Republic. 2014. Available from: <https://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/index.htm>
- [2] Karas, J.; Tichý, T. Drony, 1.st ed.; Computer Press: Brno, 2016.
- [3] Belcastro, Ch. UTM Safety Research, 2016. UTM Safety Considerations and Vehicle Technologies for Low-Attitude Autonomous Urban Flight. Available from: <http://www.utm2016.com/Uploads/Presentations/UTM2016VehicleTechCBelcastro.pdf>
- [4] Aviation regulation L6. Ministry of Transport of the Czech Republic. 17534/96-250. Available from: http://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-6/L-6ii/data/print/L-6-ii_cely.pdf
- [5] Overview of the Essential Requirements for Unmanned Aerial Systems, 2011. Czech Civil Aviation Authority. <http://www.caa.cz/letadla-bez-pilota-na-palube/prehled-zakladnich-pozadavku-na-bezpilotni-systemy>
- [6] Li, Y, S Gao, A Kan and L Zhang. Design of an UAV search and rescue system with the EEG monitor function. 2015. DOI: 10.3772/j.issn.1002-0470.2015.10-11.011. Available from: https://www.researchgate.net/publication/298704460_Design_of_an_UAV_search_and_rescue_system_with_the_ECG_monitor_function
- [7] Hůlek, D., Absolón, S., Líkař, P. Possibilities of Using Unmanned Aerial Vehicles at Airports; In: Young Transportation Engineers Conference 2016. Young Transportation Engineers Conference 2016. Prague, 06.10.2016. Prague: Czech Technical University in Prague. 2016, ISBN 978-80-01-06016-2.
- [8] Greutert, Ed. Conceptual UAV Design and Aerodynamic Characteristics for a Mid-Sized Cargo Delivery Application. International Journal of Unmanned Systems Engineering. 2015-10-1, 3(4), 1-12. DOI: 10.14323/ijuseng.2015.15. ISSN 2052112x. Available from: <http://www.ijuseng.com/#/ijuseng-3-4-1-12-2015/4590260991>
- [9] Xu, J. et al. Internet of Things Applications: Animal Monitoring with Unmanned Aerial Vehicle. 2016. Available from: https://www.researchgate.net/publication/309207137_Internet_of_Things_Applications_Animal_Monitoring_with_Unmanned_Aerial_Vehicle
- [10] Sinha, J. et al. Prospect of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Technology for Agricultural Production Management. 2016. Available from: https://www.researchgate.net/publication/312589716_Prospect_of_Unmanned_Aerial_Vehicle_UAV_Technology_for_Agricultural_Production_Management
- [11] Kukreti, S., M. Kumar and K. Cohen. Detecting, Localizing and Tracking Wildfires Using an Unmanned Aircraft System. 2016. Available from: https://www.researchgate.net/publication/309236032_Detecting_Localizing_and_Tracking_Wildfires_Using_an_Unmanned_Aircraft_System
- [12] Verykokou, S., et al. UAV-based 3D modelling of disaster scenes for Urban Search and Rescue. 2016 IEEE International Conference on Imaging Systems and Techniques (IST). IEEE, 2016, 106-111. DOI: 10.1109/IST.2016.7738206. ISBN 978-1-5090-1817-8. Available from: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7738206/>
- [13] UNIFLY. Unifly UTM [online]. [cit. 2017-10-16]. Available from: <https://www.unifly.aero/>
- [14] European Commission - Creating an EU Drone Ecosystem by 2019. EUROCONTROL [online]. 2017 [cit. 2017-10-16]. Available from: <http://www.eurocontrol.int/sites/default/files/events/presentation/session2.1-dg-move-creating-an-eu-drone-ecosystem-by-2019.pdf>
- [15] Czech Technical University in Prague. Dynamic tests of collision of unmanned aerial vehicle with dummy: Technical Report. 2016.
- [16] EASA: NPA 2017-05. EASA: Introduction of a regulatory framework for the operation of drones — Unmanned aircraft system operations in the open and specific category [online].

- 2017 [cit. 2017-10-18]. Available from: <https://www.easa.europa.eu/document-library/notices-of-proposed-amendment/npa-2017-05>
- [17] VentureRadar. 20 Commercial Drone Use Cases and Leading Innovators [online]. [cit. 2017-10-23]. Available from: <http://blog.ventureradar.com/2015/12/29/20-commercial-drone-use-cases-and-leading-innovators/>
- [18] Czech CAA statistics 2018
- [19] Echo24: “Austrálie testuje bezpilotní letoun proti žralokům: Austrálie testuje bezpilotní letoun proti žralokům” (in Czech). Echo24 [online]. 19. 10. 2017, 2017 [cit. 2017-10-24]. Available from: <https://echo24.cz/a/pe7CW/australie-testuje-bezpilotni-letoun-proti-zralokum>

Energetické úspory v dopravě

Jan Antošⁱ

Abstrakt: Jednou z hlavních možností, jak dosáhnout energetických úspor v dopravě, a s tím spojených úspor finančních, je v současné době znovu-využití energie získané při brzdění vozidla. Takovýto proces opětovného získání energie nazýváme rekuperace. Nejefektivnější a v současné době nejrozšířenější způsob, jak takto získat energii, je její rekuperace ve formě energie elektrické pomocí elektromotorů. Rozšíření elektromotorů ve vozidlech v provozu je u nás ve větší míře zatím pouze v dopravě železniční, které bude proto věnován tento článek.

Klíčová slova: rekuperační brzdění, železnice, simulace

Abstract: One of the major ways to achieve reduced energy usage in transportation and associated financial benefits is to reuse the energy obtained when a vehicle is braked by an electric motor. Such recovery of energy is called recuperation and is only possible in the case of driving the vehicles with an electric propulsion. The most effective and most frequent method to gain energy this way nowadays is its recuperation in form of electric energy with the help of electro-motors. In our country, the extension of electric motors in operation is only in railway transport, which this article will be devoted to.

Keywords: regenerative braking, railway, simulation

1. Základní druhy brzdění

Pohybující se vozidlo má/získává vždy určité množství kinetické energie. Při brzdění dochází k úbytku této mechanické energie a současně k její přeměně na jiné formy energie, nejčastěji na energii tepelnou. Tato mechanická energie tedy může být rekuperována a následně znovu použita, čímž dojde ke snížení nároků na přívod zcela “nové“ energie a tím ke snížení celkových finančních nákladů na provoz. Rekuperovat mechanickou energii vozidla, resp. vlaku při jeho brzdění lze poměrně širokou paletou možností. V současné době je v zásadě nejefektivnější a nejvíce rozšířenou možností přeměna této mechanické energie na energii elektrickou a tu pak znovu využít.

V závislosti na průběhu zpomalení vozidla při brzdění rozlišujeme dva základní typy brzdění. Jsou jimi brzdění spádové a brzdění zpomalovací (resp. zastavovací). Oba tyto typy brzdění v tomto článku prozkoumáme z hlediska disponibilní energie, která při nich vzniká, a kterou lze tedy využít k rekuperaci.

1.1. Zpomalovací brzdění

Zpomalovací brzdění je brzdění nenulovým zpomalením z určité počáteční do cílové rychlosti. Elektrická energie, která je při zpomalovacím brzdění k dispozici na sběrači vozidla, je dána obecným vztahem:

ⁱ Ing. Jan Antoš, ČVUT FD, Ústav dopravních prostředků, Horská 3, 128 03 Praha 2, antosja2@fd.cvut.cz

$$E_b = 1,072 \cdot 10^{-2} \cdot M \cdot \xi \cdot (V_1^2 - V_0^2) \cdot \left(1 - \frac{r_v(V) + r_g}{r_a} \right) \quad (1),$$

kde:

e_b ... měrná disponibilní brzděné energie vozidla [Wh]

E_b ... disponibilní brzděné energie vozidla [Wh]

M ... celková hmotnost vlaku (lokomotivy a vozů) [t]

ξ ... součinitel rotujících hmot [-]

V_1 ... rychlost před začátkem brzdění [km/h]

V_0 ... rychlost na konci brzdění [km/h]

r_v ... měrný vozidlový odpor vlaku [N/kN]

r_a ... měrný odpor vlaku ze zrychlení/zpomalení [N/kN]

r_g ... měrný gravitační odpor vlaku [N/kN]

(pozn.: v této simulované situaci se vyskytuje pouze jediný traťový odpor, kterým je r_g)

1.2. Spádové brzdění

Spádové brzdění je brzdění s nulovým zpomalením, tedy o konstantní rychlosti, kdy se brzdící vozidlo pohybuje na trati ve spádu a výsledná urychlující síla vozidla, která je využita pro přeměnu na energii elektrickou, je způsobena právě tímto sklonem trati.

Elektrická energie, která je při spádovém brzdění k dispozici na sběrači vozidla je dána obecným vztahem:

$$E_b = M \cdot 9,81 \cdot (s - r_v) \cdot 10^{-3} \cdot \frac{L}{3,6} = 2,725 \cdot 10^{-3} \cdot M \cdot L \cdot (s - r_v) \quad (2),$$

kde:

E_b ... množství disponibilní brzděné energie [kWh]

M ... hmotnost celé vlakové soupravy, lokomotivy a vozů [t]

s ... spád na trati [‰]

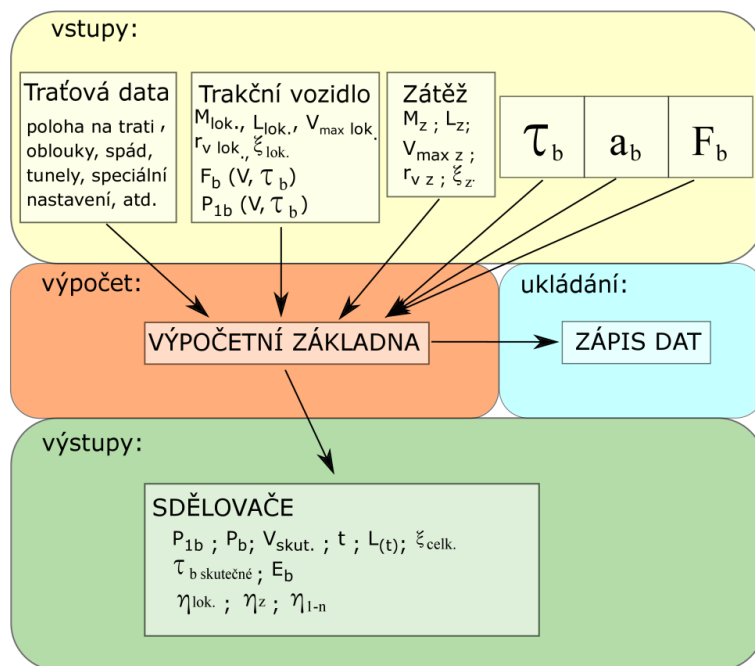
L ... dráha po kterou dochází k brzdění [km]

r_v ... měrný vozidlový odpor vlaku [N/kN]

Je uvažováno, že: s [‰] = r_g [N/kN].

2. Energetická simulace daných brzdění

Pro simulaci jednotlivých druhů výše zmíněných brzdění byl použit simulační software, který vychází z již verifikované verze programu zvaného Ecalc. Schéma fungování tohoto simulačního softwaru je na obrázku 1.



Obr. 1 - Schéma principu fungování simulačního softwaru (zdroj: autor)

V následujících dvou vybraných příkladech je vždy jako vstup do simulace použit vlak s lokomotivou řady 363.5 o hmotnosti 89 t, jejíž měrný vozidlový odpor je dán vztahem:

$$r_{(lok.)} = 1,05 + 0,0104 \cdot V + 0,00025 \cdot V^2 \quad (3)$$

Dále pak je jeho součástí zátěž (tj. vozy), jejíž měrný vozidlový odpor je dán vztahem:

$$r_{(zatez)} = 0,98 + 0,0104 \cdot V + 0,00021 \cdot V^2 \quad (4)$$

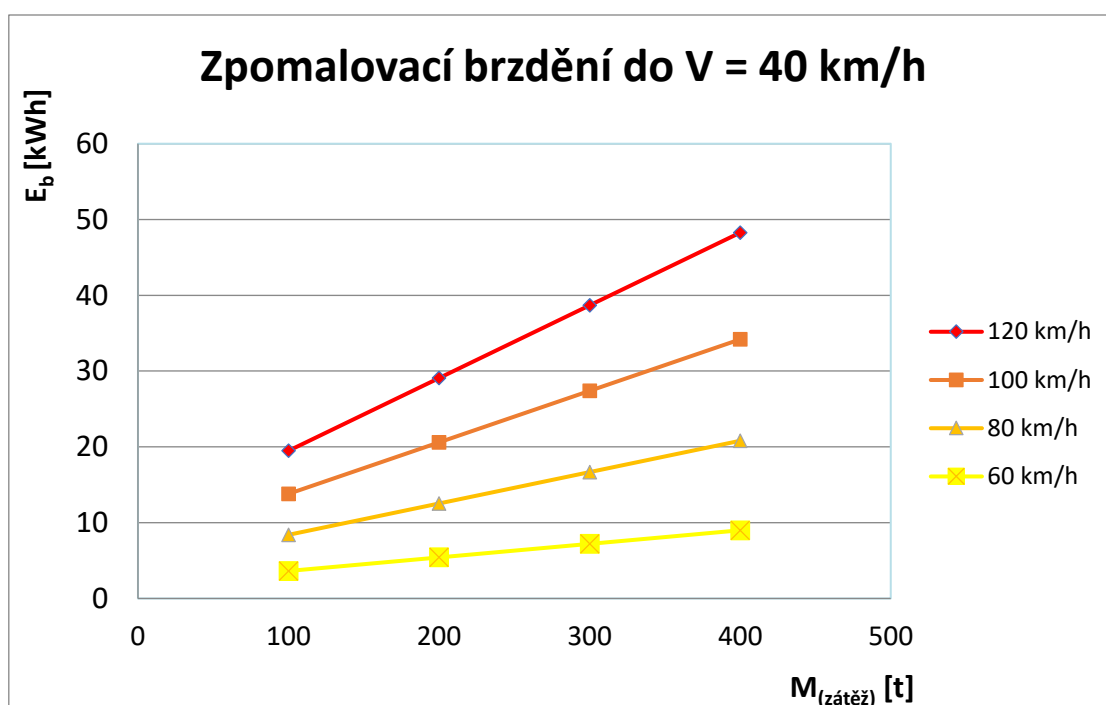
2.1. Příklad - zpomalovací brzdění

V tomto příkladě je zvolen vlak o hmotnosti zátěže 100 t, který brzdí konstantním zpomalením o velikosti $a = -0,1 \text{ m/s}^2$ postupně z počátečních rychlostí (V_0) 120 km/h, 100 km/h, 80 km/h a 60 km/h vždy do rychlosti 40 km/h. Finanční úspory uvedené v tabulce 1 jsou pak pouze orientační, určené pro případ cenové hladiny 4 Kč/kWh. Vzniklá úspora je v tomto případě vyjádřena jako absolutní, tedy pouze prosté celkové úspory v Kč pro jednotlivá brzdění, jelikož závislost produkce rekuperované energie na aktuální rychlosti není lineární a tím i na ostatních zde uvedených veličinách. Proto není možné při tomto zadání „rozumně“ vztáhnout energetické úspory k nějaké třetí nezávislé veličině.

Tab. 1 Rekuperovaná energie při zpomalovacím brzdění - simulační výpočet (zdroj: autor)

	Rekuperovaná energie [kWh]	Celkové odpovídající úspory [Kč]
120 – 40 km/h	19,486	77,9
100 – 40 km/h	13,800	55,2
80 – 40 km/h	8,397	33,6
60 – 40 km/h	3,628	14,5

V následujícím grafu jsou uvedeny výsledky rekuperované energie v tomto příkladě, a navíc jsou zde uvedeny i hodnoty pro jiné hmotnosti zátěže (200 t, 300 t, 400 t) při stejném zadání.



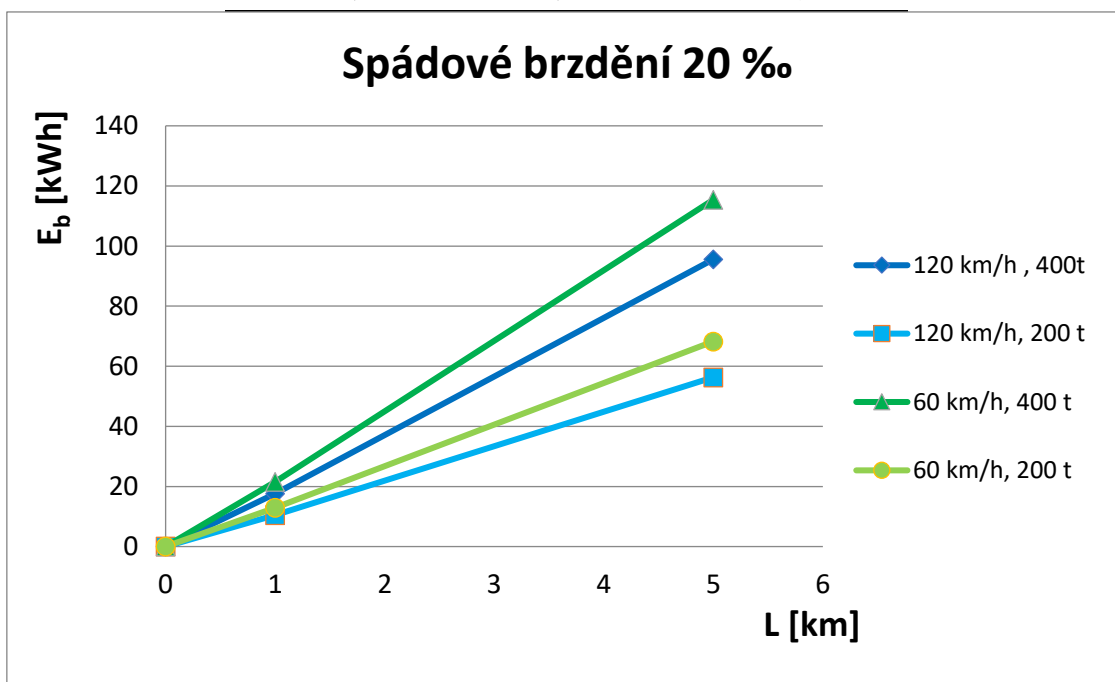
Obr. 2 Disponibilní rekuperovaná energie pro různé zpomalovací brzdění (zdroj: autor)

2.2. Příklad - spádové brzdění

V tomto příkladě je zvolen vlak o hmotnosti zátěže 200 t a 400 t, jedoucí konstantní rychlostí o velikosti 60 km/h nebo 120 km/h na traťovém úseku o délce 5 km a spádu 20 ‰. Pro udržení konstantní rychlosti musí tento vlak brzdít a vytvoří tak rekuperovanou energii uvedenou v tabulce 2. Pro případ cenové hladiny 4 Kč/kWh jsou pak finanční úspory na 1 km takového brzdění následující:

Tab. 2 Rekuperovaná energie při spádovém brzdění - simulační výpočet (zdroj: autor)

	Rekuperovaná energie [kWh]	Odpovídající úspory [Kč/km]
120 km/h, 400 t	95,579	76,5
120 km/h, 200 t	56,322	45
60 km/h, 400 t	115,410	92,3
60 km/h, 200 t	68,256	54,6



Obr. 3 Disponibilní rekuperovaná energie pro různá spádová brzdění (zdroj: autor)

3. Závěr

Finanční úspory uvedené v těchto modelových příkladech viz tabulka 1 a 2 se na první pohled nezdají příliš vysoké. Je to způsobeno tím, že se zde jedná pouze o velice malou část z celkového jízdního cyklu vlaku, tedy pouze o jedno jediné zabrzdění. V reálném provozu v závislosti na jeho charakteru dochází k brzdění obvykle častěji, a tím i k vyšším energetickým a s tím spojeným finančním úsporám. V některých specifických provozech, například v provozu metra, mohou takovéto úspory tvořit z celkové spotřebované trakční energie až 30 %, což v případě metra odpovídá až 15 % z celkových energetických nákladů na jeho provoz. Jelikož v systému metra tvoří trakční energie zhruba polovinu jeho celkové provozní energie.

I přes tyto výhody zatím bohužel v českém železničním prostředí k rekuperaci energie příliš nedochází a to z technických důvodů, legislativních důvodů a v neposlední řadě také i kvůli malé poptávce ze strany dodavatelů elektrické energie. Jedinou větší výjimkou je trať č. 196 z Českých Budějovic do Lince, a to zejména díky značným sklonovým poměrům na tomto úseku.



Literatura

- [1] ANTOŠ J., Efektivita rekuperačního brzdění, teze k DP, ČVUT, Praha, 2018
- [2] OPAVA J., Exact Calculations of Traction Energy Quantities, článek k 20. výročí založení FD ČVUT v Praze - 01.-30.09.2013, Praha, 2013, s. 225-230. ISBN 978-80-01-05320-1

Floppy logika - užitečný nástroj pro popis a řízení systémů

Pavel Provinskýⁱ

Abstrakt: Floppy logika je nový nástroj pro popis a řízení systémů. Může být použita např. při řízení křižovatek či autonomních vozidel, může ale i předpovídat počasí. Floppy logika je založena na prověřené a úspěšné fuzzy logice, ale, v porovnání s ní, má několik velkých výhod: Floppy logika může konzistentně pracovat s přesnými čísly, rozděleními pravděpodobnosti, fuzzy množinami i přesnými množinami současně. Floppy logika je kompatibilní s teorií pravděpodobnosti, tudíž můžeme používat všechny pravděpodobnostní nástroje. Všechny výroky, které jsou ekvivalentní ve standardní dvouhodnotové logice, jsou ve floppy logice ekvivalentní také. Všechny logické operace jsou jednoznačné. Není zde možnost výběru z mnoha různých triangulárních norem a konorem jako ve fuzzy logice.

Klíčová slova: floppy logika, floppy množina, fuzzy logika, teorie pravděpodobnosti, řízení systémů

Abstract: Floppy Logic is a new mathematical tool for systems control and description. It can be used e.g. to control of crossroads or autonomous vehicles, but it can also predict weather. Floppy logic is based on proven and successful fuzzy logic, but, compared to it, the new theory has several great advantages: Floppy logic can consistently work with exact numbers, probability distributions, fuzzy sets and exact sets together. Floppy logic is compatible with probability theory, so we can use all probabilistic tools. All statements, which are equivalent in standard bivalent logic, are equivalent in floppy logic too. All logical operations are unambiguous. There is not choice of many different triangular norms and co-norms as in fuzzy logic.

Keywords: floppy logic, floppy set, fuzzy logic, probability theory, system control

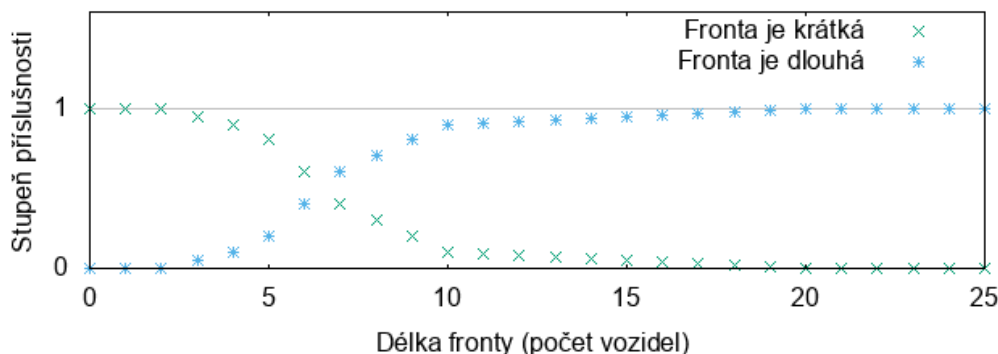
1. Úvod

Mnohé systémy lze dobře popisovat přirozeným jazykem s vágními pojmy. Např.: „Když už dlouho svítí červená a fronta vozidel je dlouhá, zapni zelenou.“ Nebo: „Když jedeš rychle a před tebou je prudká zatáčka, zpomal.“ Pokud chceme popis systému matematizovat, pak si s vágními pojmy jako: „červená svítí dlouho“, „fronta je dlouhá“, „jedeš rychle“, „zatáčka je prudká“ velmi dobře poradí fuzzy logika.

Hlavní myšlenkou fuzzy logiky je částečné patření prvků do množiny. Např.: Fronta dlouhá 20 aut je dlouhá na 100%, fronta dlouhá 10 aut jen na 90%, fronta dlouhá 2 auta není dlouhá vůbec. Tedy tyto fronty patří do množiny „fronta je dlouhá“ na 100%, 90%, 0%.

Takovým neostrým množinám, do kterých mohou prvky patřit jen částečně, se říká fuzzy množiny.

ⁱ Mgr. Pavel Provinský, ČVUT FD, Ústav aplikované matematiky, Na Florenci 25, 110 00 Praha 1, Czech Republic, pavel.provinsky@fd.cvut.cz.



Obr. 1 Funkce příslušnosti dvou fuzzy množin

Částečné patření prvků do fuzzy množiny je znázorněno tzv. funkcí příslušnosti dané množiny. Funkce příslušnosti pro množiny „Fronta je krátká“ a „Fronta je dlouhá“ mohou vypadat např. jako na obr. 1.

Mnohé systémy lze také dobře popisovat pomocí nástrojů teorie pravděpodobnosti, např. pomocí pravděpodobnostních rozdělení.

Pokud bychom však chtěli při popisu systému používat zároveň vágní pojmy i pravděpodobnostní rozdělení, zjistíme, že to je problém. Fuzzy logika a teorie pravděpodobnosti totiž nejsou kompatibilní. Nezbývá tedy než vyzkoušet nějakou ad hoc metodu. Anebo se naučit floppy logiku.

Floppy logika zachovává výhody fuzzy logiky i teorie pravděpodobnosti a umí konzistentně pracovat s přesnými čísly, přesnými množinami, rozděleními pravděpodobnosti i fuzzy množinami zároveň.

V tomto článku si povíme o historii, vzniku a hlavních myšlenkách floppy logiky a ukážeme si dva příklady. V prvním předvedeme logickou práci s floppy logikou, v druhém práci s jednoduchým systémem.

2. Historie

První článek o fuzzy logice napsal Lotfi Zadeh v roce 1965 [8]. V tomto článku zavedl pojmy fuzzy množiny a funkce příslušnosti a navrhl dokonce dva způsoby, jak by se pro fuzzy množiny daly zobecnit průnik a sjednocení. Brzy následovaly způsoby další (např. [4]). Postupně vznikl úzus, že jako zobecnění průniku a sjednocení může být použita kterákoli (spojitá) triangulární norma a konorma. Toto pojetí se poprvé objevilo v knize [1]. Je jen na tom, kdo fuzzy logiku používá, jakou konkrétní triangulární normu a konormu si pro svou aplikaci vybere.

Myšlenka propojit fuzzy logiku a teorii pravděpodobnosti není nová. Již Zadeh v článku [10] z roku 1968 zavádí pravděpodobnost fuzzy množiny. Tato definice je již velmi podobná definici z floppy logiky [7]. Přesto spojení obou teorií vede ke sporu [3].

Jiným zajímavým pokusem o spojení obou teorií je „teorie možnosti“ Lotfi Zadeha [9], Didiera Duboise a Henriho M. Pradea [2], kde jsou jevům připisována dvě čísla – možnost a nutnost.

Předzvěstí floppy logiky je článek [6] z roku 2013, kde autoři řeší otázku, které triangulární normy a konormy ve spojení se Zadehovou definicí pravděpodobnosti splňují Kolmogorovy axiomy teorie pravděpodobnosti.

Na podzim roku 2013 položil můj kolega Ivan Nagy otázku, zda je možné ve světě fuzzy množin najít strukturu, která by splňovala všechny Kolmogorovy axiomy. Hovořili jsme o tom, jaké by to bylo hezké, kdyby se tímto způsobem podařilo fuzzy logiku a teorii pravděpodobnosti propojit. Tak začala vznikat floppy logika, která se posléze stala tématem mé dizertační práce. Teoretické základy floppy logiky jsou položeny v článku [7] z roku 2017.

3. Základní myšlenky floppy logiky

Hlavní myšlenkou floppy logiky je najít takovou strukturu ve světě fuzzy množin, která by splňovala všechny Kolmogorovy axiomy teorie pravděpodobnosti.

Co je k tomu potřeba? V první řadě musíme jevy reálného světa popisovat nikoli přímo fuzzy množinami, ale floppy množinami. Floppy množiny jsou normální množiny, jejichž prvky jsou fuzzy množiny. Jedná se vlastně o podobný krok, jaký svého času učinil Kolmogorov ve své teorii pravděpodobnosti [5].

Dále je potřeba splnit těchto pět předpokladů:

1. Počet primárních fuzzy množin, kterými popisujeme nějakou veličinu, je konečný nebo spočetný.
2. Funkce příslušnosti těchto primárních fuzzy množin nabývají hodnot od 0 do 1.
3. Součet funkcí příslušnosti všech těchto primárních fuzzy množin je všude roven jedné.
4. Veličina, kterou popisujeme, má nějaké pravděpodobnostní rozdělení P .
5. Všechny funkce příslušnosti primárních fuzzy množin jsou měřitelné vzhledem k míře P .

Pak již struktura primárních fuzzy množin splňuje všechny axiomy Kolmogorovy teorie pravděpodobnosti. To znamená, že při práci s fuzzy, resp. floppy množinami můžeme používat všechny výtobytky teorie pravděpodobnosti.

Podrobnější vysvětlení najdeme v [7].

Základní překladový slovníček mezi světem fuzzy množin a teorií pravděpodobnosti pak vypadá takto:

Primární fuzzy množina Primární fuzzy množiny A_i popisují veličinu A . Jednoprvková množina $\{A_i\}$ je elementárním jevem ve smyslu teorie pravděpodobnosti.

Floppy množina Floppy množina je jevem ve smyslu teorie pravděpodobnosti. Floppy množiny budeme značit velkým tučným písmenem.

Pravděpodobnostní míra R Floppy logika předpokládá existenci nějaké pravděpodobnostní míry P a zavádí novou, obecnější, pravděpodobnostní míru. Aby nedocházelo k záměně, budeme ji značit R .

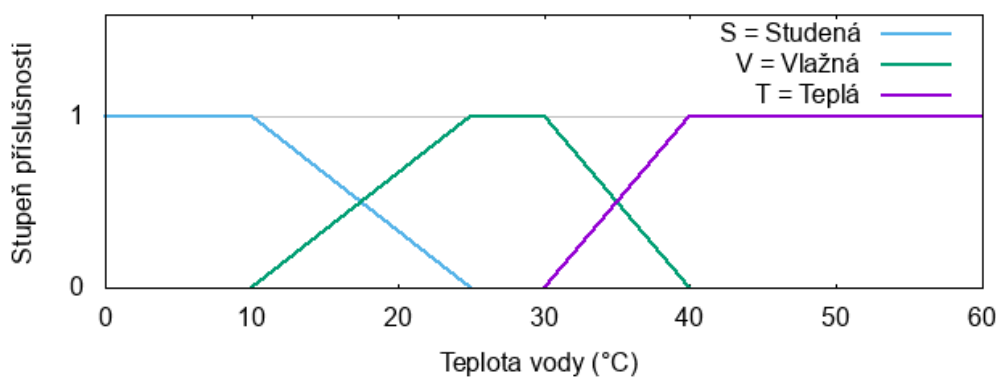
Funkce příslušnosti floppy množiny Funkce příslušnosti μ_B floppy množiny B je součtem funkcí příslušnosti $A_i \in B$. Funkce příslušnosti μ_B může být chápána jako podmíněná

pravděpodobnost $R(B|x)$. Tato podmíněná pravděpodobnost může být často interpretována jako pravděpodobnost, že nějaký expert určí, že nastal jev B , jestliže přesná hodnota veličiny A je x . Funkce příslušnosti floppy množin budeme značit tučným symbolem μ .

4. Ukázka logické práce s floppy logikou

Výroky ve floppy logice modelujeme floppy množinami a ty jsou dány svými funkcemi příslušnosti. Můžeme výroky tedy přiřazovat funkce příslušnosti.

Mějme teplotu vody popsanou třemi fuzzy množinami vyznačenými na obr. 2. Předpokládejme, že je splněno pět předpokladů floppy logiky.



Obr. 2 Funkce příslušnosti pro fuzzy množiny Studená, Vlažná, Teplá

Zkusme najít funkci příslušnosti nějakého složitějšího výroku. Např.: Voda je teplá právě tehdy, když je studená. Zapišeme:

$$A \Leftrightarrow B.$$

Nejprve převedme náš výrok na nějaký ekvivalentní, ve kterém figurují jen konjunkce, disjunkce a negace. Např.:

$$(A \wedge B) \vee (\neg A \wedge \neg B).$$

Výrok převedeme na floppy množinu tak, že konjunkci nahradíme průnikem, disjunkci sjednocením, negaci doplňkem a elementární výroky příslušnými floppy množinami:

$$\begin{aligned} &(A \cap B) \cup (A' \cap B'), \\ &(\{T\} \cap \{S\}) \cup (\{V, S\} \cap \{T, V\}), \\ &\emptyset \cup \{V\}, \\ &\{V\}. \end{aligned}$$

Funkce příslušnosti našeho výroku je tedy rovna funkci příslušnosti fuzzy množiny $V = \text{Vlažná}$. To je přesně výsledek, který bychom měli očekávat. Ekvivalence A a B totiž znamená, že A a B platí nebo neplatí zároveň. Zároveň studená i teplá voda není, ale zároveň neteplá a nestudená být může. Právě tehdy, když je vlažná.

Všimněme si nyní pozoruhodné věci. Vůbec totiž nezáleží na tom, na který ekvivalentní výrok náš původní výrok převedeme. Vždy obdržíme stejný výsledek. (Což ve fuzzy logice neplatí.)

V tomto smyslu jsou výroky, které jsou ekvivalentní ve standardní dvouhodnotové logice, ekvivalentní i ve floppy logice.

Zkusme např. tento postup:

$$\begin{aligned}
 &A \Leftrightarrow B, \\
 &(A \Rightarrow B) \wedge (B \Rightarrow A), \\
 &(B \vee \neg A) \wedge (A \vee \neg B), \\
 &(B \cup A') \cap (A \cup B'), \\
 &(\{S\} \cup \{V, S\}) \cap (\{T\} \cup \{T, V\}), \\
 &\{V, S\} \cap \{T, V\}, \\
 &\{V\}.
 \end{aligned}$$

5. Použití floppy logiky na jednoduchém systému

5.1. Zadání

Je krásně, chceme se jít koupat. Podíváme se na oblohu a podle množství mraků se snažíme odhadnout, jestli voda v jezeře bude teplá nebo studená.

Naše odhadování má tato pravidla:

- Pokud je jasno, bude voda na 90% teplá a na 10% studená.
- Pokud je polojasno, bude voda na 60% teplá a na 40% studená.
- Pokud je zataženo, bude voda na 20% teplá a na 80% studená.

Vstupní veličinou je tedy procento oblačnosti, kterou popisujeme třemi fuzzy množinami: A_1 = Jasno, A_2 = Polojasno, A_3 = Zataženo. Výstupní veličinou je teplota vody, kterou popisujeme dvěma fuzzy veličinami: B_1 = Teplá, B_2 = Studená. Příslušné fuzzy množiny mohou vypadat např. tak, jak je znázorněno na obr. 3.

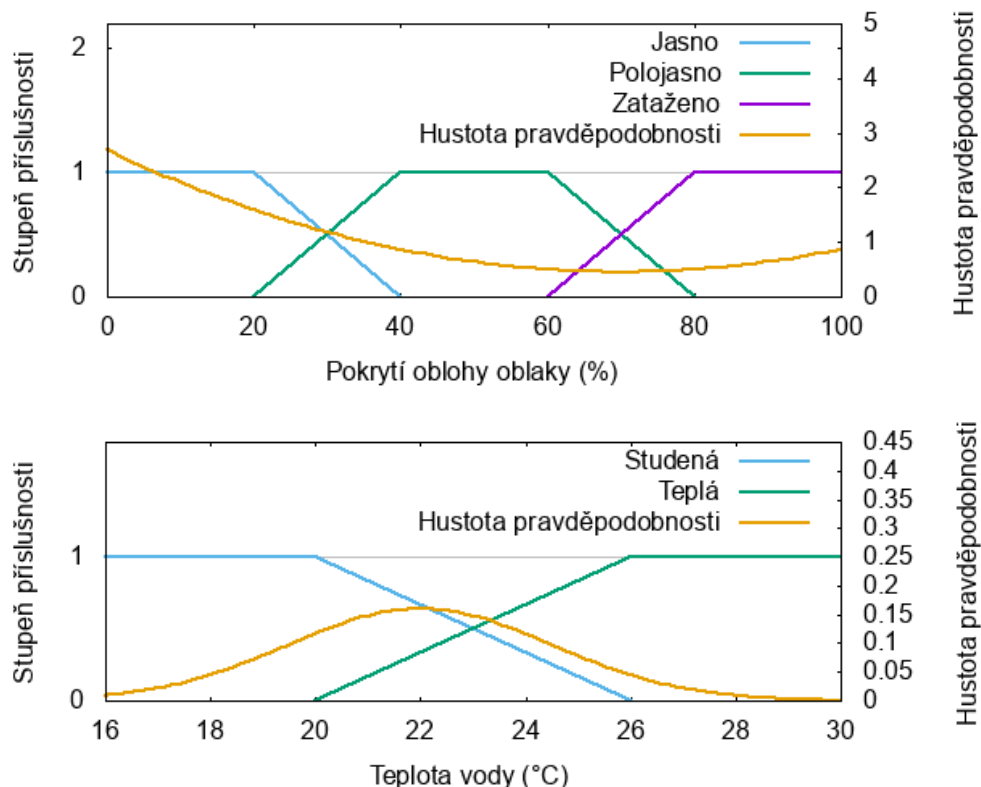
Na obrázku též vidíme hustoty pravděpodobnosti. To je ono rozdělení pravděpodobnosti, které předpokládáme ve čtvrtém předpokladu. Splněny jsou i ostatní předpoklady, můžeme tedy použít floppy logiku.

5.2. Fuzzifikace vstupních veličin

Vyjdeme před dům a podíváme se na oblohu. Odhadneme, že je pokryta mraky na 30%. Jaká je pravděpodobnost, že by nějaký expert prohlásil oblohu za jasnou, polojasnou nebo zataženou? K výpočtu použijeme zákon úplné pravděpodobnosti:

$$\begin{aligned}
 R(\{A_i\}) &= R(\{A_i\}|x = 0,3) \cdot R(x = 0,3) + R(\{A_i\}|x \neq 0,3) \cdot R(x \neq 0,3) = \\
 &= \mu_{\{A_i\}}(0,3) \cdot 1 + R(\{A_i\}|x \neq 0,3) \cdot 0 = \\
 &= \mu_{\{A_i\}}(0,3) = \begin{pmatrix} 0,5 \\ 0,5 \\ 0 \end{pmatrix}.
 \end{aligned}$$

Tím jsme získali pravděpodobnosti vstupních floppy množin.



Obr. 3 Funkce příslušnosti a hustoty pravděpodobnosti pro veličiny Pokrytí oblohy oblaky a Teplota vody

5.3. Aplikace pravidel systému

Nyní se budeme snažit získat pravděpodobnosti výstupních floppy množin. Nejprve si můžeme všimnout, že můžeme mluvit o dvou různých pravděpodobnostech výstupních veličin:

Apriorních, které počítáme bez znalosti vstupních veličin a posteriorních, které počítáme již s touto znalostí. Posteriorní pravděpodobnosti budeme značit indexem P .

Posteriorní pravděpodobnosti výstupních floppy množin snadno spočteme, pokud procenta z našich tří pravidel odhadování napíšeme do matice:

$$R^P(\{B_j\}) = R(\{B_j\}|\{A_i\}) \cdot R(\{A_i\}) = \begin{pmatrix} 0,9 & 0,6 & 0,2 \\ 0,1 & 0,4 & 0,8 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0,5 \\ 0,5 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,75 \\ 0,25 \end{pmatrix}.$$

Pravděpodobnost, že voda bude teplá, je tedy 75%.

5.4. První poznámka

Když si postup promyslíme, zjistíme, že jsme opět použili zákon úplné pravděpodobnosti, což je standardní prostředek teorie pravděpodobnosti. Využíváme tedy skutečnost, že ve floppy logice můžeme pravděpodobnostní nástroje používat.

5.5. Druhá poznámka

Všimněme si blíže matice:

$$R(\{B_j\}|\{A_i\}) = \begin{pmatrix} 0,9 & 0,6 & 0,2 \\ 0,1 & 0,4 & 0,8 \end{pmatrix}.$$

Ta interpretuje naše tři odhadovací pravidla jako šest podmíněných pravděpodobností. Taková práce s podmíněnými pravděpodobnostmi má mnohem širší aplikační možnosti než striktní IF – THEN pravidla, která najdeme ve fuzzy logice.

5.6. Třetí poznámka

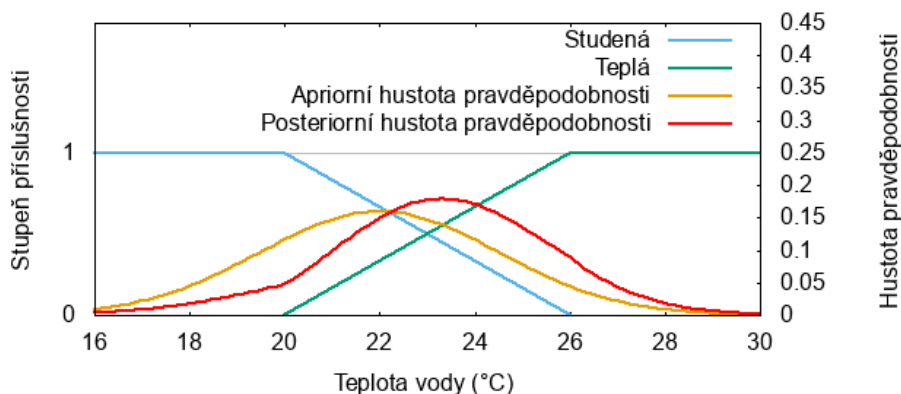
Mnoho aplikací floppy logiky má strukturu: fuzzifikace vstupních veličin – aplikace pravidel systému – defuzzifikace výstupních veličin. V našem příkladě jsme však vystačili již s pravděpodobností floppy množiny. Defuzzifikaci bychom potřebovali, pokud by například naše otázka zněla: Jaká je průměrná odhadovaná teplota vody? Tedy chceme výsledek nikoli jako pravděpodobnost floppy množiny, ale jako bodový odhad, čili číslo.

5.7. Defuzzifikace výstupních veličin

Odpovídáme tedy na otázku, jaká je průměrná odhadovaná teplota vody. Defuzzifikaci začneme tím, že spočteme posteriorní hustotu pravděpodobnosti teploty vody. K výpočtu použijeme zákon úplné pravděpodobnosti a Bayesovu větu: ²

$$\begin{aligned} f^P(x) &= f(x|\{B_1\}) \cdot R^P(\{B_1\}) + f(x|\{B_2\}) \cdot R^P(\{B_2\}) = \\ &= \frac{R(\{B_1\}|x) \cdot f(x)}{R(\{B_1\})} \cdot R^P(\{B_1\}) + \frac{R(\{B_2\}|x) \cdot f(x)}{R(\{B_2\})} \cdot R^P(\{B_2\}) = \\ &= \frac{\mu_{B_1}(x) \cdot f(x)}{\int_{-\infty}^{\infty} \mu_{B_1}(x) \cdot f(x) dx} \cdot 0,75 + \frac{\mu_{B_2}(x) \cdot f(x)}{\int_{-\infty}^{\infty} \mu_{B_2}(x) \cdot f(x) dx} \cdot 0,25 = \\ &= \frac{\mu_{B_1}(x) \cdot f(x)}{0,3737} \cdot 0,75 + \frac{\mu_{B_2}(x) \cdot f(x)}{0,6263} \cdot 0,25. \end{aligned}$$

Apriorní a aposteriorní hustota jsou znázorněny na obr. 4.



Obr. 4 Apriorní a aposteriorní hustota pravděpodobnosti

² Dosadíme funkce příslušnosti znázorněné na obrázku 3 dole a normální rozdělení se střední hodnotou 22 a směrodatnou odchylkou 2,5 z téhož obrázku.

Z hustoty pravděpodobnosti již spočteme střední hodnotu standardním způsobem:

$$E(x) = \int_{-\infty}^{\infty} x \cdot f^P(x) dx = 23,23.$$

Odhadujeme tedy, že voda má přibližně 23,2 °C.

6. Závěr

V tomto článku jsme představili floppy logiku. Krátce jsme se věnovali historii a základním myšlenkám této teorie. Na dvou příkladech jsme se pokusili předvést, jak je práce s ní jednoduchá a efektivní.

Literatura

- [1] DUBOIS, Didier a Henri M PRADE. Fuzzy sets and systems: theory and applications. New York: Academic Press, 1980. ISBN 01-222-2750-6.
- [2] DUBOIS, Didier a Henri PRADE. Possibility Theory. WEBSTER, John G., ed. Wiley Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering [online]. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2001, 1999-12-27 [cit. 2018-09-21]. DOI: 10.1002/047134608X.W3502. ISBN 047134608X. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/047134608X.W3502>
- [3] GAINES, Brian R. Fuzzy and probability uncertainty logics. Information and Control [online]. 1978, 38(2), 154-169 [cit. 2018-09-21]. DOI: 10.1016/S0019-9958(78)90165-1. ISSN 00199958. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0019995878901651>
- [4] GILES, R. Łukasiewicz logic and fuzzy set theory. International Journal of Man-Machine Studies [online]. 1976, 8(3), 313-327 [cit. 2018-09-21]. DOI: 10.1016/S0020-7373(76)80003-X. ISSN 00207373. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S002073737680003X>
- [5] KOLMOGOROV, Andrej Nikolajevič. Grundbegriffe der Wahrscheinlichkeitsrechnung. Berlin: Verlag von Julius Springer, 1933. Ergebnisse der Mathematik und ihrer Grenzgebiete, 2. Band, Nr. 3.
- [6] MONTES, Ignacio, Javier HERNÁNDEZ, Davide MARTINETTI a Susana MONTES. Characterization of continuous t-norms compatible with Zadeh's probability of fuzzy events. Fuzzy Sets and Systems [online]. 2013, 228, 29-43 [cit. 2018-09-21]. DOI: 10.1016/j.fss.2012.11.020. ISSN 01650114. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0165011412005052>
- [7] PROVINSKÝ, Pavel. Floppy logic - a younger sister of fuzzy logic. Neural Network World [online]. 2017, 27(5), 479-497 [cit. 2018-09-11]. DOI: 10.14311/NNW.2017.27.025. ISSN 23364335. Dostupné z: <http://nnw.cz/obsahy17.html#27.025>
- [8] ZADEH, L.A. Fuzzy sets. Information and Control [online]. 1965, 8(3), 338-353 [cit. 2018-09-21]. DOI: 10.1016/S0019-9958(65)90241-X. ISSN 00199958. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S001999586590241X>
- [9] ZADEH, L.A. Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility. Fuzzy Sets and Systems [online]. 1978, 1(1), 3-28 [cit. 2018-09-21]. DOI: 10.1016/0165-0114(78)90029-5. ISSN 01650114. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0165011478900295>
- [10] ZADEH, L.A. Probability measures of Fuzzy events. Journal of Mathematical Analysis and Applications [online]. 1968, 23(2), 421-427 [cit. 2018-09-21]. DOI: 10.1016/0022-247X(68)90078-4. ISSN 0022247X. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0022247X68900784>

Předzpracování surových dat z dopravních detektorů

Lukáš Hrdinaⁱ, Vladimír Faltusⁱⁱ

Abstrakt: Dopravní detektory na silniční síti produkují velké množství dat, které lze využít pro potřeby dopravního inženýrství nebo výzkumu. Stejně jako jakákoliv jiná surová data musí být tato nejprve předzpracována. Tento článek popisuje transformaci dat z výstupu detektoru do formátu vhodného k další analýze. Tato data jsou vytvářena dvěma druhy detektorů instalovaných na pražských hlavních komunikacích. Jsou popsány nejběžnější chyby spolu se způsoby, jak je napravit.

Klíčová slova: předzpracování dat, dopravní detektory, oprava chyb

Abstract: Traffic detectors on the road network produce large amounts of data that can be used for traffic engineering purposes or research. However just like any raw data, the data must be pre-processed first. This paper describes the transformation of raw data from a detector output to a format suitable for further analysis. The data is produced by two kinds of detectors installed on Prague main roads. The most common errors encountered are described along with methods how to mitigate it.

Keywords: data pre-processing, traffic detectors, error correction

1. Úvod

Zpracování dat z dopravních senzorů provádíme za účelem získání užitečné informace z naměřených dat. Tento proces sestává ze čtyř základních kroků: sběr dat, předzpracování dat, analýza a interpretace dat. Výsledkem druhého kroku (předzpracování dat) jsou data připravená k analýze. Tento krok sestává ze čtyř dílčích částí: čištění, integrace, transformace a redukce dat [1].

Čištění dat spočívá v nalezení a opravení chybných hodnot. Integrace dat je jejich slučování z více triviálně nekompatibilních zdrojů, v tomto případě ze dvou druhů detektorů. Kroky transformace a redukce dat v tomto článku nejsou popsány, neboť závisí na konkrétní úloze, pro kterou se bude analýza provádět. Tyto kroky jsou spojeny se ztrátovými úpravami dat. Cílem tohoto článku není popisovat konkrétní úlohy, ale věnovat se obecné přípravě maximálního souboru dat (bez zbytečných ztrát) pro jakoukoliv další analýzu.

Data, která byla zpracovávána, byla pořízena dvěma běžnými druhy dopravních detektorů: řezovými a úsekovými. Mezi těmito druhy detektorů existuje principální rozdíl v měření a tedy i částečně odlišný výstup, který je vrácen v různých výstupních formátech naměřených dat. Naměřená data jsou postižena výpadky, případně jinými chybami. Cílem je data z obou zdrojů sjednotit, aby mohla být analyzována společně. K tomu je nutné, aby data měla jednotný formát, identifikátory detektorů sledovaly stejnou logiku, dostupná byla celková data za všechny dílčí jízdní pruhy a intervaly měření byly synchronizované.

ⁱ Ing. Lukáš Hrdina, ČVUT FD, Ústav dopravních systémů, hrdinlu1@fd.cvut.cz

ⁱⁱ Ing. Bc. Vladimír Faltus, Ph.D., ČVUT FD, Ústav dopravní telematiky, faltus@fd.cvut.cz

Oba druhy detektorů pracují na principu videodetekce, která umožňuje pružnost při montáži detektoru a nastavení detekční plochy, zároveň však může být ovlivněna světelnými a povětrnostními podmínkami.

2. Formát dat

Tento článek prezentuje dopravní data na příkladu z Hlavního města Prahy. Exporty z databáze detektorů jsou v tomto případě ukládány v textovém formátu odděleném středníky (CSV). Struktura dat se liší v závislosti na druhu detektoru. Detektory integrují stavy dopravy obvykle do pětiminutových intervalů, kterým odpovídají záznamy v datových souborech (jednotlivé řádky v souboru CSV). Ne vždy se však jedná o přesnou periodu 5 minut (viz příklad uvedený v kap. 2.1). Začátky a konce měřicí periody se pro různé detektory mohou lišit. Originální data jsou k dispozici pro jednotlivé jízdní pruhy zvlášť.

2.1. Řezové detektory

Řezové detektory zaznamenávají identifikátor detektoru, směr jízdy, třídu vozidla (0=všechna vozidla, 1=osobní automobily, 2=těžká vozidla), průměrnou rychlost v km/h v časovém intervalu, počet vozidel za časový interval (intenzitu dopravy) a obsazenost detektoru v procentech (kterou lze určit pouze pro třídu vozidla 0). Rychlost a intenzita se zaznamenávají za každou třídu vozidel zvlášť (nový řádek záznamu). Každý řádek záznamu má uvedeno časové razítko konce záznamu, čas doručení na server a pořadové číslo intervalu. Jednotlivé CSV soubory se ukládají do adresářové struktury, například podle vzoru <rok>_<číslo_týdne>/<číslo_detektoru>/data_R<ID detektoru>-<směr měření><číslo pruhu>.csv. Obsah CSV souboru pak vypadá následovně:

```
Konec intervalu;Čas přijetí;ID;Třída;Počet;Rychlost;Obsazenost
2015-09-16 20:14:45;2015-09-16 20:14:53;144702;0;20;65;1
2015-09-16 20:14:45;2015-09-16 20:14:53;144702;1;20;65;
2015-09-16 20:14:45;2015-09-16 20:14:53;144702;2;0;0;
2015-09-16 20:19:45;2015-09-16 20:19:56;144703;0;34;66;1
2015-09-16 20:19:45;2015-09-16 20:19:56;144703;1;34;66;
2015-09-16 20:19:45;2015-09-16 20:19:56;144703;2;0;0;
```

Takovéto rozdělení souborů do složek implikuje skutečnost, že v datovém obsahu chybí informace, o který detektor a směr měření se jedná. Tato informace je součástí metadat adresářové struktury. Dělení souborů do adresářů podle roku a týdne je redundantní, neboť každý řádek v datovém obsahu také obsahuje časové razítko obsahující rok a týden.

2.2. Úsekové detektory

Úsekové detektory zaznamenávají pouze průměrnou rychlost v časovém intervalu a počet vozidel za tento interval (intenzitu dopravy), přičemž se rozlišují jízdní pruhy a nerozlišují se druhy vozidla. Směr jízdy se odvozuje z kódu detektoru, není samostatně uveden; pokud se měří dopravní proud v opačném směru, zajišťuje to detektor s jiným kódem.

Data jsou exportována do jednoho CSV společného pro všechny detektory, přičemž k rozlišení detektorů dochází na základě identifikačního kódu detektoru v každém datovém záznamu. Data z úsekových detektorů vypadají následovně:

Časové razítko;Detektor;Pruh;Intenzita;Rychlost
2016-03-14 14:00:00;SDDU_ZV-KA;1;46;32;
2016-03-14 14:00:00;SDDU_ZV-KA;2;66;29;
2016-03-14 14:05:00;SDDU_BS-KB;1;30;39;
2016-03-14 14:05:00;SDDU_BS-KB;2;51;46;

Oproti řezovým detektorům je každý datový řádek jednoznačně identifikovatelný, nejsou zapotřebí metadata z adresářové struktury.

2.3. Výsledná podoba dat

Data byla upravena tak, aby každý vzorek začínal v celém násobku pěti minut, byl jednoznačně identifikovatelný podle detektoru a směru a zaznamenané hodnoty bylo možné při následné analýze dat snadno získat filtrováním. Následuje ukázka upravených dat:

Čas začátku;Detektor;Pruh;Vozidlo;Původní čas;Intenzita;Rychlost;Obsazenost
2015-09-16 20:10:00;5S;2;0;2015-09-16 20:14:45;20;65;1
2015-09-16 20:15:00;5S;2;0;2015-09-16 20:19:45;34;66;1
2015-09-16 20:20:00;5S;2;0;2015-09-16 20:24:45;33;66;1
2015-09-16 20:25:00;5S;2;0;2015-09-16 20:29:45;30;67;1
2015-09-16 20:30:00;5S;2;0;2015-09-16 20:34:45;34;68;1
2015-09-16 20:35:00;5S;2;0;2015-09-16 20:39:45;24;66;1

Čas začátku je synchronizovaný čas. Jeho určení je blíže popsáno v kap. 3.4. Ve sloupci Detektor je nový identifikátor detektoru, jehož cílem je sjednotit a zjednodušit identifikaci detektoru. Nový identifikátor sleduje formát <číslo detektoru><směr>. Číslo detektoru označuje konkrétní profil nebo úsek měření. Číselné řady odlišují různé druhy detektorů. Směry jsou označeny písmenem podle hlavních světových stran. Položka Pruh značí číslo jízdního pruhu ve shodě s původními daty. Nula značí souhrnnou hodnotu za všechny pruhy. Ve sloupci Vozidlo je zaznamenána třída vozidla shodná s označením u řezových detektorů. Souhrnné hodnoty (použité také v případě, že se třída vozidla nerozlišuje) jsou označeny nulou. Původní čas odpovídá časovému razítku konce záznamu v originálních datech.

Intenzita, rychlost a obsazenost jsou měřené veličiny, přičemž intenzita je vyjádřena celkovým počtem detekovaných vozidel za časové období, rychlost je vyjádřena jako průměrná v km/h za časové období, a obsazenost detektoru v procentech doby, kdy by detektor obsazen. V případě, že obsazenost nemá smysl určovat (pro parciální druhy vozidel), je namísto prázdného pole uveden znak *N*, aby byl tento případ odlišen od případu chybějících dat. V upravených datech jsou vynechány hodnoty, pokud jsou také vynechány v originálu.

3. Převod dat do výstupní podoby

V této části je popsán postup převodu originálních dat z detektorů do výstupu pospaného výše v kapitole 2.3, včetně všech souvisejících chyb. Jak již bylo uvedeno, tento výstup bude použit pro další analýzu a musí nadále obsahovat výpadky dat, případně chybná data způsobená chybami měření. Podstatou převodu je získání konzistentního vzorku všech dat bez nelogických a nedosažitelných hodnot, který usnadňuje další analýzu.

Součástí převodu je i kontrola dat, pod kterou se rozumí systematická práce s vybranými chybami v datech, za účelem jejich odstranění; ostatní druhy chyb je naopak žádoucí ponechat dalším krokům zpracování. Při převodu se pracuje s následujícími typy chyb: nelogické

hodnoty, jednoznačně nedosažitelné hodnoty a duplicitní záznamy. Požadovaným výsledkem převodu je tedy odstranění duplicit a odstranění nelogických a nedosažitelných hodnot (výmaz těchto dat tak, že výsledek vypadá shodně jako chybějící data).

Dalším požadavkem na převod dat je časová synchronizace všech vzorků dat a výpočet celkových hodnot za jízdní pás na základě hodnot z dílčích jízdních pruhů. Pro tyto hodnoty je definován kód jízdního pruhu 0, zatímco dílčí jízdní pruhy jsou číslovány ve shodě s originálními daty.

Postup převodu dat spočívá v následujících dílčích krocích, jež jsou blíže specifikovány v dalších podkapitolách:

- kontrola struktury zdrojového datového souboru, včetně kontroly případných dalších neočekávaných sloupců nebo znaků;
- kontrola nelogických hodnot v záznamech (blíže v kap. 3.1);
- kontrola nedosažitelných hodnot v záznamech (blíže v kap. 3.2);
- kontrola duplicitních záznamů (blíže v kap. 3.3);
- časová synchronizace záznamů (blíže v kap. 3.4);
- výpočet hodnot za celý jízdní pás (blíže v kap. 3.5).

3.1. Nelogické hodnoty

Nelogické hodnoty označují taková data, která nejsou správná z logického nebo fyzikálního hlediska. Logické chyby vznikají při chybném zápisu hodnot do databáze, nepřameni z chyb v měření.

Základními příklady logických chyb jsou stavy, kdy pro stejné místo měření a časový interval je jedna z naměřených hodnot veličin (rychlost a intenzita) nulová a druhá nikoli. Takové stavy odporují principům měření – nelze určit rychlost pro nulový počet naměřených vozidel detekovaný v časovém intervalu, neboť nejsou-li k dispozici vozidla, nelze měřit jejich rychlost. Proto v rámci tohoto kroku dochází mj. ke kontrole, že v případě nulové intenzity je vždy nutná hodnota rychlosti podle konvence vynechat nebo nahradit nečíselnou entitou NaN. V případě popisovaného datového vzorku byla hodnota vynechána. Zároveň také nelze získat intenzitu pro nulovou rychlost, neboť nenulová intenzita implikuje pohyb vozidel. I v tomto případě lze zavést obdobnou kontrolu.

Další případ nelogičnosti lze najít v nulové rychlosti obecně. Použitý princip měření rychlosti pomocí videodetekce nebo úsekového měření spočívá v odvození rychlosti z dráhy a času při pohybu vozidla. Tedy změní rychlost pouze tehdy, je-li vozidlo v pohybu, čímž rychlost každého měřeného vozidla musí být nenulová. Nulová rychlost jako průměrná za časový interval je při tomto způsobu měření rovněž problematická, neboť nelze získat nulový průměr z nenulových hodnot dílčích vozidel.

Nulová rychlost jako reálný popis dopravní situace nastává teoreticky pouze v případě trvale stojící kolony, tedy při nulové intenzitě. To znamená, že vozidla stojí nehybně na komunikaci nejméně po jednu integrační periodu. V praxi taková situace nastává zřídka a netrvá zpravidla dlouho: komunikace je uzavřena kvůli průjezdu policejní kolony nebo před uzavřeným železničním přejezdem. U řezových detektorů lze stojící kolonu odvodit, pokud detektor měří i obsazenost a ta je na hodnotě 100 %. Z kontextu lze odvodit, zda se jedná o chybu či nikoliv.

Následující příklad dat udává chybu v rychlosti pro druh vozidel 2 (třetí řádek)

```
2015-08-18 17:19:57;2015-08-18 17:20:01;164593;0;72;45;9
2015-08-18 17:19:57;2015-08-18 17:20:01;164593;1;72;45;
2015-08-18 17:19:57;2015-08-18 17:20:01;164593;2;0;0;
```

Další příklad logické chyby představuje přítomnost neexistující hodnoty z číselníku. Pokud má komunikace dva pruhy označené 1 a 2 a jejich součet vedený pod kódem 0, nelze mít v datovém souboru pro daný detektor kód 3. Rovněž je třeba kontrolovat, zda kód detektoru není neznámý a zda datum a čas v časovém razítku jsou smysluplné hodnoty náležící do požadovaného časového rozsahu.

Všechny výše uvedené nelogičnosti jsou při převodu dat ošetřeny vymazáním nesprávných hodnot, čili nahrazením prázdným řetězcem. Vymazaná data je možné nahradit v dalších krocích zpracování.

3.2. Nedosažitelné hodnoty

Mezi tyto hodnoty lze zařadit nereálně vysokou rychlost, intenzitu nebo obsazenost. Může se jednat o libovolně vysokou hodnotu veličiny. V mnoha případech dochází k výskytu maximální hodnoty limitované datovým typem proměnné. Tyto druhy chyb jsou obvykle způsobeny špatnou detekcí nebo chybou v software obsluhujícího detektor.

Chybou detekce může dojít k naměření fyzikálně nemožné hodnoty. Příklady jsou průměrná pětiminutová rychlost 100 km/h na dlážděné komunikaci v intravilánu nebo průjezd 300 vozidel za pět minut jedním pruhem (odpovídá jednomu vozidlu za sekundu). Příklad abnormálně vysokých intenzit je následující (řádky 2 a 3):

```
2015-10-23 20:09:12;2015-10-23 20:09:13;157872;0;19;38;2
2015-10-23 20:14:12;2015-10-23 20:14:15;157873;0;765;116;20
2015-10-23 20:19:12;2015-10-23 20:19:13;157874;0;1097;117;28
```

Extrémní hodnoty lze snadno odhalit a eliminovat. Problém nastává, pokud se naměřená hodnota příliš neodchyluje od hodnot, které v dané lokalitě připadají v úvahu. Pokud je nejvyšší dovolená rychlost v profilu 50 km/h, pro rychlost 80 km/h nelze jen na základě velikosti hodnoty spolehlivě rozhodnout, zda se jedná o chybu detekce nebo soustavné porušování dopravních předpisů.

Při převodu dat jsou aplikována základní pravidla pro vyřazení jednoznačně nedosažitelných hodnot s tím, že ošetření ostatních abnormalit je ponecháno pro navazující kroky zpracování dat. Zvolené maximální limity mohou být např. intenzita 250 voz/5min/pruh, rychlost 200 km/h, obsazenost 100 %. Hodnota 255 vyjadřující přetečení v některých případech je tak spolehlivě odfiltrována. Vyloučeny musí být také všechny případné záporné hodnoty.

Uvedené nedosažitelné hodnoty jsou při převodu dat ošetřeny výmazem dat, je tak aplikován filtr typu „horní mez“ a „dolní mez“. Aby nedošlo k šíření chyby výpočtu, je nutné smazat hodnotu veličiny také u ostatních druhů vozidel ve stejném jízdním pruhu pro daný okamžik a to i pokud nepřesahují uvedené limity.

3.3. Duplicitní záznamy

V datech se mohou objevit (a objevují) duplicitní záznamy, kdy existuje dva a více záznamů pro stejný pětiminutový interval a shodné měřicí místo.

Tento druh chyby vzniká náhodně nebo z důvodu nepravidelné nebo kratší než očekávané periody měření, také např. při přechodu na letní čas a zpět. Případně i vinou nesprávného ukládání záznamů může dojít k duplikaci dat za celá časová období.

Chyba nejednotného přesného intervalu 5 minut je uvedena v příkladě v kap. 2.1. Kratší než pětiminutové intervaly udává následující příklad, oba záznamy spadají do shodné pětiminutovky:

```
2015-09-24 09:25:12;2015-09-24 09:25:45;15338;0;52;;85
2015-09-24 09:29:39;2015-09-24 09:29:51;15594;0;51;;86
```

Do této třídy chyb se zahrnují i chyby záznamu času, nejčastěji se jedná o chyby související se změnou času nebo při spuštění detektoru. Chyba při změně času je např. následující, kdy čas 03:03:59 je zobrazen jako 02:03:59 a je přesunut ze své původní polohy mezi špatné časy.

```
2015-10-25 02:03:51;2015-10-25 02:04:02;169359;0;3;44;0
2015-10-25 02:03:51;2015-10-25 02:03:59;169371;0;7;48;0
2015-10-25 02:08:51;2015-10-25 02:08:59;169360;0;6;56;0
---zde část dat vynechána---
2015-10-25 02:58:51;2015-10-25 02:59:01;169370;0;11;49;1
2015-10-25 03:08:51;2015-10-25 03:08:58;169384;0;6;60;0
```

Veškeré duplicity je třeba při převodu dat do výstupní podoby úspěšně vyřešit. Řešení závisí na analýze časové polohy i analýze dat z okolních časů, též na analýze historických dat. Tuto opravu nelze snadno automatizovat. Existuje totiž více možných řešení duplicit, ze kterých je nutné vybírat na základě uvedené analýzy. Vhodným postupem je tedy automatické upozornění na výskyt duplicity, poté příslušná analýza prováděná individuálně, a následná volba možného řešení, ať už pro jednotlivé výskyty, tak např. hromadná automatická oprava (např. při změně času lze provést pro všechny detektory).

Možností reakce na detekované duplicity je tedy více. Je možné duplicitu ignorovat a opakované výskyty týchž dat zahodit. Druhou možností je aktualizace dat, tedy náhrada již evidovaných dat daty načtenými podruhé. Třetí možností je sloučit duplikáty nějakou matematickou operací: součtem, aritmetickým průměrem, váženým průměrem apod. Tato úprava je vhodná při převodu dat s kratší měřicí periodou na data pětiminutová. Další možností je pak oprava časového záznamu – posun času jednoho z dvojice duplicitních vzorků. Tento krok je doporučen zejména tehdy, chybí-li v okolních (časově blízkých) datech nějaký vzorek. Následující příklad udává možnou opravu v druhém řádku (data zřejmě byla naměřena dříve než v čase 14:58:20, viz druhý časový údaj na stejném řádku).

```
2015-09-24 14:57:40;2015-09-24 14:57:56;49335;0;40;;6
2015-09-24 14:58:20;2015-09-24 14:53:08;49079;0;40;;34
2015-09-24 15:02:42;2015-09-24 15:03:24;49591;0;41;;5
```

3.4. Časová synchronizace záznamů

Součástí převodu dat do požadované podoby je časová synchronizace vzorků dat. Již bylo výše zmíněno, že ne všechny vzorky dat jsou ukládány v přesných pětiminutových periodách a tyto periody mohou mezi detektory vzájemně odsazené. Cílem je tedy vytvoření nové časové hodnoty (v kap. 2.2 označené jako Čas začátku) označující začátek časového intervalu,

ve kterém bylo nalezeno časové razítko ze záznamu. Tím se synchronizují rozdílné časy v časových razítkách z různých detektorů. Období měření se pak nachází v těsném okolí takto určeného nového synchronizovaného času.

Původní čas ze záznamu (časové razítko konce záznamu v originálních datech) je při převodu dat zachován pro případ, kdy je potřeba tento čas znát.

3.5. Hodnoty za celý jízdní pás

Součástí převodu dat je také výpočet hodnot za celý jízdní pás. Pro intenzitu je aplikován součet, pro rychlost vážený průměr přes intenzity v jednotlivých jízdních pružích, pro hustotu aritmetický průměr z jízdních pruhů.

Výpočet hodnot za celý jízdní pás je podmíněn existencí dat ze všech měřených jízdních pruhů, jinak dochází při výpadku dat z jednoho pruhu ke zkreslování hodnot. K situaci parciálně chybějících dat dílčích jízdních pruhů dochází zvláště v období velmi nízkých intenzit, resp. v noci, kdy zřejmě vlivem zhoršených světelných podmínek není k dispozici rychlost v některých nebo všech jízdních pružích jednoho detektoru. Příklad nočních výpadků rychlosti udávají následující data z úsekových detektorů (řádky 2 až 4):

```
2015-10-07 00:00:00;SDDU_MC-KO;1;5;71;  
2015-10-07 00:00:00;SDDU_MC-KO;2;9;;  
2015-10-07 00:00:00;SDDU_MS-MI;1;3;;  
2015-10-07 00:00:00;SDDU_MS-MI;2;6;;  
2015-10-07 00:00:00;SDDU_NS-CE;1;3;;  
2015-10-07 00:00:00;SDDU_PB-PO;1;8;58;
```

Nejsou-li k dispozici hodnoty za všechny jízdní pruhy, není možné při převodu dat určit celkovou hodnotu za celý jízdní pás a tato hodnota je vynechána a indikována jako chybějící data, která lze nahradit v následných krocích, stejně jako lze činit u libovolných jiných výpadků dat.

4. Ukázky chyb ve výstupních datech

Po převodu dat do výsledné podoby došlo k odstranění výše uvedených chyb znemožňujících snadnou analýzu všech dat. V datech byly záměrně zachovány chyby, které jsou mimo jiné cílem navazujících analýz: výpadky dat a chyby měření. Data byla prohlížena v software pro vizualizaci dat Tableau, ve kterém byly vytvořeny níže uvedené diagramy.

4.1. Výpadky dat

Výpadek dat nastává, pokud v daný časový interval nejsou zaznamenána data. Výpadek může být částečný, kdy chybí data některých veličin, nebo úplný, kdy není zaznamenána žádná veličina. Výpadky mohou být krátkodobé, kdy je nedostupných několik málo hodnot po sobě, a dlouhodobé, kdy není naměřeno více hodnot. Přesná hranice mezi dlouhodobými a krátkodobými výpadky závisí na kontextu a zamýšlenému použití dat. Pro účely sledování dynamiky provozu v exponovaných obdobích je i 15 minut (3 vzorky) dlouhá doba.

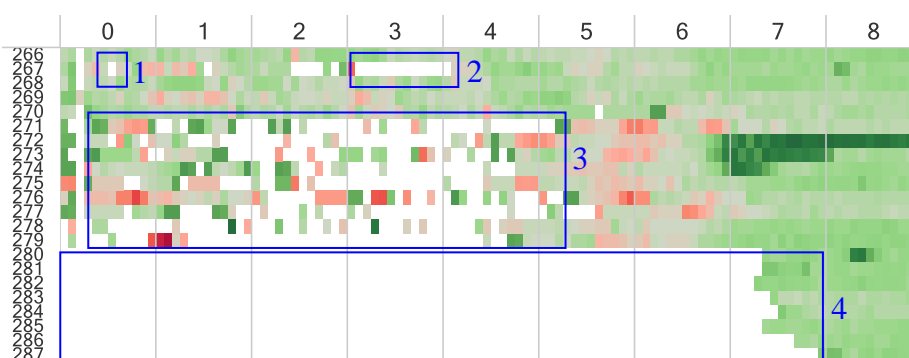
Zatímco krátkodobé výpadky lze snadno nahradit interpolací, u dlouhodobých je nutné použít pokročilejší metody, jejichž spolehlivost klesá s rostoucí délkou výpadku. Může se jednat například o odvozování podle historie či odhadování na bázi statistických metod [2]; při výpadcích trvajících hodiny až dny lze chybějící data považovat za nenahraditelná. Zvláštním

případem jsou delší období s mnoha krátkodobými výpadky za sebou, prokládaná správnými hodnotami.

Většina výpadků je nezávislá na ostatních, ale vyskytují se i systémové výpadky, kde dojde k výpadku na více detektorech najednou.

Na Obr. 1 je zobrazen výřez dat z jednoho detektoru. Na vodorovné ose jsou vyznačeny hodiny dne, na svislé ose pořadí dne v roce. Jeden pixel reprezentuje pětiminutový vzorek dat. Barva vzorku vyjadřuje rychlost – zelené vzorky jsou nízké rychlosti, červené vysoké. Bílá značí vzorek bez dat (s výpadkem).

Obrázek zachycuje několik druhů výpadků: číslo 1 je krátkodobý výpadek o délce jednoho vzorku. Dlouhý výpadek je označen číslem 2. Číslo 3 vyznačuje oblast, kde po dobu několika dnů vždy ráno dochází k mnoha krátkodobým i delším výpadkům. Jelikož byla ve stejnou dobu u všech vzorků naměřena nenulová intenzita, jedná se prokazatelně o výpadky měření a zároveň se jedná o ukázkou částečného výpadku. V oblasti 4 dochází k totálním dlouhodobým výpadkům, které trvají od půlnoci do rána.



Obr. 1 Ukázka výpadků dat dopravního detektoru

Náhodné výpadky mohou být způsobeny ztrátou datagramu s naměřenými hodnotami, poruchou hardwaru nebo chybou v softwaru, případně špatnou detekcí. Systémové výpadky bývají způsobeny poruchami, ztrátou konektivity nebo servisními zásahy na ústředním serveru správy detektorů nebo na podřízených uzlech, které spravují nižší skupiny detektorů.

Videodetektory potřebují mít odkrytý pohled na detekční smyčku. Meteorologické jevy, jako mlha, silné dešťové srážky či sněžení způsobují přechodné zhoršení detekce. Snímaná scéna může být zakryta větvemi stromů, což může být obtížné odhalit bez návštěvy místa instalace detektoru. Větve mohou být zrádné tím, že během instalace může být vše v pořádku a k zakrytí výhledu dojde časem. Odhalení problému ztěžuje i skutečnost, že výhled nemusí být zakrytý vždy, ale například pouze během vegetačního období za silného větru. Znečištěná optika kamery také přispívá ke snížení kvality detekce. Kamery využívající přisvětlování infračerveným světlem nejsou schopny během jeho výpadku za tmy měřit.

4.2. Chyby měření

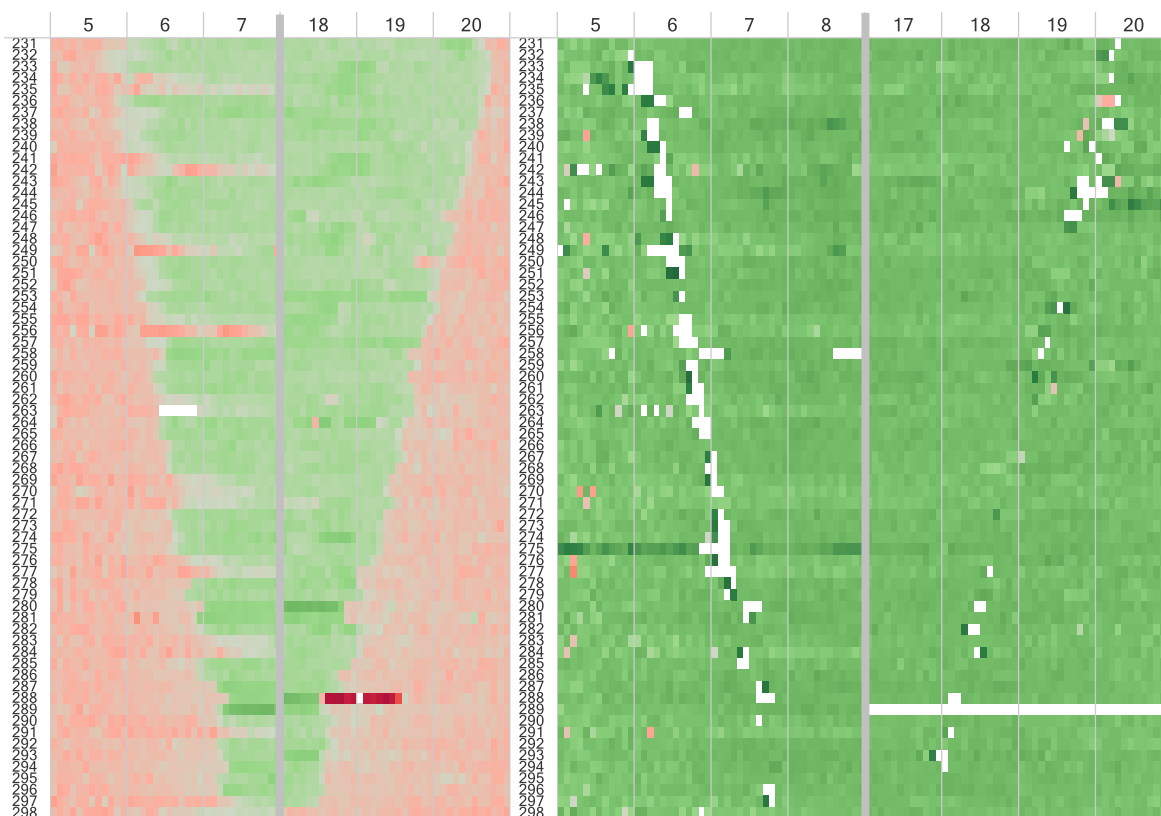
Videodetekce vozidel je poměrně složitý proces citlivý na vnější vlivy. Detekce nemusí selhat zcela, ale může poskytovat nesprávná data. Jevy způsobující výpadky popsané v předchozím odstavci mohou také vést k chybně naměřeným hodnotám.

Pokud se podaří detekovat jen část vozidel, podhodnocují detektory intenzitu provozu ve sledovaném profilu. Úsekové detektory vyžadují pro měření rychlosti dvě detekce vozidla

a jejich spárování, což opět snižuje pravděpodobnost úspěšné detekce. Nejsou-li naměřeny evidentně nesmyslné hodnoty, je zjištění nesprávného stavu obtížné a musí se prověřit srovnávacím měřením v terénu.

V případě ovlivnění detektoru sluncem lze pozorovat skokové změny v naměřených hodnotách, které se v čase mění. Na Obr. 2 jsou záznamy ze dvou detektorů, které byly ovlivněny sluncem. U detektoru vlevo se změna osvětlení projevuje skokovým snížením rychlosti. Snížení rychlosti nelze přisoudit nástupu ranní špičky, neboť ta začíná během roku přibližně ve stejnou dobu. Odpoledne dochází k opačnému jevu. Slunce vychází 231. den v roce v 5:57 a zapadá ve 20:13. Východ slunce nastává 298. den v 7:40 a zapadá v 17:51. Obálka změny rychlosti odpovídá změně délky dne. Rychlost se během dne pohybuje okolo 45 km/h, zatímco za tmy je to o 10 km/h více.

V diagramu je dále zachycena chyba, která nastala 288. den v 18 hodin, kdy došlo k náhlému zvýšení detekované rychlosti na 150–160 km/h. Zároveň došlo ke skokovému zvýšení intenzity ze stabilních 100 vozidel/5 min na 200–430 vozidel/5 min. Druhý diagram zachycuje podobný úkaz na jiném detektoru, který se projevuje krátkodobými výpadky, které opět sledují změnu délky dne.



Obr. 2 Ukázka ovlivnění detektorů sluncem

5. Závěr

V článku byl popsán formát dat ze dvou druhů dopravních detektorů a požadovaný formát předzpracovaných dat, přičemž byla popsána nejednotnost dat z více druhů detektorů. Dále byl popsán postup předzpracování dat do podoby usnadňující další zpracování především z důvodu nekonzistence dat, duplicit a nelogičností.

Výsledky analýzy s využitím diagramů den-čas-rychlost poukazují na výpadky a chyby v měření způsobené mnoha příčinami, které byly uvedeny. V závislosti na účelu práce s daty lze přistoupit k opravám dat nebo analýze a opravě detektoru respektive systému měření.

Pomocí diagramů lze odhalit jak výpadky, tak neregulérnosti v datech. Předzpracovaná data lze následně využít pro další analýzu pomocí vhodných softwarových nástrojů.

Literatura

- [1] Janota, Aleš et al. Aplikovaná telematika. 1. Žilina: EDIS, 2015. ISBN 9788055410371.
- [2] T, Bellemans, De Schutter B a De Moor B. Data acquisition, interfacing and pre-processing of highway traffic data. *Proceedings of Telematics Automotive 2000*. 2000, (1), 4/1–4/7.

A road towards the Total Airport Management (TAM)

Miroslav Spak, Petr Likar

Abstrakt: Bezpečné a zejména efektivní využívání provozní kapacity letišť i v době provozních nepravidelností, lze docílit, stejně jako v případě úspěšného konceptu A-CDM, pouze za předpokladu dokonalého informačního, technologického a technického propojení všech partnerů podílejících se na zajištění leteckého provozu. Chceme-li letiště vést k myšlence TAM, pak je nezbytné definovat kroky, které nejdříve zajistí vytvoření společného provozního plánu (AOP – Airport Operations Plan). Základním cílem článku je popsat techniku, která nás navede k úspěšné implementaci TAM a následně nám umožní aplikovat principy tohoto konceptu do denního provozu. V obecné rovině, veškerá pozornost, by měla být věnována informacím a datem obsaženým v AOP, kterých řízení a správa povede k očekávaným benefitům.

Klíčová slova: TAM, AOP, partneři, KPIs, zdroje

Abstract: To achieve safe and efficient utilization of available airport capacity at times of operational deviations, it is necessary to expand A-CDM platform in a manner that ensures thorough technical, technological and informational interconnection of all stakeholders present in the airport operations. The result of such a common effort is called Total Airport Management (TAM), basis of which are nestled in the Airport Operations Plan (AOP). The main objective of the article is to describe a technique leading towards a successful TAM implementation and subsequent translation of its cardinal functional principles into day-to-day operations. In general, the attention shall be paid to all data and information stored in the AOP as only proper administration and monitoring process of the latter might deliver anticipated benefits.

Keywords: TAM, AOP, stakeholders, KPIs, resources

1. Current status

Airports are busy and complex environments to manage, involving a multitude of operations and stakeholders that need to be synchronised to ensure the best possible passenger experience. They are also essential nodes within an intricate airspace Network, ensuring seamless traffic flow. Needless to say then that if disruption hits an airport, then it can have a significant knock-on effect on the rest of the Network. Airport operators and the rest of partners concerned have been making efforts to streamline their operations by inclusion of information sharing platform. The platform provides all involved with pre-set KPIs to monitor and in case of any breach of the performance thresholds, the system allows for timely and sensible reaction leading towards minimum impact on operations.

1.1. A-CDM

In order to improve and to sustain airport operations through the period of disruptions the A-CDM was developed. It provides better information sharing between local stakeholders such as airport operators, ground handlers and air traffic controllers. Currently, A-CDM involves all partners in the tactical phase (up to 3 hours look-ahead time). It ensures that the right airport partners obtain accurate data at the right time in the right place, thus improving shared information as well as the quality of subsequent decisions resulting from improved data. It is needful to say that the implementation of A-CDM across European airports has brought significant benefits including reduced push-back delays, shorter taxi-out times, better use of ground handling resources, fewer late stand/gate changes and increased peak departure rates.

These results clearly show that A-CDM pays off, however authorities strive to evolve the latter even further. Thus the partners came up with APOC, which is organised as a physical or virtual centre and provides stakeholders including airlines, ground handlers, air traffic controllers, security, emergency services and airport management, with a set of commonly agreed KPIs in order to take timely decisions. The latter is drawn from the AOP, which apart from airside processes forming part of A-CDM platform, also includes selected landside milestones impacting air traffic management, such as passenger flow data and meteorological data.

1.2. APOC

The concept consists of a real-time monitoring system, a decision-support system and a set of standard collaborative procedures. Acting upon all three elements, the APOC staff can continuously monitor the AOP and detect and even anticipate deviations from the plan and potential disruptions. They can then take corrective action in advance to maintain performance even in adverse weather or exceptional conditions. As stakeholders update their intentions, or accurate flight progress information is received, the AOP is refined and used to manage resources and coordinate operations. In other words, the APOC offers stakeholders a very transparent picture of what is happening at the airport and provides them with the means to work together to deal with situations before they become real problems.

The APOC also connects the AOP with information from the Network Operations Plan (NOP), a comprehensive global plan for the network. This is critical step to improving the accuracy of short-term air traffic flows in the network, as well as enabling improved target time coordination and decision-making. The combination of AOP and NOP increases predictability across the network and, of course, at individual airports.

Ultimately, both empower airports to be the ground coordinators of their local operations but also the Network at large. And better predictability means reduced delays, unnecessary fuel burn and cost savings for airlines and better services for passengers. The AOP and NOP solutions are essentially the basis for building an APOC.

The techniques used in APOC and A-CDM can provide accurate forecasts so that airports better understand the key factors that influence passengers connection time and reduce the risk of missed flights. In addition, airports with significant ratio of transfer activities can also improve the accuracy and stability of the target off-block time (TOBT), which is critical for optimized air traffic flow management. Entire mechanism of effective control of passenger and aircraft flows delivers to all concerned ample opportunity to utilize their resources in best manner possible.

APOC might be designed as a centralized unit with all stakeholders put together in a single room, or otherwise as a decentralized solution where respective stakeholders access the information sharing from their own operation rooms.

1.2.1 AOP

The tool is defined as means enabling coordination of activities being in progress throughout the air traffic flow and to which certain KPIs have been assigned. The KPIs are being constantly updated in time (from flight planning period till day of operations) until they reach their final values which then form elements of AOP. The data embedded into AOP originates from various phases of flight planning horizon and so their classification looks as follows:

1. Strategic data – 6 months – 7 days prior to the day of operation
2. Pre-tactical data – 7 days – 1 day prior to the day of operation
3. Tactical data – day of operation

The data evolving in time play crucial role for airlines which obtain a better view of capacity. APOC further provides airlines with potential risk of a shortfall, which was beyond the scope of A-CDM. The expanded also includes arrivals, allowing for more predictable operations and adaptive planning. An efficient use of resources is crucial to ground handlers nonetheless. Increased predictability with a time horizon extending past A-CDM leads to more reliable planning of resources. For ANSPs, the increased predictability could entail more flexibility in staff and resources planning. Similar staff planning flexibility also applies for security and border control. As stated beforehand AOP caters for inclusion of landside processes where passenger flows are duly monitored using performance thresholds (time, volume, etc.), thus airports witness minimum disruptions.

2. TAM

To satisfy a need of all concerned it is necessary to replace obsolete reactive planning process by proactive one called TAM.

2.1. Basic procedural and technical set-up

Fundamental TAM principles benefit planning and task execution phases associated with aircraft and passenger handling. Entire process is monitored, controlled and directed from APOC where all stakeholders collaborate on decision making.

When launching such a cooperation a clear procedural layer shall be composed so as to ensure seamless workflow of parties involved. Procedural layer could be designed as shown at Diagram 1 below.

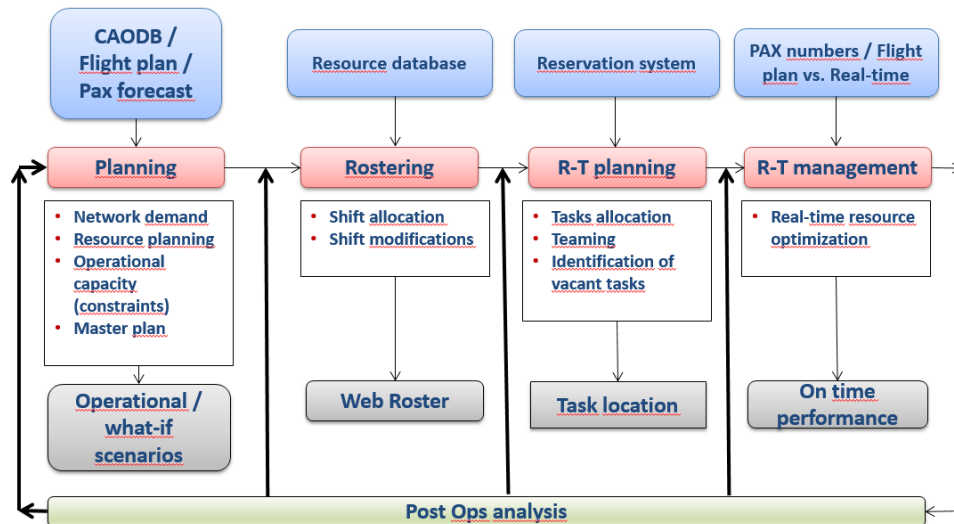


Diagram. 1

Even though presented arrangement is quite generic, its integration into practice might be applicable. Very first prerequisite to functional TAM stems in availability of flight data stored in both the airport database (AODB) and airline's reservation system. Then it is a role of technical layer and presence of adequate tools to cater for long-time planning, rostering and real-time management. It is best practice to implement application which would embed all aforementioned tools into single solution so as to avoid over-fragmentation. All data drawn and generated in the course of flight planning and execution itself is ultimately archived in the AODB for further analysis improving future operations.

3. Conclusion

Better planning and execution of airport and network operations results in an improvement in utilisation of resources, airspace and airport infrastructure and in a reduction in reactionary delays. Information sharing between airport operations and network operations will assure the best overall system outcome while addressing the needs of airport actors, the ATM network, individual aircraft operators and the passengers who depend on their services. Where A-CDM focuses on individual aircraft processes that are restricted to a few hours before the flight, the TAM's content is strategically created typically six months ahead of the day of operations and addresses the airport's overall performance. Due to improved predictability available resources might be used in an optimised way and overcapacities can be reduced or prevented. Furthermore situational awareness of predicted events will surely increase customer satisfaction.

References

- [1] Eurocontrol (www.sesarju.eu)
- [2] ACI (www.aci.aero)
- [3] Own research

Aircraft Contrail Research

Sébastien Lánⁱ, Tereza Topkováⁱⁱ, Iveta Kameníkováⁱⁱⁱ

Abstrakt: Kondenzační stopa je umělý oblak mající podobu pruhu, který se tvoří za letadly. Její životnost může dosahovat několika hodin, přičemž se může dále rozšiřovat a přejít v indukovanou cirrovitou oblačnost. Kondenzační stopy způsobují pozitivní radiační působení a přispívají tak k oteplování atmosféry. Tento článek popisuje vznik kondenzačních stop, jejich dopad na podnebí a výzkum zaměřený na kondenzační stopy, který probíhá na Ústavu letecké dopravy, Fakultě dopravní, Českém vysokém učení technickém v Praze. Výzkum je založený na pozorování kondenzačních stop a využití zpráv ADS-B, zpráv módu S a výsledků aerologického měření. Cílem je zjistit, jak často se kondenzační stopy tvoří, jaká je jejich životnost a další vlastnosti v závislosti na meteorologických podmínkách.

Klíčová slova: letadlo, kondenzační stopa, emise, podnebí, radiační působení, ADS-B, Mód S, BDS registr, aerologické měření

Abstract: Contrails are line-shaped clouds formed behind aircraft which may persist for hours while growing to resemble cirrus clouds. Contrails cause positive radiative forcing which tends to warm the atmosphere. This paper describes the contrail formation, climate effect and contrail research carried out by the Department of Air Transport, Faculty of Transportation Sciences, Czech Technical University in Prague. The research is based on contrail observation, ADS-B messages, Mode S messages and aerological measurement. The aim of the research is to identify the frequency of contrail occurrence, their lifetime and other properties and compare them to meteorological conditions.

Keywords: aircraft, contrail, emission, climate, radiative forcing, ADS-B, Mode S, BDS register, aerological measurement

1. Introduction

Condensation trail or contrail is one of the most visible anthropogenic effects on the atmosphere. Contrail is a white strip composed of ice crystals which forms behind an aircraft flying in cold air due to water vapor emissions. It has become a common sight since the 1960s due to civil jet aircraft traffic increase. A contrail forms due to high content of water vapor in the engine exhaust plume. When the air is supersaturated, contrails might cause contrail cirrus. Contrails together with contrail induced cloudiness increase the global cloud coverage and have negative impact on the radiation balance of the Earth-atmosphere system. Therefore, it is important to research contrail formation, properties and techniques to avoid contrails. This paper describes the thermodynamic principle of contrail formation, contrail negative impact on

ⁱ Ing. Sébastien Lán, Czech Technical University in Prague, Faculty of Transportation Sciences, Department of Air Transport, Horská 3, 128 03 Praha 2, Czech Republic, e-mail: lansebas@fd.cvut.cz

ⁱⁱ Ing. Tereza Topková, Czech Technical University in Prague, Faculty of Transportation Sciences, Department of Air Transport, Horská 3, 128 03 Praha 2, Czech Republic, e-mail: topkoter@fd.cvut.cz

ⁱⁱⁱ Mgr. Iveta Kameníková, Czech Technical University in Prague, Faculty of Transportation Sciences, Department of Air Transport, Horská 3, 128 03 Praha 2, Czech Republic, e-mail: kamenikova@fd.cvut.cz

the atmosphere and ongoing scientific research carried out by the Department of Air Transport at the Czech Technical University in Prague [1, 2].

2. Contrail formation

2.1. Principle of contrails formation

Contrail is an artificial cloud which looks like cirrus or cirrocumulus and forms behind jet engines in the upper troposphere and lower stratosphere. Contrail is initially 5 m to 10 m wide and forms at a distance of 50 m to 100 m behind an aircraft. Its lifetime is usually less than forty minutes. It forms at altitudes from 7 km to 12 km where the ambient temperature is about -40°C to -50°C [3].

Contrail formation is caused by increase in relative humidity in the engine plume as a result of mixing hot and moist exhaust gases coming out of the engine with cold ambient air. Fuel used by present jet aircraft is kerosene, primarily composed of hydrocarbons. There are two main products of kerosene combustion – carbon dioxide and water vapor. The second mentioned product has a major impact on contrail formation. The kerosene water vapor emission index is about 1,23. It means that combustion of one kilogram of kerosene gives 1,23 kg of water vapor. The consequence of large value of emission index is high content of water vapor in aircraft engine exhaust [4, 5].

If the ambient air is cold enough the moisture in the engine plume may reach saturation point, i.e. state when the air water content cannot be higher. The moisture may even reach supersaturation point. Supersaturated air contains more water molecules than possible. These molecules tend to go from gaseous state to liquid state and solid state, respectively. When the air is supersaturated condensation (gas to liquid state transition) eventually deposition (gas to solid state transition) begins. Water droplets and ice crystals formation is necessary to achieve equilibrium state. Due to condensation and deposition the ambient air goes from the supersaturated state back to the saturated state.

During the condensation process water droplets are being developed. The water vapor condenses mainly on ambient and exhaust aerosols called condensation nuclei. Especially soot particles are very suitable to act as condensation nuclei. Due to very low ambient temperature the water droplets instantly freeze, form icy crystals and grow via deposition. The ice crystals grow as long as the humidity with respect to ice is above the saturation point [1, 4].

Contrail shape and lifetime is dependent on several meteorological factors which include relative humidity, turbulence, atmosphere vertical movements. Contrail eventually dissipates via sublimation (solid to gas state transition) if relative humidity with respect to ice is below the saturation point or by precipitation into non-saturated layers below the flight level [1].

2.2. Schmidt-Appleman criterion

The basic rule defining whether a contrail will occur or not is the Schmidt-Appleman criterion. According to this criterion contrail forms if the humidity in the engine plume reaches liquid saturation. Saturation with respect to ice is not sufficient for contrail formation. When the air is supersaturated with respect to liquid water, the water vapor starts to condense [6, 7].

The Schmidt-Appleman criterion is met when the ambient temperature is below the threshold temperature. The threshold temperature sometimes called critical temperature is the highest temperature which allows contrail formation for a given ambient water vapor partial pressure, exhaust gases temperature and exhaust water vapor partial pressure [7].

Jet aircraft with overall propulsion efficiency of 0,3 cause contrails as follows. If the ambient temperature corresponds to the standard atmosphere and the relative humidity with respect to liquid water is 100 % (the air is saturated), aircraft cause contrails within the altitude range from 8,2 km to 19 km. If the relative humidity with respect to liquid water is 0 % (the air is completely dry), aircraft cause contrails within the altitude range from 10,2 km to 14 km [4].

The ambient air temperature is very low in places of high altitude. The lower the temperature is, the lower the water vapor partial pressure sufficient for contrail formation is. Hence, contrails form more easily at high altitudes where the ambient temperature is low.

3. Climate impact of contrails

Aircraft emit gases (mainly greenhouse gases carbon dioxide and water vapor) and particles in the upper troposphere and lower stratosphere. These substances cause changes in greenhouse gases concentrations, may trigger contrails formation, increase cirrus coverage and change other clouds properties, and hence they may contribute to climate change [8].

3.1. Contrail coverage

Contrails formed in a dry air dissipate very quickly. The global short-lived contrail coverage is very low and has a negligible impact on the climate. If there is a high content of water vapor and low ambient temperature, contrails might persist for hours. During their lifetime they might spread and become contrail cirrus. Contrail induced cirrus can form more easily than natural cirrus because the formation of cirrus requires higher humidity than for contrail persistence and spreading [5].

Unlike the line shaped contrails, it is very difficult to determine the coverage of contrail induced cloudiness. Contrail cirrus looks like a natural cirrus, so it is hard to distinguish a contrail cirrus from natural cloudiness. The largest coverage of persistent contrails and contrail induced cloudiness has been found in regions with high density of air traffic, namely over central Europe, over the east coast of the United States of America and over the east coast of southeast Asia [9, 10].

3.2. Radiative forcing

Contrails and contrail cirrus affect the cloudiness of Earth's atmosphere and therefore might affect the atmospheric temperature and climate. They reflect some solar (short-wave) radiation that would otherwise warm the Earth-atmosphere system and absorb some infrared (long-wave) radiation that cools the system. The overall radiative impact depends on many properties which include the contrail lifetime, optical thickness, ice crystal concentration, size of ice crystals, day time, season, contrast between the contrail and its background, etc. Depending on these parameters the result can be either positive or negative [1, 4].

Contrails reduce the amount of incoming solar radiation reaching the Earth and reduce the outgoing infrared radiation leaving the Earth to space. The second effect prevails, so the global

radiative impact is positive. The highest radiative forcing has been found in central Europe and eastern USA. It corresponds to large contrail coverage caused by high air traffic density [9, 10].

4. Observation

In order to find the climate impact of condensation trails, it is necessary to identify the frequency of contrail occurrence, their lifetime and other properties and compare them to meteorological conditions. The Department of Air Transport at the Czech Technical University in Prague has started a project regarding contrails monitoring.

The contrail monitoring process consists of several steps. The first one is contrail observation. For this purpose, a recording system has been installed on the top of the building of the Faculty of Transportation Sciences in Decin. The position of the system is 50,77899° N 14,21602° E. It has been chosen for its advantageous position in the proximity of several flight routes (see Fig. 1). There are three cameras which are set up to the sky. They automatically record and save video recordings each day from 04:15 till 16:00 UTC.

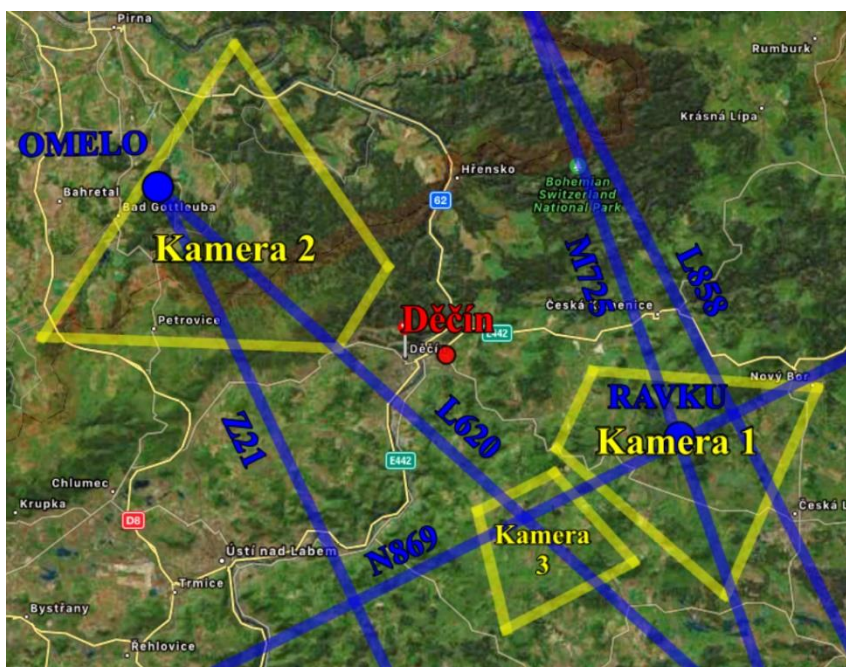


Fig. 1 Monitored area [11]

Saved recordings are manually filtered and analyzed. In order to observe and measure contrails, the sky has to be clear. During cloudy days it is not possible to see contrails as they are formed at high altitudes above the nature cloudiness. Therefore, recordings taken during cloudy days are deleted. Each discovered contrail is written down. For further analysis it is important to record the time when the contrail was observed, its lifetime, number of relevant camera and eventually make a note in cases when dissipation of the contrail cannot be observed, in other words when the exact contrail lifetime cannot be measured. Such a situation occurs when contrail is covered by nature cloudiness or blown out of the picture.

5. Flight data processing

The next step is flight data processing which is aimed for adding information about the aircraft which created a contrail observed in the camera recordings. The data is permanently received by four Radarcap receivers operated by the Laboratory of ATM Systems in the Prague area. Based on the condition of the receivers, any data transmitted on 1090 MHz frequency in their range (approximately 200 NM) may be received. In other words, they may provide ADS-B data as well as replies on interrogation of a Mode S secondary surveillance radar. The Ethernet interface enables to collect data in hexadecimal format with a time stamp. The received messages are saved into dataset containing record from all receivers within twenty minutes [12].

On condition that the aircraft is equipped by appropriate Mode S transponder with Enhanced Surveillance and ADS-B 1090 MHz extended squitter, and SSR elicits replies on Mode S EHS addressed surveillance, different information from on-board of the airplane may be passively received. In order to assign flight information to the corresponding aircraft, a script in MATLAB was created. It can obtain coordinates, altitude and ground speed from ADS-B messages and heading, true airspeed and Mach number from EHS BDS registers. For purpose of weather condition research, the MRAR BDS registers were also included into data processing. Unfortunately, only a small amount of aircraft provides this data and it is very unlikely that the aircraft in the recorded area would send it. Due to this fact, the area for processing meteorological BDS register was extended [13].

5.1. Data pairing with recorded area

The created program in MATLAB is suitable for processing already received datasets in a longer time period (e.g. week, month). It works with the offline saved dataset containing a system time, a receiver ID, a hexadecimal time stamp and 112 bits of the message in hexadecimal system. The first for loop ensures that all data from one file are loaded and subsequently processed by the script. While data is recorded when the cameras are switched off this dataset is skipped automatically. Program chooses only data with downlink format 17, 20 or 21 which is primarily tested to reduce the number of examined messages. According to the information about the position of the aircraft obtained from ADS-B messages, the unique 24 bit ICAO address is saved into temporary variable and all information from the received data is being saved into a new file for a period of time, when the aircraft still flies in the observed area. The new created file in .csv format is specified by the date and time when it intersected a border of the monitored area and by the ICAO address of the aircraft for facilitating assignment to a contrail. According to the type of the messages, aforementioned data is decoded and saved into the appropriate file created for one aircraft. The program processed is characterized in the Fig. 2.

Different condition has to be met for collecting more meteorological data. Providing that a meteorological BDS register is contained within the tested data, and the aircraft with the corresponding ICAO address has flown in the area of circle with radius 100 km and the centre calculated from the observed polygons, the meteorological data is saved together with other flight information into a new file. These files are characterised by “meteo” and the aircraft ICAO address.

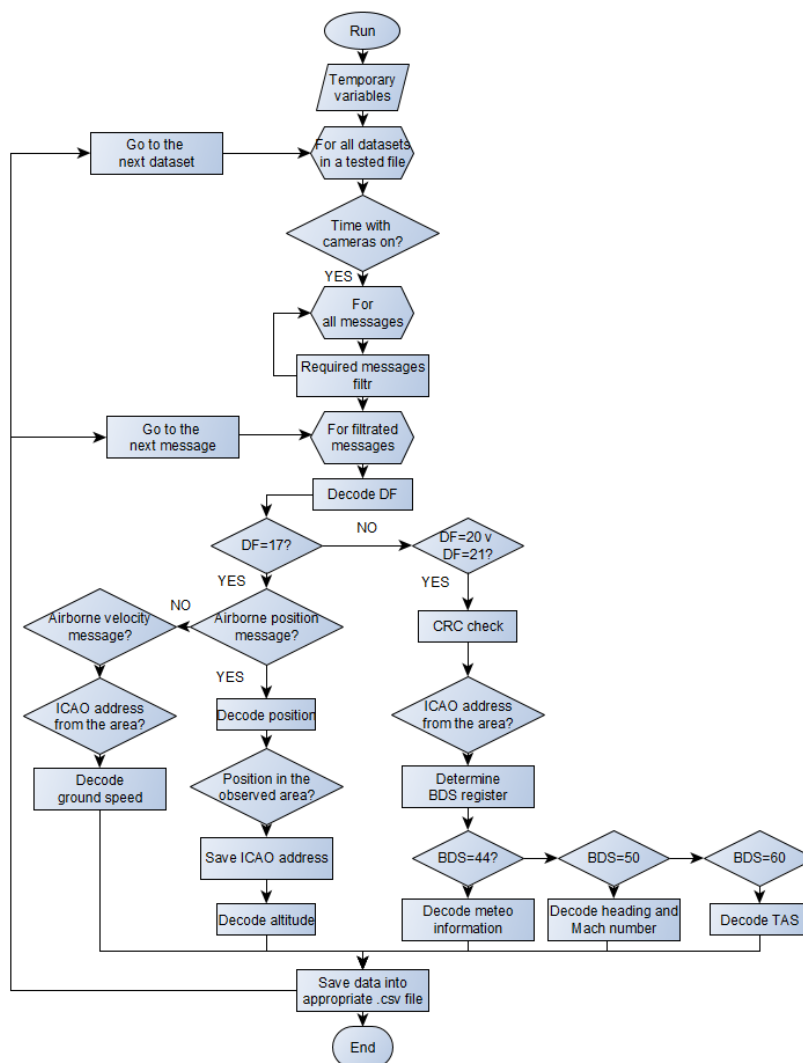


Fig. 2 Data processing workflow

6. Meteorological data

The main source of meteorological data at high altitudes is aerological measurement. Aerology is one of the fields of meteorology that deals with the observation of the atmosphere using of balloons, radiosondes etc. The basic and most frequent measured elements are the air temperature, atmospheric pressure, humidity and wind speed and wind direction. The radiosonde is launched into air 3 times a day and may rise up to 35 km. Measurements are made at 00, 06 and 12 UTC. The GPS navigation system is used to determine its location. The results of aerological measurements are available from two stations – Praha Libus and Prostejov in the Czech Republic [14].

VAISALA's METGRAPH program evaluates measured and calculated data at standard pressure levels and also determines significant levels in the temperature, humidity and wind profile. This data is encoded in the form of the TEMP meteorological report and the PILOT message. These reports are used not only for predictive meteorological purposes. There are only 26 meteorological stations conducting aerological measurements within Europe. The closest

stations to our borders are situated in German Kummersbruck, Munich, Lindenberg, Polish Wroclaw, Austrian Linz and Vienna [14].

6.1. Area for receiving meteorological reports

Due to the fact that the surface of the Czech Republic is mostly flat, there is no significant change of individual meteorological elements with a relatively large distance (circuit with a radius of 100 km) at higher altitudes above the territory of our republic. That is why only 2 stations are set for aerological measurements, which cover the entire territory of the Czech Republic at higher altitudes. In the free atmosphere there is no immediate interaction between the atmosphere and the Earth's surface. These interactions include vertical transmission of momentum, thermal energy and humidity, friction of flowing air with the Earth's surface, and specific daily and annual course of thermal stratification. The daily flow of temperature and humidity parameters in the boundary layer is influenced by the substrate. The height of the boundary layer of the atmosphere increases with the increasing surface roughness, wind speed and increasing instability of thermal stratification.

It follows from the above that significant changes in the meteorological elements in the upper troposphere can be recorded at a relatively large distance of hundred kilometers (except for the situation where atmospheric fronts pass through our territory), such as applied to the meteorological data processing.

6.2. Meteorological sensors of the aircraft

However, there is the possibility to obtain meteorological data from the airplane directly or indirectly. The first pre-requisite for obtaining meteorological data is that the onboard sensors are essential able to measure meteorological data. The basic sensors include the Pitot-static tube and the total air temperature probe (thermometer). The measured data can be further processed and deduced other elements such as wind speed and wind direction, pressure altitude, etc. The amount of data which can be got by using a SSR Mode S technology is much larger and cheaper when compared to a radiosonde. It can be expected the number of meteorological data gained from the aircraft will increase in hand with the modernization of aircraft that will be better equipped with meteorological sensors in the future. The main advantage of this method is that meteorological BDS registers sent by the aircraft already contain direct information on wind and temperature which is obtained directly from the sensors installed on the airframe.

7. Conclusion

Aircraft emit gases and particles directly into the upper troposphere and lower stratosphere. These gases and particles have an impact on the atmosphere. They alter the concentration of greenhouse gases, cause contrail formation and increase cloud coverage. Contrails cause positive radiative forcing which tends to warm the Earth-atmosphere system. The highest coverage and radiative forcing have been found over areas with high air traffic density, namely over central Europe, eastern North America and southeast Asia.

Many papers and researches about contrails have been done but the level of scientific understanding is still very low. Especially the impact on environment and potential regional temperature change are not well understood and further research needs to be carried out.

The Department of Air Transport has started its own research based on contrail observation around Decin. The aim of the ongoing research is to collect data (video recordings, ADS-B messages and meteorological data) within one year. Then it would be possible to get consistent database of observed contrails and all required parameters in order to determine frequency of contrail occurrence in the Czech Republic airspace, conditions under which persistent contrails are formed and in order to compare contrail lifetime with aircraft type.

References

- [1] MINNIS, Patrick. Contrails. In: *Encyclopedia of atmospheric sciences*. Amsterdam; Boston: Academic Press, 2003, p. 509-520. ISBN 01-222-7090-8.
- [2] BOUCHER, Olivier. Seeing through contrails. *Nature Climate Change* [online]. 2011, **1**(1), 24-25. DOI: 10.1038/nclimate1078. ISSN 1758-678X. Available at: <http://www.nature.com/articles/nclimate1078>
- [3] ČESKÁ METEOROLOGICKÁ SPOLEČNOST (ČMeS), *Meteorologický slovník výkladový a terminologický (eMS)* [online]. 2017. Available at: <http://slovník.cmes.cz/>
- [4] SCHUMANN, Ulrich. Formation, properties and climatic effects of contrails. *Comptes Rendus Physique* [online]. 2005, **6**(4-5), 549-565. DOI: 10.1016/j.crhy.2005.05.002. ISSN 16310705. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1631070505000563>
- [5] SCHUMANN, Ulrich. Aircraft Emissions. In: *Encyclopedia of global environmental change*. New York: Wiley, 2002, p. 178-186. ISBN 0-471-97796-9.
- [6] APPLEMAN, Herbert. The Formation of Exhaust Condensation Trails by Jet Aircraft. *Bulletin American Meteorological Society*. 1953, (34), 14-20.
- [7] SCHUMANN, Ulrich, Kaspar GRAF and Hermann MANNSTEIN. Contrails: Visible Aviation Induced Climate Impact. In: *Atmospheric physics: Background, Methods, Trends*. New York: Springer, 2012, p. 239-253. Research topics in aerospace. ISBN 978-3-642-30182-7.
- [8] INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. *IPCC Special Report Aviation and the Global Atmosphere: Summary for Policymakers*. Geneva, 1999. Available at: <https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/av-en.pdf>
- [9] BURKHARDT, Ulrike and Bernd KÄRCHER. Global radiative forcing from contrail cirrus. *Nature Climate Change* [online]. 2011, **1**(1), 54-58. DOI: 10.1038/nclimate1068. ISSN 1758-678X. Available at: <http://www.nature.com/articles/nclimate1068>
- [10] SCHUMANN, Ulrich and Kaspar GRAF. Aviation-induced cirrus and radiation changes at diurnal timescales. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* [online]. 2013, **118**(5), 2404-2421. DOI: 10.1002/jgrd.50184. ISSN 2169897X. Available at: <http://doi.wiley.com/10.1002/jgrd.50184>
- [11] OCELÍK, Vojtěch. *Optimalizace systému monitorování kondenzačních stop*. Prague, 2017. Bachelor's thesis. CTU in Prague, Faculty of Transportation Sciences. Supervisor Jakub Hospodka.
- [12] ZACH, Martin. *Návrh nízkonákladového MLAT systému*. Prague, 2015. Master's thesis. CTU in Prague, Faculty of Transportation Sciences. Supervisor Stanislav Pleninger.
- [13] ICAO. *Doc. 9684: Manual of the Secondary Surveillance Radar (SSR) Systems, AN/951*. 3rd ed. 2004. ISBN 92-9194-333-9.
- [14] WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. *Guide to meteorological instruments and methods of observation* [online]. 6th ed. Geneva, Switzerland: Secretariat of the World Meteorological Organization, 1996, 716 p. WMO (Series), no. 8. ISBN 92-631-6008-2. Available from: https://library.wmo.int/pmb_ged/wmo_8_en-2012.pdf

Zvyšování provozní efektivity letištních bezpečnostních kontrol – studentský projekt

Roman Vokáčⁱ

Abstrakt: Článek se zabývá vybranými zajímavými a důležitými výsledky studentského projektu *Moderní přístup k bezpečnosti (security) letecké dopravy* na Ústavu letecké dopravy, Fakulty dopravní, Českého vysokého učení technického v Praze. Článek se také zaměřuje na činnosti studentů zapojených v projektu a představuje jejich závěrečné práce. Přibližuje aktuální řešená výzkumná témata a budoucí cíle projektu. Vedle představení projektu a studentských prací se článek také zaměřuje na potřebu získání praktických zkušeností v oblasti studia. Získávání praktických zkušeností má potenciál ke zvýšení odborných znalostí, kvality závěrečných prací a zvýšení uplatnitelnosti studentů. V poslední části článku popisuje přístup používaný na studentském projektu *Moderní přístup k bezpečnosti (security) letecké dopravy – kombinování teoretických a praktických zkušeností, zvyšování kvalifikačního profilu a uplatnitelnosti na trhu práce*. Spojení mezi univerzitou a reálným světem má pozitivní dopad jak na univerzitu, tak na letiště i studenty.

Klíčová slova: univerzita, letiště, studenti, projekt, bezpečnost

Abstract: The article deals with interesting or important results of the students' project *Modern Approach to Aviation Security* at Department of Air Transport, Faculty of Transportation Sciences, Czech Technical University in Prague. The article also deals with activities of the students involved in the project and aims to present the outputs of students' final thesis. The article presents current research topics and future project ambitions in a short time horizon. In addition to introducing the project and student thesis, this article also focuses on the need to gain practical experience in the field of study. The practical experience has the potential to increase students' professional knowledge, the quality of the final thesis and students' good application in the labour market. In the final part, the article describes the approach which is applied on the student's project *Modern Approach to Aviation Security - a combination of theoretical and practical experience, increasing the qualification profile and applicability in the labour market*. The connection between the university and the real world has a positive impact on the university, airports and students.

Keywords: university, airport, students, project, security

1. Představení projektu

Projekt *Moderní přístup k bezpečnosti (security) letecké dopravy* je studentský projekt na Ústavu letecké dopravy FD, ČVUT v Praze. Je určený pro studenty bakalářského i navazujícího magisterského studijního programu. V části projektu, která se zaměřuje na provozní efektivitu bezpečnostních kontrol, jsou studenti aktivně zapojeni do řešení aktuálních problematických oblastí. S využitím kombinace teoretického poznání, praktických zkušeností a aktivní práce na projektu vznikají závěrečné práce s výstupy, které jsou použitelné pro další vzdělávání studentů v rámci výuky, jsou provozně využitelné a studentům umožňují profesní rozvoj. Vybrané práce jsou samotnými studenty prezentovány široké i odborné veřejnosti. Projekt s výhodou

ⁱ Ing. Roman Vokáč, ČVUT FD, Ústav letecké dopravy, Horská 3, 128 03 Praha 2, vokacrom@fd.cvut.cz

kombinuje zapojení zkušených akademických pracovníků, doktorandů a studentů s odborníky z reálného prostředí mezinárodního letiště.

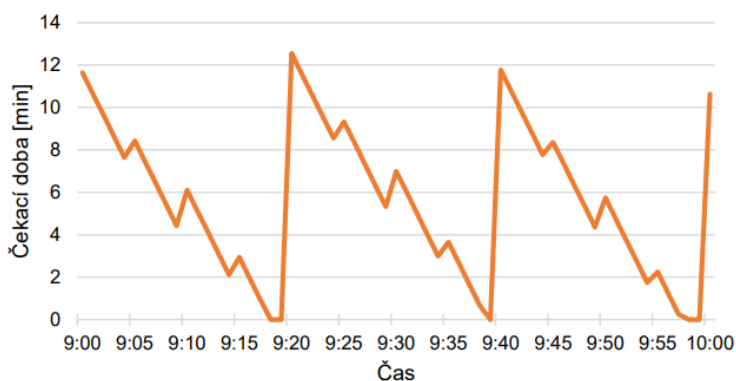
2. Zapojení studentů a výsledky projektu

Projekt se v oblasti bezpečnosti civilního letectví za poslední tři roky mimo jiné zaměřoval na zvyšování provozní efektivity bezpečnostních kontrol. Studenti zapojení do řešení dané problematiky měli unikátní možnost zapojení do reálného procesu bezpečnostních kontrol cestujících. Vedle teoretických znalostí získaných během studia a při práci na projektu získali také praktické zkušenosti z reálného provozu. Tyto zkušenosti mohli s výhodou využít při zpracování svých závěrečných prací, které vycházely z řešené problematiky, na které se studenti podíleli. Práce jsou unikátní především možností získávání a vyhodnocování dat, procesů a postupů, které nejsou běžně veřejně dostupné. Zapojení studentů do práce v atraktivním prostředí mezinárodního letiště a možnost zúročení teoretických znalostí pod vedením zkušených pedagogů i odborníků z praxe vedla k vytvoření závěrečných bakalářských a magisterských prací. Vybrané úspěšně obhájené závěrečné práce jsou představeny v tomto článku.

2.1. Analýza způsobů dopravy cestujících na letiště s vlivem na odbavovací proces [1]

Diplomová práce obhájená v roce 2018 se zabývala analýzou jednotlivých druhů dopravy na letiště používaných ve světě a následně vyhodnocením současného stavu na Letišti Václava Havla Praha. Práce představila návrh vybraných variant zlepšení dopravního spojení letiště a města. Zabývala se dopady zavedení vysokokapacitních dopravních prostředků na efektivitu odbavovacího procesu z pohledu možné změny intenzit příchozích cestujících v čase.

Na obrázku (Obr. 1) je příklad části výstupu práce – výpočet čekací doby cestujících ve frontě před bezpečnostní kontrolou. Převažující podíl příjezdějících cestujících je v tomto případě uvažován prostřednictvím metra v kombinaci s menším podílem cestujících příjezdějících autobusy na stávajících linkách. Práce upozornila na problematiku změny současného stavu pravidelného příjezdu menšího počtu cestujících v krátkých intervalech na příjezd většího množství cestujících v delších intervalech. Změna se projeví především na intenzitě příchozích cestujících s rizikem nárazové tvorby front.



Obr. 1 Čekací doba na bezpečnostní kontrole – převažující podíl cestujících příjezdějících metrem [1]

Práce zpracovává přehled modelových situací a na základě získaných dat od dopravního podniku a letiště vytváří podpůrný návrh pro možnost vyhodnocení budoucího rozvoje spojení letiště s městem. Nový přístup v hodnocení se zaměřuje na oblast rizika vzniku front před bezpečnostní kontrolou v souvislosti s očekávanou změnou intenzity příchodu cestujících.

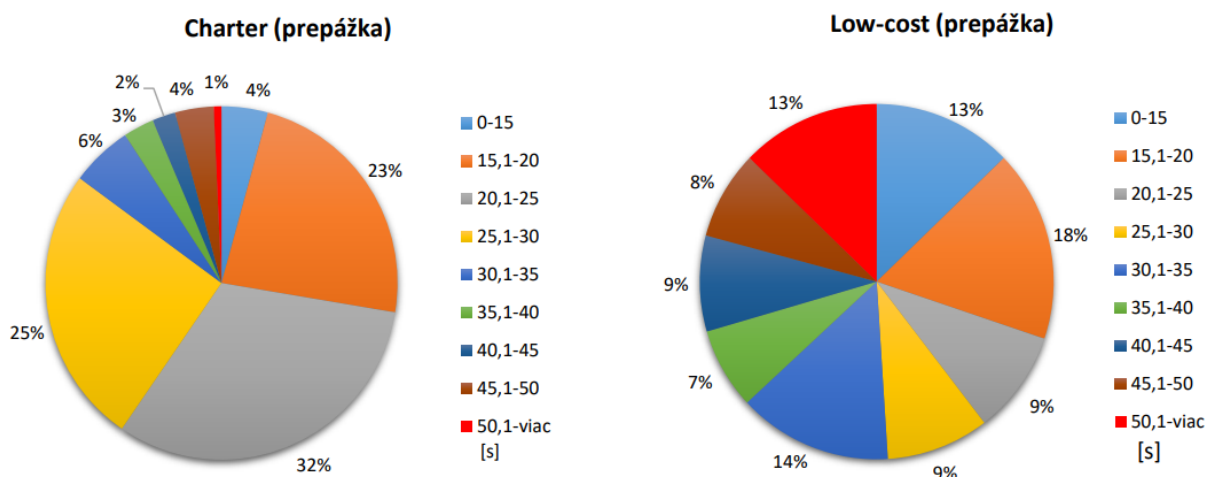
Při zpracování závěrečné práce využil student své předchozí zkušenosti s problematikou, kterou zpracovával v rámci bakalářské práce. Využil také praktické zkušenosti z působení v komerční části odbavovacího procesu odlétávajících cestujících.

2.2. Analýza vlivu check-in odbavení cestujících na odbavovací proces [2]

Bakalářská práce obhájená v roce 2017 se zaměřila na problematiku vlivu odbavení cestujících na check-in přepážkách na odbavovací proces. Zaměření práce bylo především z pohledu vlivu check-in odbavení na navazující procesy bezpečnostní kontroly cestujících a kabinových zavazadel. V práci jsou popsány jednotlivé druhy check-in odbavení a jejich vliv na řešenou problematiku.

V první části je přehledným schematickým způsobem popsán rozdíl v odbavovacím procesu mezi prvním a druhým terminálem Letiště Václava Havla Praha. Následuje problematika check-in odbavení. Kvalita zpracování byla podpořena praktickou zkušeností autorky v řešené oblasti.

Práce mimo jiné poukázala na významné rozdíly v časovém rozložení doby odbavení u jednotlivých typů dopravců. Na obrázku (Obr. 2) je uvedeno pro příklad srovnání rozložení doby odbavení na check-in přepážce charterového dopravce a nízkonákladového (low-cost) dopravce.



Obr. 2 Srovnání rozložení doby check-in odbavení charterového a low-cost dopravce [2]

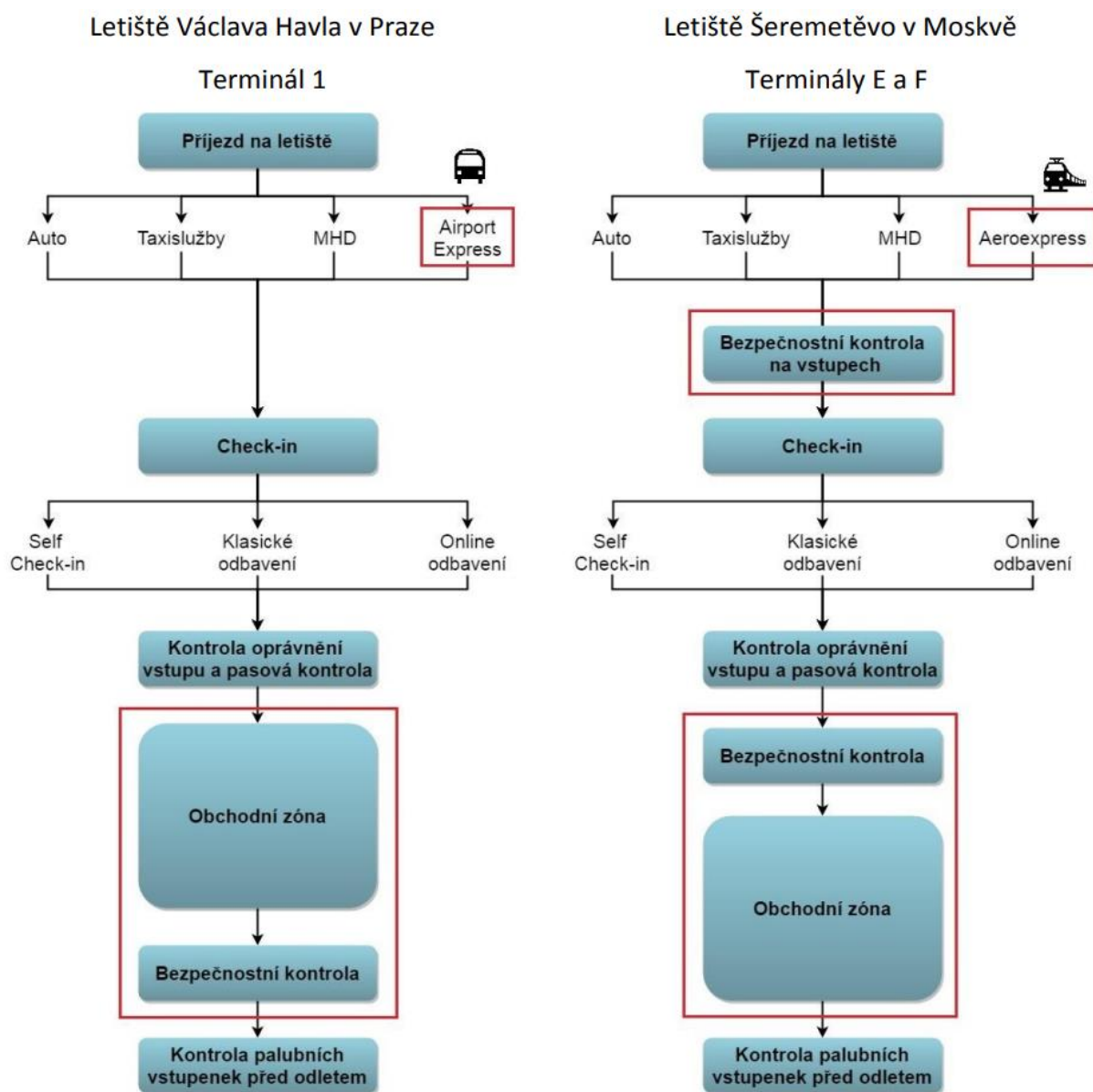
Zajímavé jsou také velké rozdíly při dalším srovnání s klasickými dopravci nebo samoodbavovacími kiosky. Výstupy práce podpořily logiku tvorby modelu predikce intenzity příchozích cestujících v čase (aktuálně řešený model). Model má za cíl predikci provozního zatížení stanoviště bezpečnostní kontroly s možností zpětného vyhodnocení provozní efektivity. Rozdílnost vyplývající z BP pro jednotlivé druhy odbavení a s tím spojené jednotlivé dopravce je velmi důležitý faktor, který ovlivňuje matematické zpracování celého modelu.

2.3. Analýza efektivity procesu bezpečnostní kontroly cestujících na letech do Ruska [3]

Diplomová práce byla obhájena v roce 2017. Práce se zabývala velmi aktuálním tématem zkvalitnění poskytovaných služeb a zvyšování efektivity odbavovacího procesu na letech do Ruska. Práce analyzovala odlišnosti v procesech odbavení na Letišti Václava Havla Praha a na moskevském letišti Šeremetěvo (a dalších letištích). Na základě zpracovaných analýz a případové studie práce navrhla opatření a doporučení pro zvýšení efektivity odbavovacího procesu na letech do Ruska.

Student se aktivně zapojil do získávání praktických zkušeností v rámci bezpečnostní kontroly odlétávajících cestujících. Výsledky a návrhy práce jsou podpořené jeho praktickou zkušeností.

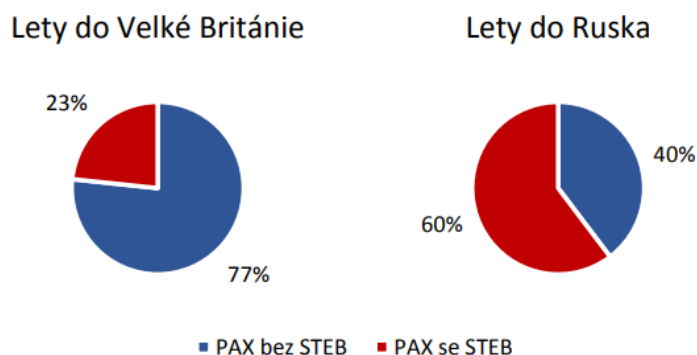
Na obrázku (Obr. 3) je uveden jeden z výstupů práce – graficky vytvořené zpracování rozdílu mezi odbavovacím procesem odlétávajících cestujících na Terminálu 1 pražského letiště Václava Havla a Terminálu E a F moskevského letiště Šeremetěvo.



Obr. 3 Srovnání odbavovacího procesu na letech mezi pražským a moskevským letištěm [3]

Rozpoznané rozdíly jsou důležité pro pochopení chování a očekávání cestujících. Výsledná spokojenost cestujících se dá charakterizovat jako rozdíl mezi očekáváním a reálnou zkušeností. Odlišnostem v odbavovacím procesu je vhodné věnovat zvýšenou pozornost.

Autor se v práci také zabýval například problematikou STEB (tekutiny zakoupené v neveřejné části letiště nad 100 ml zabalené v předepsaném bezpečnostním balení). Při provedeném měření dat a následném vyhodnocení došlo ke zjištění významného rozdílu mezi odlety do Ruska a do Velké Británie (Obr. 4).



Obr. 4 Srovnání podílu cestujících se STEB na letech do Velké Británie a do Ruska [3]

Na základě svých praktických zkušeností a výsledků z naměřených dat student odůvodnil a podložil vyšší potřebu věnování větší pozornosti odbavení cestujících na letech do Ruska. Praktické využití práce našla v odůvodnění zvýšené potřeby personálního obsazení nebo vhodnosti znalosti základních frází v ruštině pro urychlení odbavení. Návrh slovníčku nejčastěji používaných frází je také součástí práce.

2.4. Zvyšování efektivity bezpečnostních kontrol na letištích – příprava cestujících [4]

Bakalářská práce obhájená v roce 2018 se zaměřuje na problematiku procesu přípravné fáze cestujících na stanovištích bezpečnostní kontroly. V úvodu se práce zabývá historií a legislativními předpisy ovlivňujícími dnešní postupy a procesy. Jedním z důležitých výstupů práce je srovnání nejrozšířenějšího typu manuálních tratí s moderním přístupem v podobě automatizovaných tratí bezpečnostní kontroly.

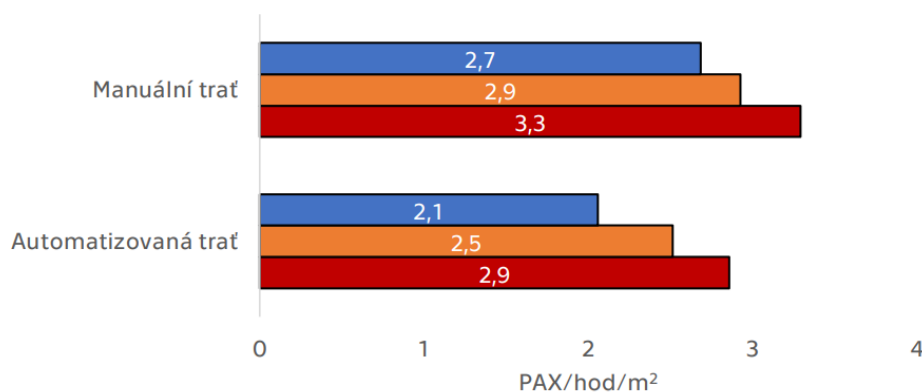
Práce byla zpracována také s částečným využitím simulačního nástroje CAST, který je studentům projektu k dispozici (Obr. 5).

Práce reagovala na aktuální dělní v oblasti bezpečnostních kontrol na největším českém mezinárodním letišti Václava Havla, kde došlo ke zprovoznění nového centralizovaného stanoviště bezpečnostní kontroly. Práce předkládá navrženou SWOT analýzu zavedení automatizovaných tratí s paralelní přípravou cestujících a nastínění možného vývoje provozu po zavedení paralelních tratí. V závěrečné části je shrnuto srovnání jednotlivých typů tratí bezpečnostní kontroly z několika různých přístupů. Práce nestanovuje jednoznačnou výhodnost jediného řešení, ale předkládá možné parametry pro hodnocení jako podklad pro spíše manažerské rozhodnutí o stanovení požadovaných priorit.



Obr. 5 Model automatické trati s paralelní přípravou cestujících (zpracováno v programu CAST) [4]

Student se v práci zabýval srovnáním manuálních a automatizovaných tratí se sériovou a paralelní přípravou cestujících také z pohledu časové náročnosti, prostorové efektivity, personální náročnosti apod. Na obrázku (Obr. 6) je uveden příklad zpracování srovnání prostorové efektivity.



Obr. 6 Srovnání počtu odbavených cestujících na jednotku plochy [4]

Student při zpracování využil svůj velmi aktivní přístup, získané rozsáhlé znalosti v oblasti řešení problematiky a zapojení do bezpečnostní kontroly cestujících a kabinových zavazadel. Práce je v rozsáhlých částech využitelná pro vzdělávání studentů i široké veřejnosti, mohou na ni navazovat další práce a může sloužit jako příkladný vzor pro nové studenty. Na práci navazují další bakalářské práce zaměřené na rozvoj automatizovaných tratí s paralelní přípravou cestujících a práce zaměřená na centralizaci bezpečnostní kontroly na Terminálu 1.

3. Aktuálně řešená témata a cíle projektu

V současné době se v rámci zvyšování efektivity odbavovacího procesu odlétávajících cestujících se zaměřením na bezpečnostní kontrolu řeší zejména následující témata:

- Model predikce příchodu cestujících na stanoviště bezpečnostní kontroly
- Model predikce provozního zatížení stanoviště bezpečnostní kontroly
- Nástroje pro řízení efektivity stanoviště bezpečnostní kontroly
- Případová studie zavedení automatizovaných tratí s paralelní přípravou cestujících
- Využití konceptuálního modelování v procesu řízení bezpečnostní kontroly
- Optimalizace předávání bezpečnostních informací cestujícím
- Využití simulačních nástrojů pro návrh centralizovaného stanoviště bezpečnostní kontroly na Terminálu 1
- Vzdělávání nových pracovníků bezpečnostní kontroly v oblasti legislativy

První tři body jsou podpořeny studentským grantem SGS a jsou řešeny na úrovni doktorského studia se zapojením dalších studentů. Ostatní témata zpracovávají studenti bakalářského a magisterského studia pod odborným vedením odborníků z praxe. Závěrečné práce vycházející ze zapojení studentů v představených aktuálních rámcových tématech projektu budou připravené k obhajobě průběžně v horizontu 1 – 2 let.

4. Přístup ke vzdělávání studentů v rámci projektu

Základním přístupem k činnosti na projektu v části věnované zvyšování efektivity odbavovacího procesu cestujících je zajištění praktické zkušenosti studentů. Požadavek pro úspěšné zapojení do projektu v podobě praktické zkušenosti je realizován nejčastěji prostřednictvím zapojení studentů do procesu bezpečnostní kontroly cestujících, odbavovacího procesu cestujících nebo zapsaných zavazadel a dalších činností, které jsou vhodné pro studenty denního studia.

Studenti se věnují konkrétním oblastem, kde získávají další teoretické a praktické zkušenosti. K synergickému efektu dochází na pravidelných setkáních projektu i s bývalými studenty, kde je možné diskutovat a vzájemně si vyměňovat informace a poznání ze zkoumaných oblastí. Studentům je umožněno prezentovat své výsledky odborníkům z praxe a jsou průběžně vzděláváni i v důležitých oblastech jako je prezentace projevu, formální náležitosti zpracování dat a výsledných výstupů apod.

Aktivní práce studentů se velmi pozitivně odráží na jejich schopnostech a zkušenostech po úspěšném zakončení studia. Mají výbornou uplatnitelnost na trhu práce nebo pokračují ve studiu v zahraničí.

Závěrečné práce jsou kontrolovány po stránce formální i obsahové. Je možné jejich využití při dalším vzdělávání nových studentů a zajištění kontinuity projektu. Studenti řeší vždy konkrétní téma vzniklé z aktuální problematiky reálného provozu. Během zpracování se naučí týmové spolupráci, vlastní iniciativě a hledání dostupných zdrojů. Své výsledky se naučí obhajovat a diskutovat je při kritické zpětné vazbě.

5. Závěr

Projekt Moderní přístup k bezpečnosti (security) letecké dopravy se zaměřením na zvyšování efektivity odbavovacího procesu odlétávajících cestujících je relativně mladý a dynamicky se rozvíjející projekt. Problematika efektivity bezpečnostních kontrol začala být intenzivně řešena přibližně před 4 roky. V uplynulém období se podařilo personálně stabilizovat vedení projektu a navázat nezbytné a důležité kontakty s odborníky z praxe. Studentům je zajištěna možnost získávání praktických zkušeností v reálném provozu. Pozitivní přínos zvoleného přístupu je v uplatnitelnosti absolventů, využitelnosti závěrečných prací, průběžné aktualizaci obsahu přednášek a cvičení vybraných předmětů, udržování spojení s odbornou veřejností a mnoho dalších.

Literatura

- [1] PAZDRO, Vladimír. *Analýza způsobů dopravy cestujících na letiště s vlivem na odbavovací proces*. Praha, 2018. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní. Literatura
- [2] SEKELOVÁ, Frederika. *Analýza vlivu check-in odbavení cestujících na odbavovací proces*. Praha, 2017. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní.
- [3] NIKITIN, Dmitry. *Analýza efektivity procesu bezpečnostní kontroly cestujících na letech do Ruska*. Praha, 2017. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní.
- [4] POPEK, Lukáš. *Zvyšování efektivity bezpečnostních kontrol na letištích – příprava cestujících*. Praha, 2018. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní.

Airport's Data Sources and Units Integration Influence on Productivity Improvement and Better Procedures' Effectiveness

Slobodan Stojić, Markéta Kafková, Oldřich Štumbauerⁱ

Abstract: *The paper aims to analyze and justify a need for more proactive airport safety data management. A numerous operations produce daily a large amount of operational data. Adequate data collection processes and understanding of their potential is currently a stumbling block for many airports. A concept of integrated airport management is not a new one however, modern trends brought a concept of wider data exploitation and analysis. It is an assumption that current airport management systems lack a structural application and utilization of such operational data, enabling on site decision making and proper immediate reactions to operational deviations.*

Keywords: *airport safety, safety data, safety management*

1. Introduction

Nowadays it is quite clear that modern world development trends created a completely new business environment whose comprehension is crucial for successful business activities. It is obvious that modern approach made a step forward, from strictly hardware-based activities to a software domination, defining that way the mightiest tool of contemporary management techniques - information. Many organizations or enterprises from various industry branches confirm that modern business or operation management is based on effective data management, data utilization and analysis. However, effective data utilization require high-quality data, structured and managed in a way suitable for further application. Having such data enables for instance intensive safety event causal modelling. This topic is popular in current research environment. [1,2,3]

Airports, as part of a global aviation system are a good representative of organizations which produce an enormous amount of data on daily basis. It does not matter which aspect of airport operations is taken into account, it is clearly visible that airport functioning is conditioned by adequate and highly dynamic information management, enabling a smooth operation performance and cooperation between various airport units and subjects.

Performance measurement is recognized as important activity for various organizations among different industry branches. Application of such performance measurement system is interesting research topic in many other branches, such as in healthcare area or pilot performance. [4,5] Airport performance measurement is actively solved through wide

ⁱ Ing. Slobodan Stojić, Ing. Markéta Kafková, Ing. Oldřich Štumbauer, Czech Technical University in Prague, Faculty of Transportation Science, Department of Air Transport, Horská 3, Praha 2, Czech Republic, stojislo@fd.cvut.cz, kafkoma1@fd.cvut.cz, stumbold@fd.cvut.cz

researches [6] as well on the global level through international organizations specialized in this field. [7]

Data management is a first building block of concepts such as Collaborative Decision Making (CDM), airport management systems, workflow managements, etc. The examples from practice, however, implicates that at some airports effective data management is still quite far from realization. There are several reasons for this. Some airports experienced rapid expansion, which was not adequately followed by infrastructure or general system development. Other reasons lay in inability of the given organization to identify and effectively collect such kind of data, due to lack of proper infrastructure or insufficiencies in a whole system background.

The intention of this paper is to locate and analyze potential and benefits of more networked data management at the airports. Development proposal will be described in a form of practical solutions of integrated and simultaneously managed processes. Lack of such approach is considered to be a major reason for absence of effective procedures and workflow, creating delays, bottlenecks, and generally slowing down the entire system. Modern air traffic is highly sensitive to any disturbances or deviations, from both operational and financial aspects. Passengers' satisfaction is one of the first indicators that airport functions properly, however it should be bore in mind that various type of passengers have various expectations. [8] Typical factors influencing passengers' satisfaction are time spent at the airport, cleanliness, friendly personnel and gate experience. [9]

2. Purpose and level of satisfaction with the current approach

Airports as “never sleeping” systems depend on accurate and effective data exchange and sharing concepts, where many units have mutual data sources. Technically, such concept is highly beneficial for every included stakeholder however, the assumption is that such data could provide much more in terms of better procedure effectiveness, business intelligence, system's behavior comprehension, prediction techniques and evaluation of existing expectations.

Current systems based their functioning primarily on operational data sharing, meaning that one unit or procedure is conditioned by existence of other specific process or information. In order to distinguish a difference between current and proposing solution, the focus could be placed on some everyday procedure performed by airport units.

Taking for instance all passenger handling procedures from arrival of passengers to terminal building until security check at the entrance to airside of an airport or to the gate, it could be shown what are the frequent issues and potentials for more proactive operational, security or safety management. Important aspects are designs of terminal buildings, while its layout strongly influences operations. [10] Safety management is defined by ICAO through given guidance materials. [11] It is integrated part and it should follow certain structural and functional principles. [12] The whole process could be divided into series of sequences that individually represent one specific procedure. As shown in the following figure (Fig. 1), the red line describes series of processes, the green boxes illustrate data sources, continuous blue line describes an existing data sharing network.

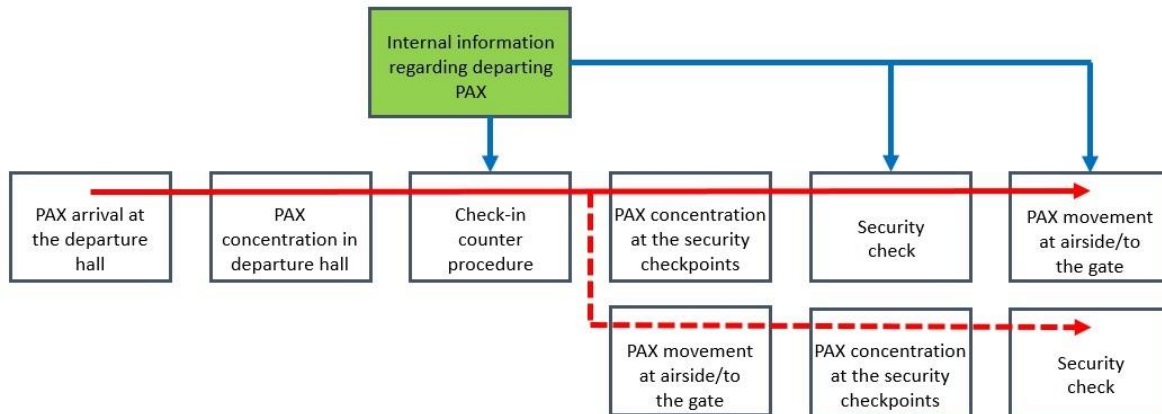


Fig. 1 Current basic structure of process and information flows

The system set as one shown on the previous figure enables core system functioning, but does not provide any specific mechanism for security or safety improvements for instance. Also, the system as such does not create any kind of feedback information or performance level measurement that will serve as an indicator or reference point determining actual effectiveness level. Due to the fact that such systems contain all required elements, in regard to airport system design, airport management could evaluate such system structure as satisfactory. Safety results, in fact, are globally evaluated as satisfactory. [13] However, this could be also considered as a low level evaluation or reactive instead of proactive approach to system improvement.

3. Wider systematic integration and improvement potential

Through analysis of the illustrated system functioning concept, it could be concluded that certain level of interconnection or integration exists, however it is quite limited and does enable system's element to behave as independent entities, not obligated or encouraged to become active elements ensuring much effective process management.

In order to start any improvement process, first it is necessary to define the requirements, expectations and goals, and to evaluate whether they are feasible, meaningful and beneficial, ideally for major number of included stakeholders. It is commonly known that self-interest is the main stimulating tool for any subject to become a part of a wider system or to function within it.

Wider integration, better data sharing and new system features definition could be exemplified using the previous example. It is interesting to show how new system features could be introduced without any special need for infrastructure development or serious system redesign. The goal here is to reach better resource utilization and to find a way for their usability by system entities, which are active elements leading to the system functioning improvement and further structural development.

Idea for wider application and exploitation of all active system elements has its roots in real practical issues. In order to present application on the certain example, the previous Fig.1 could be used. From the practical standpoint, given sequences of activities is interesting from many

operational aspects, such as security, passengers' movement efficiency, employees' workload, use of available infrastructure, passenger satisfaction, terminal capacity, etc. The following figure (Fig.2) illustrates an example of wider data share, implementation of new system features and establishment of control mechanism serving as a performance evaluator.

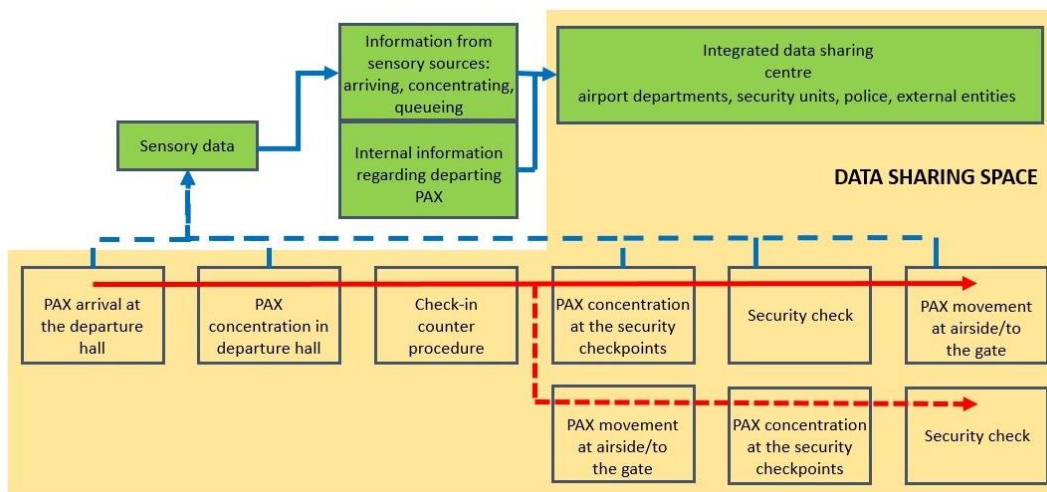


Fig. 2 Advanced structure of process and information flows

As it can be seen from the given example, the main stream lines remain the same, however, additional features added to the existing structure brought a new system functions, mainly based on dynamic and continuous evaluation of the certain parameters. Practically speaking, existing structure in this example was not able to provide a foundation for better workforce planning or more effective security protection in real time [14]. Now, the system defines common data sharing space enabling various entities on-time data availability, necessary for proper activity planning.

Due to the fact, that a new proposal combines for instance data from internal flight monitoring systems or staff planning and scheduling systems, a majority of required activities could be planned not according to historical data, but more dynamically, following the current workload. Another aspect important from the terminal or security aspects are lengths of queues in front of the check-in desks or large groups of people waiting for their check-in procedure.

Regarding a security at the passengers' terminal, any solution bringing a more fluent passengers' movement through any part of the terminal is considered as beneficial. Existences of queues, groups, or any other form of people concentrating at certain spot in terminal represent a potential risk.

Talking about terminal capacity, an architectural design of the terminal, or in this example a departure terminal hall where check-in desks are installed could also represent an issue in the given conditions. Not all areas in front of check-in counters are of the same size and shape. This might be an issue when these parameters are not taken into consideration during check-in counters utilization planning.

Having a large number of people and their baggage, which is a common situation during summer when concentration of charter flight is much higher, requires adequate space capacity and comfort. It is commonly known that terminal hall capacity is the main issue for many international hubs, creating negative attitude towards these airports, which then force passengers to find alternative solutions

4. System inputs, outputs and data sensitivity issues

It is of high importance to underline that technical solution has to respect data sensitivity. Modern business brought service outsourcing as standard concept of service provision, meaning that instead of one integrated subject, systems in many cases have several external entities, which from the financial side is most probably beneficial, but could be evaluated as problematic in terms of effective management, data exchange and communication. The issue of data sensitivity could also be perceived through personal data protection or their physical security.

Regarding system inputs, it is expected that current airport infrastructure is sufficient to cover new information flow. It is not only question whether system will be able to process or store information, but what kind of data gathering will be applied. Besides operational data, data from external organizations or data gather through other airport systems, the focus will also be placed on sensory data. Typical examples are camera records or passenger counting equipment, which represent valuable monitoring or feedback tool. Their use bring an evaluation data, providing information whether managed systems produce expected results.

This feedback loop established through such kind of control mechanisms creates one type of system outputs. Due to the fact that sensory data mainly have their state monitoring role, this kind of system outputs are indicators providing an overview of current level of satisfaction for the given problem. Presented on the previous example, outputs main goal will be to provide on-site and highly actual data regarding real-time process performance and effect which it have on external conditions escalation or mitigation.

Practically speaking, relevant airports units will have information regarding real workload and pressure to achieve will not be random and unexpected, but predictable and manageable.

Opening more check-in counters or security checkpoints at the certain moment, allocation of required number of employees, as well as reduction of a capacity during slow operations periods are the main effects of more intense data utilization. This is important from the operational standpoint. [15] All of this have substantial effect on queue creation and that way on security protection of the large groups of people.

5. Expected implementation conditions and investment equilibrium

Implementation of such approach is estimated to be feasible and an affordable solution. A first step of its implementation must be system structural planning, which will distinguish what are the current and potential requirements and what entities should be actively or passively

included. Integration of the relevant units and more intense data exchange sounds appealing however, a condition that created system must stay lean as much as possible should be fulfilled.

Lean and effective structure is a core for any kind of effective use of the system. Due to the fact that integration is supposed to be performed on many levels, structure should be designed in a way, which will place focus on data exchange fluency, integrity protection and any kind of flow congestion prevention.

Absence of a need for wide infrastructure redesign or build up make the whole process more affordable. The concept in its basis does not initiate a creation of something new and unknown, but focuses on better and more effective use of currently available resources. Investment in such kinds of projects do not need to be extremely high. It is all about recognition of the real need and setting of the operational procedures, currently exploited infrastructure and equipment and active monitoring of the actual performance results. Benefits are on the other hand visible in a financial side as well, because satisfied passenger is much less costly [16].

6. Conclusion

Improvement of safety was and will always be an aviation's priority number one. High sensitivity and long "healing" process in case of serious incident or accident make aviation business hard to manage. With such starting conditions it is of a great importance to make the system as smart as possible and to prevent any unnecessary mistakes and wrong estimations.

To be more smart means to understand given system, to monitor and analyze system's output based on chosen or random inputs. Given approach opens a maneuvering space for operational gaps detection, as well as elimination and prevention of future ones. Absence of such deficiencies is the basis for effective process management and flow.

Example presented in this paper focused on practical issue from the daily airport activities. Movement of the passengers through a terminal, as well as creation of queues is an important issue for security units. Inclusion and wider application of the shared operational data enable better scheduling and more fluent passengers handling process, at least at the starting phases of passengers handling.

To make a new features, system now utilizes data from the flight management system, as well as data from the established sensors to enable for instance airport security unit to cover given area with an adequate number of staff and to allocate their resources according to the current needs. To establish such proactivity, a certain level of interconnection, collaboration and on-site data exchange must be enabled. Proposed approach does not try to concentrate attention on one activity or process, but to create a meaningful synergy that would provide an increased level of effectiveness, productivity, safety, security and coordination. Benefits could also be analyzed through economic indicators and level of passengers' satisfaction

References

- [1] N. Leveson, Engineering a safer world: systems thinking applied to safety. Cambridge, Mass.: MIT Press. Engineering systems. (2011) ISBN 978-0-262-01662-9.
- [2] T. Luxhoj, J. Coit, et al, Modelling Low Probability/High Consequence Events: An Aviation Safety Risk Model, RAMS 06 Annual Reliability and Maintainability Symposium. (2006)
- [3] B. Ale, J.L. Bellamy, et al., Causal Model for Air Transport Safety, Final Report. (2009). Delft
- [4] S. Szabo, J. Sidor, The performance measurement system-potentials and barriers for its implementation in healthcare facilities. Journal of Applied Economic Sciences, (2014) 9 (4), pp. 728-735.
- [5] Kalavsky, P.; Rozenberg, R.; Socha, L.; Socha, V.; Gazda, J.; Kimličková, M. Methodology of Pilo Performance Measurements. MAD - Magazine of Aviation Development. 2017, 5(2), pp. 25-30. ISSN 1805-7578.
- [6] O. Wyman, Guide to Airport Performance Measures, Airports Council International, (2012), [Online], Available from:
http://www.aci.aero/Media/aci/downloads/ACI_APM_Guidebook_2_2012.pdf
- [7] ACI Recommended Practice, Airport Safety Performance Measurement - The Use of Safety Key Performance Indicators, Airports Council International, March, (2014)
- [8] K. Gkritza, D. Niemeier, F. Mannering. Airport security screening and changing passenger satisfaction: An exploratory assessment. Journal of Air Transport Management [online]. (2006), vol. 12, issue 5, s. 213-219 [cit. 2014-10-12]. DOI: 10.1016/j.jairtraman.2006.03.001.
- [9] L.S. Kramer, A. Bothner, M. Spiro, How airports measure customer service performance. 93 pages. ACRP synthesis, 48. (2013) DOI: <https://doi.org/10.17226/21937>

Proposal of Modifications of the Urban Public Transport in Rakovník

Rudolf Vávraⁱ

Abstrakt: Tento příspěvek se věnuje městské hromadné dopravě ve městě Rakovníku. Nejprve jsou zanalyzovány nejvýznamnější zdroje a cíle cest v Rakovníku. Následuje analýza stávajícího stavu, tedy autobusových zastávek, které jsou rakovnickou MHD obsluhovány, a stávající provozní koncepce MHD Rakovník. Poté jsou s ohledem na výsledky analýzy zdrojů a cílů cest navrženy změny pro MHD Rakovník, a to jak změny infrastrukturní (výstavba nových či přesun stávajících zastávek), tak změny provozní koncepce (návrh linkového vedení, četnosti obsluhy, vhodných vozidel).

Klíčová slova: Rakovník, městská hromadná doprava, pěší dostupnost, provozní koncepce, linkové vedení, četnost obsluhy

Abstract: This paper is focused on the issue of the urban public transport in town Rakovník. Initially, there is made the analysis of the most important origins and destinations of trips in Rakovník. It is followed by the analysis of the current state of the urban public transport in Rakovník – analysis of bus stops and analysis of the current operational conception. Then some modifications are proposed, especially infrastructural modifications (proposal of new bus stops or movement of current bus stops) as well as modifications in operational conception (proposal of line routing, frequency of service and usable types of vehicles).

Keywords: Rakovník, urban public transport, pedestrian accessibility, operational conception, line routing, frequency of service

1. Introduction

This paper is focused on the urban public transport in town Rakovník. Rakovník is situated in the western part of the Central Bohemian Region and has around 16 000 inhabitants. In smaller towns it is more complicated than in large cities to design supply of the urban public transport which is attractive for passengers and efficient too. Meanwhile in large cities there are traffic flows large enough to design interval of the public transport which is attractive, in case of smaller towns there are many traffic flows which are considerably smaller and are hard to identify and describe. If the intervals between connections are longer, it is also necessary to take account of local requirements – typically places, which should be served at the specific times (schools, factories) [1].

In Rakovník the urban public transport is currently operated. There are 4 lines which have not had licence of the urban public transport since their integration into the system of SID (Středočeská integrovaná doprava), but they still behave as lines of the urban public transport (thus the author talks about the urban public transport lines hereinafter).

ⁱ Ing. Rudolf Vávra, Czech Technical University in Prague, Faculty of Transportation Sciences, Department of Logistics and Management of Transport, Horská 3, 128 03 Praha 2, Czech Republic, vavrarud@fd.cvut.cz

In this paper there are initially made: an analysis of trips between zones in the town, an analysis of the most important origins and destinations, an analysis of coverage of the town by urban bus stops and an analysis of current operational conception of the urban public transport. Then infrastructural modifications and modifications of the operational conception (with respect to results of the analysis of trips in Rakovník) are proposed.

2. Analytical section

2.1. Analysis of trips in Rakovník

For the analysis of trips in Rakovník there is used Lohse's trip distribution model [2]. It is random trip distribution model which is recommended for towns with diameter up to 6 kilometres. The model is defined by this formula:

$$T_{ij} = \frac{O_i \cdot D_j}{T} \quad (1)$$

where T_{ij} is the number of trips between origin i and destination j , O_i is the total number of trips with origin in zone i , D_j is the total number of trips with destination in zone j and T is the total number of trips in whole area in question. This model is a simplified version of the classical gravity distribution model – in the Lohse's distribution model all trips have identical generalized costs.

The numbers of trips O_i , D_j and T are determined as products of the number of inhabitants of the single zones (or the whole town) and the average number of trips per inhabitant during the mean working day.

The number of trips realized by the public transport is determined as a product of the number of trips T_{ij} and the value of modal-split of the public transport.

For the application of the approach described above, the author divided the town to following zones at first (in brackets there are written names of the appropriate basic settlement units and the number of inhabitants in year 2011):

- Centre (basic settlement units Čermákovy sady, Rakovník-střed and U Rakovnického potoka; 3 801 inhabitants),
- North (parts of the basic settlement units Karlovarské předměstí and Vinohrady; around 4 656 inhabitants),
- West (basic settlement unit U nemocnice and a part of the basic settlement unit Karlovarské předměstí; around 2 314 inhabitants),
- South-west (basic settlement unit Za Rakovnickým potokem; 1 495 inhabitants),
- South (basic settlement units Hornické sídliště-U Jirkova, U Černého potoka and Zátíší; 3 264 inhabitants),
- South-east (basic settlement units Bulovna, Na Spravedlnosti, Nádraží and Za koupalištěm and a part of the basic settlement unit Vinohrady; around 768 inhabitants),
- Šamotka (basic settlement unit U Čistého potoka; 240 inhabitants).

In year 2011 Rakovník had 16 585 inhabitants in total.

For determination of the number of trips realized by the public transport there are used these values:

- the number of trips per inhabitant during the mean working day: 3.5 (as in [1]),
- modal-split of the public transport: 0.05 (according to the results of “SrV – Mobilität in Städten 2013” [3]).

Table 1 shows the results of the analysis by the approach mentioned above.

Tab. 1 Matrix of the numbers of trips realized by the public transport per mean working day (by Lohse's trip distribution model)

	Centre	North	West	South-west	South	South-east	Šamotka
Centre	X	187	93	60	131	31	10
North	187	X	114	73	160	38	12
West	93	114	X	37	80	19	6
South-west	60	73	37	X	51	12	4
South	131	160	80	51	X	26	8
South-east	31	38	19	12	26	X	2
Šamotka	10	12	6	4	8	2	X

Compared to this table the author assumes higher number of trips at Šamotka zone because of its higher distance from the other zones of the town (there is expected lower modal-split of pedestrian transport in favour of modal-split of motorised transport).

2.2. Coverage of the town by urban bus stops

To identify the biggest problems in coverage of Rakovník by urban bus stops, the author determined at first the most important origins and destinations of trips in town which are assumed to regularly generate higher number of passengers. The author focused on these kinds of origins and destinations of trips:

- housing estates and other groups of multi-storey houses,
- schools (elementary, secondary) and kindergartens,
- big factories/companies which give work to a higher number of employees,
- bigger shops, shopping centres and groups of shops,
- groups of buildings/compounds of other kinds of public facilities (hospital, authorities, offices, ...).

The author then inspected, if these origins and destinations of trips are close to the urban bus stops. In figure 1 there are marked corresponding origins and destinations (blue, red, black, pink and purple colours) and also (in a simplified way) the areas of pedestrian accessibility from the urban bus stops (there are green circles, each with radius of 200 metres and with centre in an urban bus stop). In this figure there are evident the places with too long walking distance to the nearest urban bus stop:

- large parts of housing estates in Pod Nemocnicí and Dukelských hrdinů streets (to the west of the hospital) and housing estates V Lukách, Bendovka and Šamotka,
- special schools in Františka Diepolta street and kindergartens V Lukách, Průběžná, Vinohrady and Šamotka,

- large part of industrial estate in Kuštova street (to the west of the railway stop Rakovník západ) and factory Lasselsberger – RAKO I (in Šamotka).

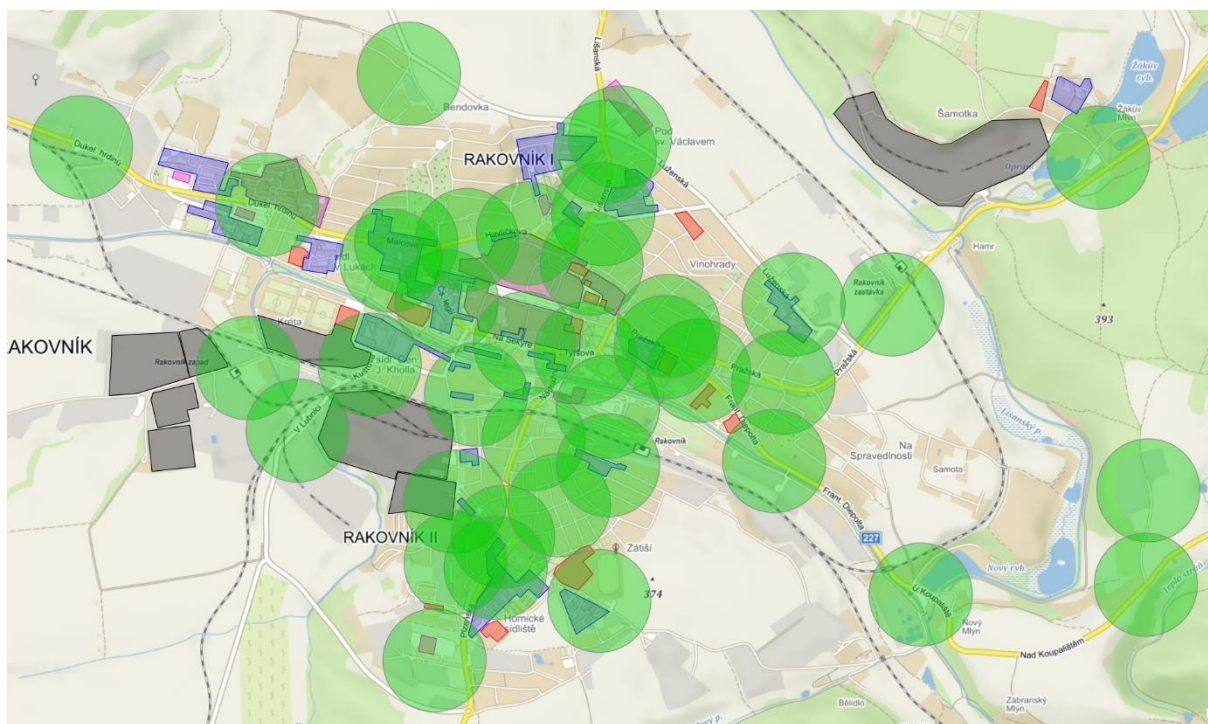


Fig. 1 The most important origins and destinations of trips in Rakovník and coverage of the town by the urban bus stops (the current state)

2.3. Current operational conception of the urban transport

Nowadays, there are 4 bus lines operated in Rakovník whose routing and stops are typical for the urban transport. These lines are:

- 310410 (SID B1): Rakovník (Šamotka – Tesco – aut.st. – hasičský záchr.sbor) – Senomaty,
- 310420 (SID B2): Lubná – Senec – Rakovník (Albert HYPERMARKET – aut.st. – hasičský záchr.sbor – ubytovna Haná),
- 310430 (SID B3): Lišany – Lužná – Rakovník (Šamotka – aut.st – Sídl. Gen.Kholla) – Lubná,
- 310440 (SID B4): Olešná – Rakovník.

It is evident, that the lines are not only urban, because they serve municipalities in the suburban area of Rakovník too. The author finds this as a strength of the current operational conception of the urban transport Rakovník, because these lines offer the municipalities in the suburban area direct connection to additional parts of Rakovník (in comparison with regional bus lines). Weaknesses of the current operational conception of the urban transport in Rakovník are:

- chaotic line routing (large variability in routes and in origin and terminate stops of connections of single lines – especially line B2),

- insufficient supply of connection (the lines mentioned above are operated only during the working days and mostly from the morning peak hours till the afternoon peak hours only; low frequency of service of most of the stops),
- unsystematic timetable (usually without fixed interval between connections).

Standard 12-metres-buses and 9.5-metres-midibuses are used for the operation of these lines.

3. Proposal of modifications of urban public transport Rakovník

3.1. Infrastructural modifications

With respect to insufficient coverage of some parts of the town by bus stops, the author proposed infrastructural modifications – construction of new bus stops or movement of some current bus stops. The maximal variant of infrastructural modifications, which solves not only the biggest problems defined in chapter 2.2 but also few other problems, includes:

- construction of 9 new bus stops,
- addition of bus stop for opposite/another direction in case of 3 current bus stops,
- movement (and potentially renaming) of 4 current bus stops.

Figure 2 shows the most important origins and destinations of trips in Rakovník (the same as figure 1) and in simplified way the areas of pedestrian accessibility from the urban bus stops (circles with radius of 200 metres and with centres in urban bus stops) after implementation of the infrastructural modifications proposed by the author (in the maximal variant).

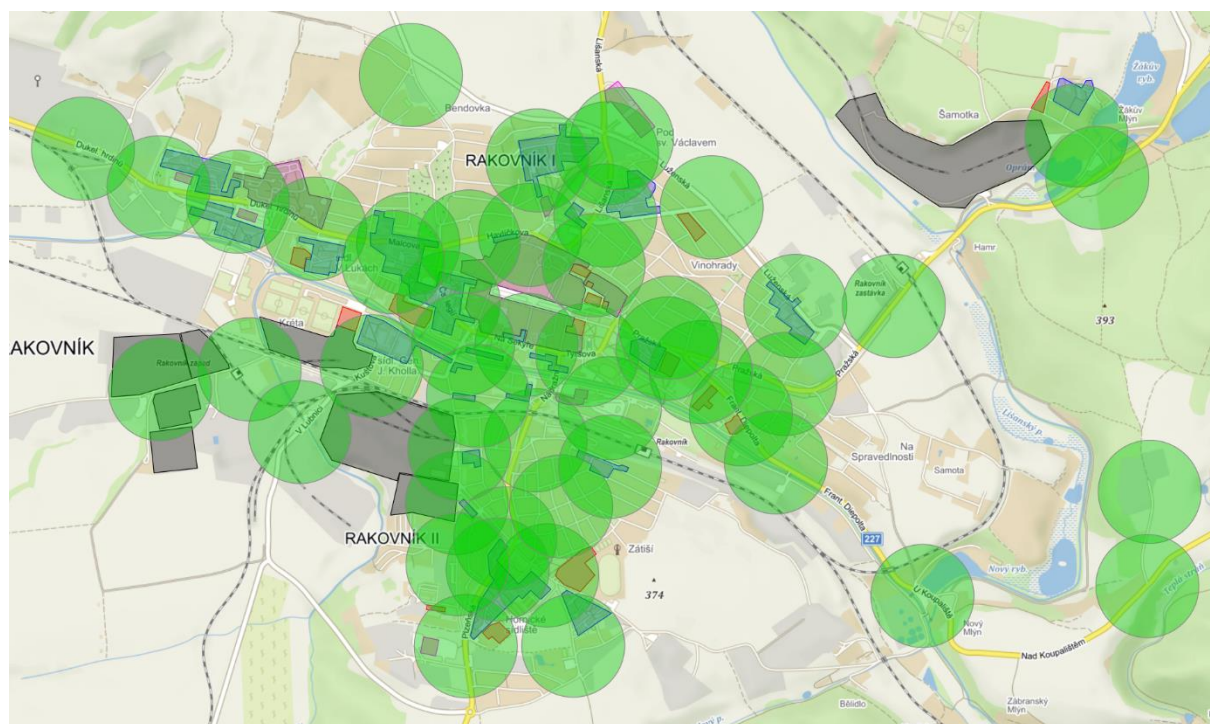


Fig. 2 The most important origins and destinations of trips in Rakovník and coverage of the town by the urban bus stops (after proposed infrastructural modifications – the maximal variant)

3.2. Selection of suitable vehicles and determination of minimal frequency of service

To balance supply of the public transport and transportation demand it is necessary to determine such high frequency of service which takes account of the number of trips and the capacity of used vehicles. This relation is defined by this formula:

$$f = \frac{Q}{\gamma \cdot K} \quad (2)$$

where f is frequency of service (number of connections per time unit), Q is the intensity of the traffic flow (the number of trips per time unit), K is the capacity of the vehicle and γ is the coefficient of the vehicle capacity utilization.

The attractiveness of the public transport and the value of its modal-split depends on the frequency of connections. To increase the value of modal-split of the urban public transport in Rakovník, the author proposes higher frequency of service and using of vehicles with lower capacity than standard 12-metres-long buses. The author proposes using of:

- midibuses (9.5-metres-long buses with capacity around 30 sitting passengers) in case of suburban lines,
- minibuses (7.5 or 8.5-metres-long buses with capacity around 25 sitting passengers) in case of urban lines and less occupied suburban lines.

From the capacity of vehicles and the results of the analysis of the number of trips, the frequency of service of the individual zones was proposed. The critical period of the working day for determination of the necessary transportation capacity is morning peak-hours. By the results of “SrV – Mobilität in Städten 2013” [3] around 40 % of trips of types “home – job”, “home – school” and “home – kindergarten” are realized between 7 and 8 a.m. From this period of the day the minimal peak-hours frequencies are determined ($\gamma = 1.2$ is used, which means, that staying passengers are tolerated during morning peak hours):

- zone North: 8 connections per hour,
- zone West: 5 connections per hour,
- zone South-west: 3 connections per hour,
- zone South: 6 connections per hour,
- zone South-east: 2 connections per hour,
- zone Šamotka: 1 connection per hour.

The frequency of service of zone Centre was not determined by the method described above because most of the trips have radial or diametral direction in relation to this zone. Thus, the frequency of service of this zone is deduced from frequencies of service of the other zones.

3.3. Proposal of line routing and line intervals

In the process of designing of the line routing, the author tried to keep the strengths and remove the weaknesses of the current operational conception of the urban public transport in Rakovník. This means that service of the suburban area is kept (the author suggests service of these municipalities: Lišany, Lubná, Lužná, Olešná, Pavlíkov, Senec, Senomaty). To make the line routing better arranged the author tried to minimize variability of routes of connections of the single lines – a requirement of different route was solved by creating a new line.

The proposal of diametral lines was directed by these steps:

1. Radial routes going from the bus station to border parts of Rakovník or to suburban area were proposed.
2. Pairs of routes constructed in the first step were connected to diametral lines so that all these lines go via Na Sekyře bus stop (the nearest bus stop from the centre of the town).

The aim in the process of connecting radial routes into diametral lines was to reach as low number of vehicles on lines as possible – as high efficiency and productivity of vehicles as possible because these have effect on operational costs [4]. Figure 3 shows fixed costs of a bus related to the average daily performance.

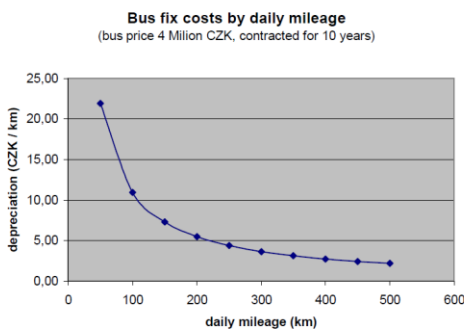


Fig. 3 Fixed costs (depreciation) by average daily vehicle performance [4]

In addition to 6 diametral lines, one tangential line (operated only during peak hours) was designed too. Chart of the proposed lines routing is displayed in figure 4.

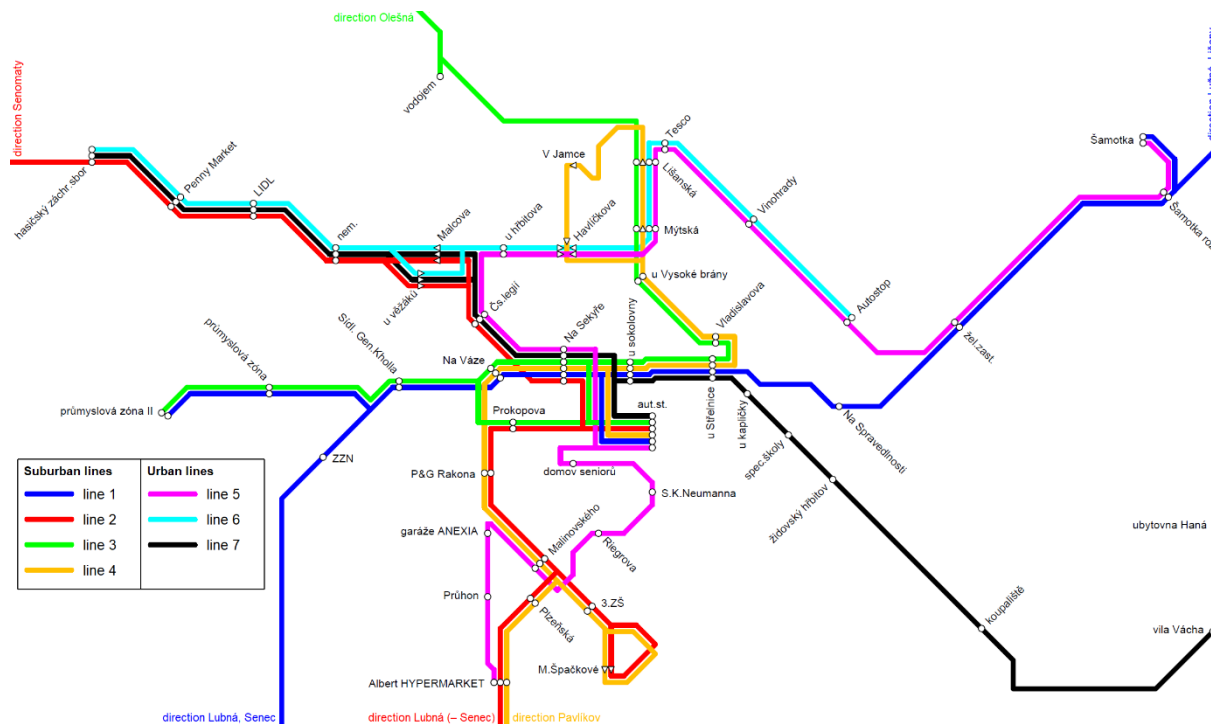


Fig. 4 Chart of the proposed lines routing

Table 2 shows proposed sizes of the buses on the lines and the line intervals for peak hours. These intervals respect the minimal frequency of service determined in chapter 3.2 but also some operational and transportation-technological aspects and specific characteristics of zones.

Tab. 2 Proposed size of the buses on the lines and the line intervals for peak hours

Line	Size of the buses	Part of the line	Peak-hours interval
Line 1	MIDI	Senec – Rakovník – Lišany	60 minutes
Line 2	MIDI	Senomaty – Rakovník – Lubná	60 minutes
Line 3	MINI	Olešná – Rakovník, „vodojem	30 or 60 minutes
		Rakovník, „vodojem – u Střelnice	30 minutes
		Rakovník, „u Střelnice – průmyslová zóna II	15–30 minutes
Line 4	MINI	Rakovník, „V Jamce – aut.st.	15 minutes
		Rakovník, „aut.st. – Albert HYPERMARKET	15–30 minutes
		Rakovník, „Albert HYPERMARKET – Pavlíkov	60 minutes
Line 5	MINI	Rakovník, „Šamotka – Albert HYPERMARKET	30 minutes
Line 6	MINI	Rakovník, „Autostop – hasičský záchr.sbor	30 minutes
Line 7	MINI	Rakovník, „hasičský záchr.sbor – koupaliště	30 minutes
		Rakovník, „koupaliště – bytovna Haná	60 minutes

4. Conclusions

The aim was to propose that kind of modifications for the urban public transport in Rakovník which should result in increasing of its modal-split, but which take account of efficiency of this transportation system too.

In the analytic section there were initially found out the numbers of trips between individual parts of Rakovník and the infrastructural weaknesses (insufficient coverage of the town by the bus stops) and weaknesses of the current operational conception of the urban public transport in Rakovník.

Then the modifications were proposed, namely 16 infrastructural modifications (to improve the coverage of the town by the bus stops) and modifications in the operational conception of the urban public transport in Rakovník. Seven urban and suburban lines (both classes included into the system of the urban public transport Rakovník) were designed and with respect to the results of the analysis of the number of trips the suitable sizes of the vehicles on the lines and the line intervals were proposed.

References

- [1] Janoš, V. – Kříž, M. Urban Transport in Smaller Towns. In: *Transport Problems 2017, Proceedings*. IX International Scientific Conference Transport Problems 2017. Katowice, 28.06.2017 – 30.06.2017. Katowice: Wydział Transportu Politechniki Śląskiej. 2017, s. 244-250. ISBN 978-83-945717-4-0.
- [2] Lohse, D. *Grundlagen der Straßenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung. Band 2: Verkehrsplanung*. Berlin: Beuth Verlag. 2011.
- [3] Ahrens, G.-A. – Wittwer, R. – Hubrich, S. – Wittig, S. – Liesske, S. *Sonderauswertung zum Forschungsprojekt “Mobilität in Städten – SrV 2013”*: SrV-Stadtgruppe: Mittelzentren, Topografie: hügelig. Dresden. 2015.
- [4] Janoš, V. – Kříž, M. Vehicle- and Staff Productivity in Bus Urban Transport. In: *Trans&Motauto World*. 2016, I(4/2016), s. 24-26. ISSN 2367-8399.

Plánování veřejné hromadné dopravy pomocí multiagentních systémů

Patrik Horažďovskýⁱ

Abstrakt: *Pojmy Čtvrtá průmyslová revoluce a Smart City jsou v dnešní době velmi užívané a jejich myšlenky jsou aplikovány do všech oborů. Veřejná hromadná doprava je jedním z nich. Aby veřejná hromadná doprava měla pro obyvatelstvo co největší přínos, je nutné v první fázi vycházet z organizace provozu, tedy dopravního plánování. Tento příspěvek definuje dynamickou složku veřejné hromadné dopravy a popisuje možnosti dopravního plánování za pomoci multiagentních systémů. Aby bylo tento způsob plánování možné vhodně popsat, jsou diskutovány vstupní parametry a zdroje dat ze senzorické sítě pro multiagentní systémy.*

Klíčová slova: *Veřejná hromadná doprava, Smart City, Čtvrtá průmyslová revoluce, Dynamická obsluha, Big Data, Multiagentní systém*

Abstract: *The concepts of the Fourth Industrial Revolution and Smart City are now widely used and their ideas are applied to all disciplines. Public transport is one of them. At the first place it is necessary to handle with public transport organisation to reach the biggest profit for habitants. The aim of this paper is to define dynamic public transport and to describe transport organisation using multi-agent systems. Input parameters and data sources from the sensor network for multi-agent systems are discussed to properly describe this way of public transport planning.*

Keywords: *Public transport, Smart City, Industry 4.0, Dynamic service, Big Data, Multi-agent systems*

1. Úvod

Stále více pracovních a dalších příležitostí se generují ve městech, naopak v malých obcích tyto příležitosti mizí. Díky tomu lidé více cestují a jsou ochotni cestovat i velké množství kilometrů. Pohodlnější je však necestovat. Celosvětově tak dochází k efektu, že postupně dochází k vylidňování menších obcí a naopak k přelplňování měst. Tato situace se začíná stávat neúnosná ve vztahu k počtu lidí ve městě, počtu vozidel - doprava v klidu, kongescím, emisím, imisím a dalším podobným negativním jevům. Je proto potřeba zamyslet se jak tomu zabránit a se situací se vypořádat.

Z dopravního hlediska je možností velké množství. Může to být zakazování nebo naopak odměňování, a právě odměnění cestujících je i snahou tohoto řešení. Řešením může být nabídnout dítěti sladkost, pokud využije veřejnou hromadnou dopravu a tím zvýšit jeho zájem, pro většinu cestujících je však podstatné nabídnout takové spojení, které je kapacitní, rychlé spolehlivé a hlavně pravidelné. Pokud cestující bude mít jistotu, že se veřejnou hromadnou dopravou do cíle, a hlavně z cíle dostane, je pro něho veřejná hromadná doprava vhodnou alternativou a bude ji využívat.

ⁱ Ing. Patrik Horažďovský, ČVUT FD, Ústav dopravní telematiky, Konviktská 20, 110 00 Praha 1, horazpat@fd.cvut.cz

Základním stavebním kamenem pro funkčnost veřejné hromadné dopravy je dopravní plánování. Právě dopravní plánování může být ovlivněno nastupujícími trendy Smart City a Industry 4.0 a může být využito tohoto nového potenciálu. Do plánování proto vstupuje jako podstatný parametr sběr dopravních dat ze senzorů. Těmito senzory může být automatické počítání cestujících ve vozidle, ale také Big Data, která sledující pohyb cestujících nejen ve vozidle, ale také sleduje přepravní proudy a definují modal-split. Z těchto a dalších je možné získat dopravní parametry, které ovlivňují dopravní plánování. Po spojení nasbíraných dat stále narážíme na problémy s obsluhou velkých oblastí s roztroušenými obcemi. Tento problém lze vyřešit zavedením dynamiky do veřejné hromadné dopravy, a propojit myšlenky Čtvrté průmyslové revoluce s veřejnou hromadnou dopravou, kdy cestující sami určují, jak budou obsluženi veřejnou hromadnou dopravou[1].

Cílem tohoto příspěvku je představit přístup k dopravnímu plánování, sběru dat senzorickou sítí a návrhu multiagentního systému pro určení aktuální optimální obsluhy území.

2. Současný stav obsluhy území veřejnou hromadnou dopravou

Systém veřejné hromadné dopravy je v současné chvíli nastaven tak, že zcela opomíjí dynamický prvek v dopravě. Veřejná hromadná doprava je tvořena pomocí linek s pevnými jízdními řády s přesnými časovými polohami jednotlivých spojů. Pro interní potřeby jsou vytvářeny přesné grafikonky, oběhy vozidel, označení jednotlivých spojů a každému vozidlu je přiřazeno dané pořadí, které obsluhuje přidělené spoje linek. Díky tomu je přesně určené, kolik kilometrů každé vozidlo ujede a odráží se od toho i financování tohoto způsobu dopravy. Tímto způsobem je veřejná hromadná doprava přehledná a jasně daná, každý objednaný spoj obsluhuje přidělenou oblast. Přesto nevýhodou je, že některé spoje a linky veřejné hromadné dopravy jsou v určitých časových obdobích méně nebo dokonce zcela nevytížené, a proto výrazně neefektivní nebo naopak poptávka po přepravě je vysoká, ale dostupné spoje neexistují.

Velkou výhodou současného nastavení je přesné nadefinování dopravy, v případě objednání spoje a jeho zařazení do jízdního řádu, je jistota, že daný spoj pojedou v předepsaném čase a předepsané trase. Přesto tato výhoda se může ukázat jako nevýhoda.

Z hlediska finanční zátěže jsou spoje linek objednávány jednotlivými obcemi a na základě objednávky je obec obsluhována. Pokud obec nemá dostatečné finance, je zajištěna obsluha pouze v omezeném počtu spojů, a tedy dost často nedostatečně. Díky pevnému nastavení dopravního systému není možné více obslužit danou obec nebo oblast.

Z dopravního hlediska může pevně stanovený dopravní systém znamenat problém pro dopravce i pro pravidelnost a přehlednost provozu. Jelikož jsou pevně dána pořadí a oběhy vozidel, dochází často k dlouhému odstavení vozidel (někdy i v řádech hodin) a nutnosti častému přejezdu vozidel, čímž se snižuje celková efektivita provozu. Dalším častým jevem je nepravidelnost trasy pravidelné linky, a to zátahem do dotčené oblasti pouze vybranými spoji nebo častá změna pravidelné trasy, lišící se každým spojením. Jízdní řád se poté stává velmi nepřehledným a cestující ztrácí přehled o tom, zdali konkrétní spoj dané linky skutečně obsluhuje chtěnou oblast. [4]

100335		Praha, Budějovická - Kamenice, Kult.dům																								
335		ARRIVA ARRNA PRAHA s.r.o. U Šelšavě 65/7, 101 00 Praha 10																								
Plati od: 11.12.2016																										
Yarní pásmo	501	503	505	507	509	511	513	515	517	519	521	523	525	527	529	531	533	535	537	539	541	543	545	547	549	551
BUDĚJOVICKÁ	0	*	*	@+	*	*	*	*	@+	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Nemocnice Koč	0	6:05	6:20	6:30	6:40	6:20	6:20	12:15	12:20	13:35	14:05	14:35	15:35	15:20	15:35	16:05	16:35	17:05	17:35	18:20	18:20	18:35	18:35	19:30	20:30	
Ústlav mateřství	0	6:11	6:26	6:36	6:46	6:26	6:26	12:21	12:26	13:41	14:11	14:41	15:11	15:26	15:41	16:11	16:41	17:11	17:41	18:26	18:26	18:41	18:41	19:36	20:36	
IKEM	B	6:14	6:29	6:39	6:49	6:29	6:29	12:24	12:29	13:44	14:14	14:44	15:14	15:29	15:44	16:14	16:44	17:14	17:44	18:29	18:29	18:44	18:44	19:39	20:39	
x Zelené domky	B	6:16	6:31	6:41	6:51	6:31	6:31	12:26	12:31	13:46	14:16	14:46	15:16	15:31	15:46	16:16	16:46	17:16	17:46	18:31	18:31	18:46	18:46	19:41	20:41	
x U Třísvětlých	B	6:17	6:32	6:42	6:52	6:32	6:32	12:27	12:32	13:47	14:17	14:47	15:17	15:32	15:47	16:17	16:47	17:17	17:47	18:32	18:32	18:47	18:47	19:42	20:42	
x Břehův	B	6:18	6:33	6:43	6:53	6:33	6:33	12:28	12:33	13:48	14:18	14:48	15:18	15:33	15:48	16:18	16:48	17:18	17:48	18:33	18:33	18:48	18:48	19:43	20:43	
x U Studánky	B	6:20	6:35	6:45	6:55	6:35	6:35	12:30	12:35	13:50	14:20	14:50	15:20	15:35	15:50	16:20	16:50	17:20	17:50	18:35	18:35	18:50	18:50	19:45	20:45	
Veslec, Sálava	1	6:22	6:37	6:47	6:57	6:37	6:37	12:32	12:37	13:52	14:22	14:52	15:22	15:37	15:52	16:22	16:52	17:22	17:52	18:37	18:37	18:52	18:52	19:47	20:47	
Veslec, Obchodní centrum	1	6:23	6:38	6:48	6:58	6:38	6:38	12:33	12:38	13:53	14:23	14:53	15:23	15:38	15:53	16:23	16:53	17:23	17:53	18:38	18:38	18:53	18:53	19:48	20:48	
Veslec, Sálava	1	6:24	6:39	6:49	6:59	6:39	6:39	12:34	12:39	13:54	14:24	14:54	15:24	15:39	15:54	16:24	16:54	17:24	17:54	18:39	18:39	18:54	18:54	19:49	20:49	
Jesenice, Jivovky	1	6:26	6:41	6:51	7:01	6:41	6:41	12:36	12:41	13:56	14:26	14:56	15:26	15:41	15:56	16:26	16:56	17:26	17:56	18:41	18:41	18:56	18:56	19:51	20:51	
JESENICE	1	6:26	6:43	6:53	7:03	6:43	6:43	10:40	12:38	12:43	13:58	14:28	14:58	15:28	15:43	15:58	16:28	16:58	17:28	17:58	18:43	18:43	18:58	18:58	19:53	20:53
Jesenice, Horní Jičany	1	6:31	6:46	6:56	7:06	6:46	6:46	10:43	12:41	12:46	14:01	14:31	15:01	15:31	15:46	16:01	16:31	17:01	17:31	18:01	18:46	18:46	19:01	19:56	20:56	
Jesenice, Horní Jičany, vedlejší	1	6:33	6:48	6:58	7:08	6:48	6:48	10:45	12:43	12:48	14:03	14:33	15:03	15:33	15:48	16:03	16:33	17:03	17:33	18:03	18:48	18:48	19:03	19:58	20:58	
Sulice, Hlubočinka, Obchodní centrum	2	6:49	7:00	6:49	6:49	10:46	12:44	12:46	14:04	14:04	15:04	15:04	15:48	16:04	17:04	17:04	18:04	18:04	18:48	19:04	19:04	19:58	20:58	21:03	21:03	
Sulice, Hlubočinka, Obchodní centrum	2	6:34	6:59	6:59	6:59	10:48	12:46	12:46	14:06	14:06	15:06	15:06	15:50	16:06	17:06	17:06	18:06	18:06	18:50	19:06	19:06	20:00	21:00	21:00	21:00	
RADEJOVICE	2	6:51	7:11	6:51	6:51	10:48	12:46	12:51	14:07	14:07	15:07	15:07	15:52	16:07	17:07	17:07	18:07	18:07	18:52	19:07	19:07	20:01	21:01	21:01	21:01	
x Radějovice, Otěšky	2	6:52	7:12	6:52	6:52	10:47	12:52	12:52	14:07	14:07	15:07	15:07	15:52	16:07	17:07	17:07	18:07	18:07	18:52	19:07	19:07	20:01	21:01	21:01	21:01	
x Křížkový Újezdec, Čeněčnice	2	6:54	7:14	6:54	6:54	10:49	12:54	12:54	14:09	14:09	15:09	15:09	15:54	16:09	17:09	17:09	18:09	18:09	18:54	19:09	19:09	20:03	21:03	21:03	21:03	
Křížkový Újezdec	2	6:56	7:16	6:56	6:56	10:51	12:56	12:56	14:11	14:11	15:11	15:11	15:56	16:11	17:11	17:11	18:11	18:11	18:56	19:11	19:11	20:05	21:05	21:05	21:05	
Sulice, Hlubočinka	2	6:35	7:00	6:35	6:35	10:45	12:53	12:53	14:05	14:05	15:05	15:05	15:50	16:05	17:05	17:05	18:05	18:05	18:50	19:05	19:05	20:00	21:00	21:00	21:00	
Sulice, Na Křížkách	2	6:37	7:02	6:37	6:37	10:47	12:55	12:55	14:07	14:07	15:07	15:07	15:52	16:07	17:07	17:07	18:07	18:07	18:52	19:07	19:07	20:01	21:01	21:01	21:01	
Sulice	2	6:39	7:04	6:39	6:39	10:49	12:57	12:57	14:09	14:09	15:09	15:09	15:54	16:09	17:09	17:09	18:09	18:09	18:54	19:09	19:09	20:03	21:03	21:03	21:03	
x Sulice, Nechánice	2	6:42	7:07	6:42	6:42	10:51	12:59	12:59	14:12	14:12	15:12	15:12	15:57	16:12	17:12	17:12	18:12	18:12	18:57	19:12	19:12	20:06	21:06	21:06	21:06	
Sulice	2	6:45	7:10	6:45	6:45	10:53	13:01	13:01	14:15	14:15	15:15	15:15	16:00	16:15	17:15	17:15	18:15	18:15	19:00	19:00	19:04	20:08	21:08	21:08	21:08	
Sulice, Na Křížkách	2	6:47	6:58	7:02	7:28	6:58	6:58	10:53	12:58	12:58	14:13	14:47	15:13	15:47	15:58	16:13	16:47	17:13	17:47	18:13	19:02	19:08	19:12	20:08	21:17	
x Sulice, Zvětec, Mandava	2	6:48	6:59	7:03	7:29	6:59	6:59	10:54	12:59	12:59	14:14	14:48	15:14	15:48	15:59	16:14	16:48	17:14	17:48	18:14	19:03	19:09	19:13	20:09	21:18	
Sulice, Zvětec	2,3	6:48	6:49	7:00	7:04	7:00	7:00	10:55	13:00	13:10	14:15	14:49	15:15	15:49	16:00	16:15	16:49	17:15	17:49	18:15	19:04	19:10	19:14	20:10	21:19	
Kostelec u Křížků, škola	3	5:50	6:51	7:02	7:06	7:06	7:06	10:02	12:07	13:07	13:07	13:21	14:17	14:51	15:17	15:51	16:02	16:17	16:51	17:17	17:51	18:17	19:06	19:12	19:16	20:12
Kostelec u Křížků	3	5:51	6:52	7:03	7:07	7:03	7:03	10:03	13:08	13:03	13:22	14:18	14:52	15:18	15:52	16:03	16:18	16:52	17:18	17:52	18:18	19:07	19:13	19:17	20:13	
Kamenice, Skuhřel	3	5:53	6:54	7:05	7:09	7:05	7:05	10:05	13:10	13:05	13:24	14:20	14:54	15:20	15:54	16:05	16:20	16:54	17:20	17:54	18:20	19:09	19:15	19:19	20:15	
Kamenice, Uřivona	3	5:55	6:56	7:07	7:11	7:07	7:07	10:07	13:12	13:07	13:26	14:22	14:56	15:22	15:56	16:07	16:22	16:56	17:22	17:56	18:22	19:11	19:17	19:21	20:17	
KAMENICE KULT DŮM	3	5:57	6:58	7:09	7:13	7:09	7:09	10:09	13:14	13:09	13:28	14:24	14:58	15:24	15:58	16:09	16:24	16:58	17:24	17:58	18:24	19:13	19:19	19:23	20:19	

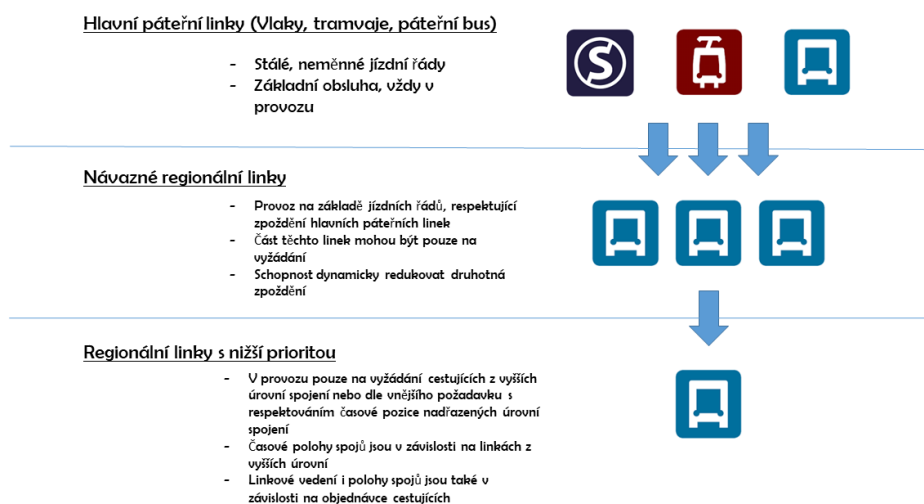
Obr. 1 Nepřehlednost pevně definovaného jízdního řádu [2]

Hlavním problémem je chybějící pružnost na mimořádnosti v provozu. V případě vytvoření zpoždění, nedokáže přesně definovaný dopravní systém pružně reagovat. V takovém případě může docházet k ujetí návazných spojů a výraznému degradování kvality přepravy. Dopravní systém by měl být tvořen tak, aby respektoval frekvenci přepravených cestujících a obsluhovaných oblastí.

3. Úrovně veřejné hromadné dopravy

Současný stav má své opodstatnění, ale pro vytvoření kvalitní obsluhy, které by vyřešilo problematiku s obsluhou většího území je proto nutné nalézt nové řešení. Území s malou zalidněností a s roztroušenými obcemi je totiž velmi těžké obsloužit veřejnou hromadnou dopravou a dochází ke zmíněným excesům. Cestující jsou zbytečně zdržováni zajištěním do okolních obcí podél trasy nebo naopak je jejich cíl rychlejším spojením zcela neobslužen. Jedním z možných přístupů, jak problematiku vyřešit, je rozčlenit dopravní systém do více částí a vytvořit takzvaný dynamický režim obsluhy.

Úrovně veřejné hromadné dopravy



Obr. 2 Úrovně veřejné hromadné dopravy [3]

Dynamický režim dopravy je obsluha oblasti v závislosti na vnějších podnětech. Tyto podněty mohou být sami cestující, kteří si dopravu objednávají a také ovlivňující parametry, mezi které je možné zařadit také senzorkovou síť a data z ní. Dynamický režim náleží hlavně třetí úrovni dopravy. [3]

3.1. Páteřní linky

Spoje v této úrovni zajišťují primární obsluhu území. Typy dopravních prostředků by měly být v této úrovni nejkapacitnější, a proto je primárně zařazena železnice nebo tramvajová doprava, případně hlavní autobusové linky. Spoje této úrovně mají standardní pevně stanovený provoz dle jízdního řádu a zajišťují spojení dané oblasti s centrální oblastí.

3.2. Navazující spoje na páteřní linky

V této úrovni jsou spoje sloužící jako přípoje k páteřním linkám. Tyto spoje reagují na nepravidelnosti v dopravě a vyčkávají na páteřní linky. Čekání na navázané spoje jsou řešeny předem stanoveným časovým intervalem s ohledem na cestující, kteří již čekají na spoj.

3.3. Navazující regionální spoje s nízkou prioritou

Tyto spoje obsluhují poslední neobsloužené oblasti s velmi nízkou poptávkou po dopravě. Tyto spoje jsou v provozu pouze po objednání dopravy cestujícím a jejich trasa se může dynamicky měnit. Na tyto spoje dopravce vysílá většinou méně kapacitní vozy.

4. Dynamický režim

Dynamický režim, jak už bylo popsáno, je určen primárně pro spojení veřejnou hromadnou dopravou v koncových úsecích. Díky dynamice je možné ovlivnit, které zastávky, respektive oblasti budou obslouženy. Výsledným efektem bude možné vytvořit více spojení, najíždět méně kilometrů a tím celkově zvýšit atraktivitu veřejné hromadné dopravy v těchto koncových úsecích jak pro cestující tak pro dopravce, respektive objednavatele dopravy.

Jednou možností dynamického režimu dopravy je doprava na zavolání cestujícím. Oproti současnému stavu, kdy existují také spoje na zavolání – pevně daný spoj linky je nebo není, v závislosti na objednavce cestujícího, v provozu, dynamické spoje nemají předem nadefinovanou trasu ani časovou polohu. Všechny tyto skutečnosti jsou definovány až na základě požadavků cestujícího a vnějších parametrů. Navíc je možné tyto skutečnosti měnit na základě změny aktuální situace. V reálném provozu může situace vypadat tak, že objednanému spoji se změni trasa i časová poloha na základě nové žádosti o přepravu dalším cestujícím nebo aktuální změnou z některých parametrů. V následující kapitole budou popsány některé parametry pro vytvoření představy fungování dynamického systému.

4.1. Definování dopravního systému s dynamikou

Pro fungování systému je nutné správně určit oblasti, ve kterých je dynamický režim možné správně aplikovat. Vyloučeny musejí být páteřní trasy, ale naopak také musejí být brány v potaz vzhledem k návazným spojením.

Pro definici je vždy potřeba návazných kroků:

- Definování oblasti na základě bodů zájmu – města, zdravotní střediska, místa odpočinku, přestupní body, respektive obecně – poptávka po dopravě
- Trasy a počty současných linek a páteřních sítí (železnice,...)
- Nalezení požadovaných přímých spojení dle poptávky cestujících

Na základě těchto informací budou nalezeny místa a oblasti, kde je vhodné zavést dynamickou obsluhu území. Možností je také úprava současného linkového vedení. Tato oblast je poté dále potřeba analyzovat, jelikož do dynamiky mohou být začleněny i další druhy dopravy a proto budou sledovány například cyklostezky, pěší trasy a podobně. Výsledkem může být návrh parkoviště B+R jako doplněk dopravního systému ke stávajícím linkám, jelikož pro většinu cestujících bude rychlejší přejet krátký úsek pomocí cyklistické dopravy než objíždět úsek autobusem. Zde samozřejmě je nutné respektovat, že ne vždy a pro všechny je tato doprava určena. Proto například počasí nebo požadavek cestujícího bude ovlivňujícím parametrem celého dopravního systému.

4.2. Parametry ovlivňující dopravní systém

Aby bylo možné vytvořit systém, který na základě objednávek cestujících určí nejvhodnější trasu i časovou polohu spojení, je nutné definovat parametry, které výsledek ovlivňují. Parametry lze rozdělit do několika skupin z hlediska získávání dat i druhu dat. Podstatné je začlenění problematiky také do Smart City řešení, a tím získávat aktuální data z provozu nebo chování obyvatelstva. Obecně je snahou využít data ze senzorické sítě a také využít Open Data. Díky Open Data vzniká velké množství parametrů a s tím i další řešení pro vytvoření optimální trasy. Právě díky parametrům a jejich vzájemnému se vylučování může být určena optimální trasa i časová poloha. V následujícím rozdělení jsou nastíněny příklady dopravních parametrů.

PARAMETR POPTÁVKY		PARAMETR NABÍDKY		PARAMETR INFRASTRUKTURY		EKOLOGIE
Cestující	Lokace	Čas	Provozní parametr	Aktuální data	Infrastruktura	Ekologie
Čas odjezdu	Kde jsou umístěné zastávky	Čas odjezdu	Kde se nachází vozidlo	Obsazenost vozidla	Výšková omezení	Spotřeba pohonných hmot
Čas příjezdu		Čas odjezdu předchozího stejného spojení		Dopravní excesy – nehoda, kongesce		
Cestovní čas	Kde se nachází cestující	Interval mezi spoji (minimální, optimální)	Typ vozidla	Dopravní uzavírky	Obecná průjezdnost komunikací pro daná vozidla	Emise CO ₂ /km
Místo začátku přepravy	Kde se nalézá přestupní bod		Dostatečné natankované vozidlo			
Cíl přepravy	Jaký je cíl přepravy	Čas příjezdu	Je možné řízení řidiče (pauza), čas řízení, ...	Dispečerské řízení	Nebezpečná místa	
Cena + maximální možná cena	Kde se nachází návazné spojení – Eliminace zpoždění		Stav vozidla			
Typ dopravního prostředku (bus, vlak, kolo, Segway, pěší doprava)		Jaký je maximální čas čekání na navazující spojení	Oběhy vozidla			
Parametr vozidla (nízkopodlažnost, přeprava kol, ...)		Jaké čas je tolerovaný pro vytvoření zpoždění v závislosti na dalších objednávkách dopravy				
Akceptovatelný čas na do začátku přepravy						

Tab. 1 Tabulka parametrů ovlivňujících dopravní systém

V předchozí tabulce jsou vyjmenovány hlavní parametry ovlivňující aktuální dopravní plánování. Díky těmto parametrům lze dynamicky měnit obsluhu území. Je nutné vyzdvihnout parametr Typ vozidla, který nevyjadřuje pouze rozdíl ve velikosti a uspořádání vozidla, ale také druh dopravního prostředku. V rámci dynamického režimu je zamýšleno využít jiných druhů dopravy, tedy tímto typem může být jízdní kolo, segway nebo může jít i o carsharing, taxislužbu nebo dokonce spolujízdu. Díky těmto druhům dopravy je otevřen velký potenciál obsluhy území, který bude efektivní a zároveň ekonomicky udržitelný. Je samozřejmé, že některé druhy dopravy nejsou vždy využitelné, proto záleží na vstupních definovaných podmínkách.

5. Sběr dopravních dat

Pro dopravní plánování je nezbytným prvkem sběr dopravních dat. Tato data je možné rozdělit na data aktuálního charakteru a data dlouhodobá statistická.

5.1. Dlouhodobá statistická data

Dlouhodobá data jsou většinou shromažďována z výsledků vozových, profilových a směrových průzkumů, které se stále provádějí ve velké míře pouze manuálně za pomoci lidského sčítače. Posunem jsou takzvané systémy APC (Automatic passenger counting), které zahrnují senzory umístěné nad vchodovými dveřmi do vozidla a softwarem na vyhodnocení. Tyto senzory mohou bez přestání dlouhodobě zaznamenávat pohyb cestujících při nástupu a výstupu z vozidla. Je nutné se však zaměřit na přesnost měření.

5.2. Přesnost měření APC

Výrobci systémů APC udávají přesnost měření až 99 %. Tuto přesnost však někteří dodavatelé vyjadřují pouze pomocí jednoduchých vzorců, které porovnávají pouze naměřené hodnoty cestujících v průběhu celé jízdy jednoho spoje. Díky tomu je možné skutečně dosáhnout vysokých čísel přesnosti. Skutečnou přesnost je ale potřeba vyjádřit jiným způsobem a záleží i na definici přesnosti objednavatele těchto zařízení. Z německé normy VDV 457 je použit vzorec pro výpočet přesnosti měření zařízení APC.[5]

Výpočet je založen na rozdílu hodnot naměřených cestujících v absolutní hodnotě, dělené počtem cestujících dle referenční hodnoty. Při vynásobení výsledku 100 je získána procentuální chybovost systému pro jednotlivé měření.

$$C_i = \frac{|A_i - B_i|}{B_i} \times 100 \quad (1)$$

kde

i – index záznamu měření, respektive index jednotlivých stanic/zastávek

n – počet měření, respektive stanic/zastávek

A_i – počet nástupů, resp. výstupů, ze zařízení APC [-]

B_i – počet nástupů, resp. výstupů, dle referenčního údaje [-]

C_i = zjištěná chybovost počtu nástupů, resp. výstupů pro danou zastávku [%]

Tento vzorec je používán dalšími dodavateli obecně pro celou dobu měření nikoliv na zastávku, jak je ve vzorci naznačeno. Je potřeba uvědomit si, že výsledek opět není pouze počet cestujících za danou dobu měření. Tento problém již mnohdy řešen není. Chybovost je nutné vztáhnout na jednotlivé zastávky. Může dojít k situaci, kdy ve skutečnosti skutečně nastoupí 100 cestujících do vozidla po dobu měření, ale v průběhu celého měření. Systém může chybně určit nástup 99 cestujících na poslední zastávce. Pokud by byl brán v potaz pouze celkový počet cestujících, zařízení by dle obecného vzorce mělo vysokou procentuální úspěšnost měření. Ve skutečnosti tomu tak není.

Výsledná chybovost C je proto průměrem všech naměřených hodnot z jednotlivých zastávek, kde bylo měření prováděno, tedy:

$$C = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n C_i \quad (2)$$

Výsledkem C je chybovost systému v jednotkách [%].

Vzhledem k tomu, že se jedná o výpočet přesnosti nelze využít medián hodnot. V případě použití mediánu by extrémní chyby byly vyloučeny z měření, zvýšila by se přesnost, což není cílem a není to vypovídací hodnotou.

Dalším předpokladem je přesnost referenčních dat. Dle předchozích vzorců je vždy porovnávána naměřená hodnota počtu cestujících s referenční hodnotou, která je vždy 100% správná. Při reálných měření je jisté, že hodnota nemůže být vždy zcela správná, a proto je potřeba zamyslet se, jak určit samotnou kvalitu měření. Vzorec je triviální, přesto tuto skutečnost, že referenční hodnot není zcela správná, je většinou v metodice určení přesnosti opomíjena, proto je v tomto příspěvku připomínána.

$$Kvalita\ měření_s = 100 - \left(\frac{|O_s - I_s|}{O_s + I_s} * 100 \right) [\%] \quad (3)$$

kde

s – konkrétní spoj

O_s – celkový počet výstupů za spoj s (součet všech výstupů za celý spoj) [osob]

I_s – celkový počet nástupů za spoj s (součet všech nástupů za celý spoj) [osob]

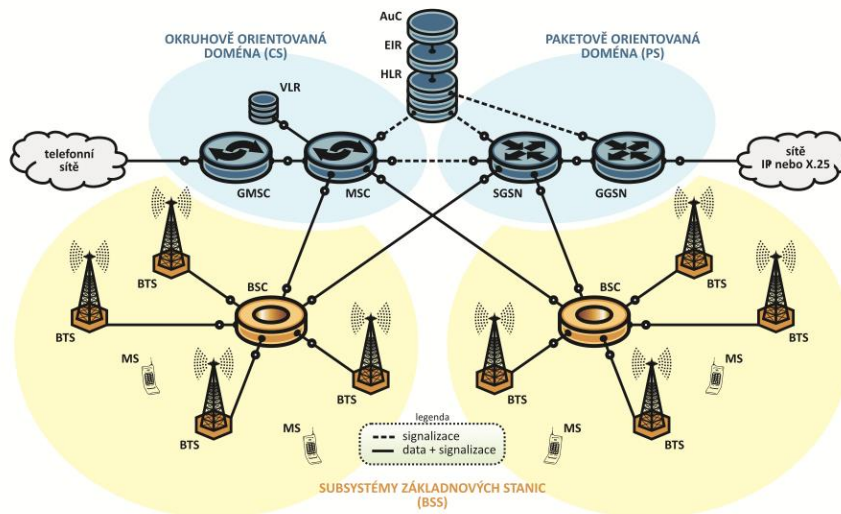
Dalším předpokladem je určení stoprocentní hodnoty, respektive k jaké hodnotě porovnávám přesnost měření. Je-li tedy udávána hodnota měření v procentech je potřeba znát celek. Chybou je určení této hodnoty pouze na základě jednoho měření. Je otázkou přístupu, jak se s tímto problémem vyrovnat. Je možné stanovit, že hodnota 100 % je počet cestujících za jeden spoj. Může se však stát, že za celý spoj nastoupí pouze dva lidé. Vzhledem k malému počtu je předpoklad, že zařízení cestující zaznamená, a tedy má extrémně vysokou přesnost měření, ve skutečnosti tomu tak být ale nemusí. Může však dojít k opačnému problém a to, že zařízení napočítá pouze jednoho cestujícího a má tedy přesnost pouze 50 %, což je od deklarované hodnoty velmi vzdálená hodnota. Ve skutečnosti ovšem systém APC může být kvalitní. Je proto nutností správného nastavení celkové referenční hodnoty. Příkladem může být stanovení 500 nástupů a výstupů. Může proto dojít k situaci, že doba měření bude trvat i velmi rozdílnou dobu. Z toho vyplývají další požadavky na rozložení nástupů a výstupů, aby systém zvládal zaznamenávat i nárazově velké počty cestujících, a naopak také nízké počty. Proto je nutné přesnost nestanovit pouze jedním měřením, ale dlouhodobým.

Obecně v této části příspěvku bylo cílem představit problematiku a upozornit, že vyhodnocení přesnosti není pouze použití zmíněného vzorce, ale je potřeba dlouhodobého měření a diverzifikace kontrolních měření. Problémy mohou nastat i v jiných, nečekaných souvislostech, jako je průjezd zastávkou na znamení nebo průjezd po sobě jdoucích zastávek se stejným názvem a podobně. Vzhledem k rozsahu příspěvku, ale není možné tuto problematiku dále rozepisovat.

5.3. Mobilní data

Pro dlouhodobé statistiky je moderní možností využít pohybu mobilních zařízení. Díky těmto zařízení není možné získávat pouze data o obsazenosti vozidel, ale také o pohybu cestujících mimo vozidla. Za použití mobilních dat jsou vytvářeny matice přepravních vztahů, je možné určit modal-split a definovat vhodné dopravní prostředky i zdroje a cíle přepravy. Tento způsob velmi podporuje myšlenku dynamické obsluhy území. Opět je potřeba zamyslet se nad

přesností a relevantností dat. Možností zpřesnění je využití nových BTS, respektive zabudování mikro-BTS do provozu a tím zvýšení pokrytí signálem.



Obr. 3 Schéma mobilních sítí [3]

Podobně jako předchozí téma APC je vzhledem k zaměření tohoto příspěvku pouze představit tuto problematiku jako jednou z možných řešení, samotný popis fungování těchto systémů je součástí jiných publikací.

5.4. Aktuální dopravní data

Aktuální data o dopravě jsou cenným zdrojem informací nejen pro řidiče, ale také pro plánování dopravy. Aktuální dopravní data z veřejné hromadné dopravy je možné získat, podobně jako u dlouhodobých statistických dat, ze systémů APC, z pohybu mobilních zařízení nebo díky záznamu o pohybu jiných vozidel - Floating Car Data. [4] Podstatným rozdílem je poskytnutí naměřených dat online a využití jinými systémy, například systémem pro plánování dynamické obsluhy.

6. Multiagentní systémy pro plánování dopravy

Multiagentní systém využívá systému agentů, kdy každý agent zastává pouze svou roli, a zároveň interaguje se všemi ostatními. Vnikají proto řetězce událostí, které mohou nastat nebo díky vzájemné interakci naopak nastat nemohou. Těto vlastnosti se již hojně v dopravě využívá například pro přepravu nákladu a správné logistiky nákladních vozidel. Tento model však nebyl využit pro dopravní plánování veřejné hromadné dopravy, jelikož v současném stavu je veřejná hromadná doprava řešena pomocí pevně daných jízdních řádů a je neměnná. A právě dynamický režim dává nové možnosti obsluhy a také možnost využití multiagentních systémů.

Předchozí kapitoly a jejich popis jsou velmi stručným popisem potřeb, které jsou potřeba zajistit, aby byl tento model plánování uskutečnitelný. Multiagentní systémy jsou výsledkem těchto jednotlivých potřeb.

Multiagentní systém je nutné aplikovat do oblasti s dynamickou obsluhou. Fungování takové obsluhy je založeno na požadavcích cestujících o přepravu. Díky požadavkům jsou vytvořeny

vrcholy v dopravní síti a na základě požadavků jsou vytvořeny hrany spojující vrcholy. Tyto hrany jsou vytvářeny pouze na základě aktuálních požadavků a mohou být v čase měněny. V praxi to znamená proměnnou trsu spojů v dynamické oblasti. Na základě znalosti cíle a jednotlivých parametrů poptávky je multiagentní systém schopný naplánovat ideální trasu.

V předchozích kapitolách popisované parametry jsou reprezentované agenty, kteří spolu vzájemně interagují. Agenti poptávky a infrastruktury po vzájemné interakci vyhodnotí, že požadavek na kloubové vozidlo do této dané oblasti není možné vypravit, jelikož nesplňuje šířkové poměry komunikace. Díky těmto konfliktům algoritmus určí optimální trasování linky.

Podstatnou skutečností je i proměnná trasa v průběhu času. Pokud je již vytvořena optimální trasa a zároveň je vznesen další požadavek na přepravu, stává se předchozí nastavená trasa dalším parametrem a jsou posuzovány další možnosti, jak optimálně naplánovat trasu. Výsledkem musí být stav, který respektuje základní stanovená pravidla přepravy. Není proto možné, aby vlivem trasy v průběhu vytvořeného spojení došlo k prodloužení jízdní doby tak, že nebude možné přestoupit na návazný spoj. Tím se systém stává nepoužitelným. Proměnná trasa může být také způsobena aktuální dopravní situací nebo přeplněností návazného spoje. Díky tomu je informace o aktuálním stavu dopravy nebo obsazenosti vozidel jako plnohodnotný parametr, respektive agent, který ovlivňuje vytvoření optimálního řešení obsluhy.

Celková myšlenka je nalézt takové řešení na základě vstupních parametrů, aby vyhovovalo objednateli veřejné dopravy. Vzhledem k požadavkům je možné docílit stavu, kdy výsledkem bude zavolání taxislužby nebo doporučení individuální automobilové dopravy. Vzhledem k možnosti využití jiných druhů dopravy k těmto návrhům řešení nemusí vůbec docházet. Využití jízdních kol je v mnoha případech i výrazně rychlejší řešení přepravy a cestující to ocení. Navrženým řešením může být carsharing, který řidiči určí ještě zastavení v místech, kde nastoupí další cestující a společně dojedou do místa přestupu na návazné spojení.

Pro samotné programování multiagentních systémů je nutné vycházet z přesně definovaných pravidel a parametrů, které mohou výpočty ovlivnit. V tuto chvíli je modelování multiagentních systémů cílem disertační práce autora příspěvku a celkové výsledky modelů a konkrétních agentů budou popsány v dalších publikacích, respektive v disertační práci autora příspěvku.

7. Závěr

Tento příspěvek popisuje obsluhu území za pomoci veřejné hromadné dopravy. Vzhledem k náročnosti obsluhy některých oblastí s roztroušenými obcemi je představen pojem dynamická obsluha, jeho vysvětlení a začlenění do problematiky veřejné hromadné dopravy. Díky zavedení způsobu obsluhy dynamickým způsobem se otevírají další možnosti obsluhy, a to pomocí dalších druhů dopravy, a hlavně trasováním linek veřejné hromadné dopravy na základě aktuálních požadavků cestujících. Právě tento způsob je řešen multiagentními systémy, které díky jednotlivým agentům a jejich konfliktům mezi sebou, dokáží určit optimální trasu spojení.

Celým tímto modelem je možné vyřešit otázku obsluhy oblastí, kterou je za současných podmínek obtížné obsloužit. Celkový koncept zapadá do myšlenky Smart City, jelikož je potřeba vzájemné interakce oddělených systémů, využití sdílených dat a všechny vstupy promítnout v jeden ucelený výsledek. Výsledek, který může pomoci cestujícím s dopravou, ale také vyřešit pohyby obyvatelstva v regionu.

Literatura

- [1] Příbyl O., Svítek M.: /System-oriented Approach to Smart Cities/, In: Proceedings of the First IEEE International Smart Cities Conference. New York: IEEE Systems, Man, and Cybernetics Society, 2015, ISBN 978-1-4673-6551-2.
- [2] Horažďovský, P. - Svítek, M.: Dynamic Service of Public Transport in Smart City and Region. In: RŮŽIČKA, J., ed. 2017 Smart Cities Symposium Prague (SCSP) - IEEE PROCEEDINGS. 2017 Smart Cities Symposium Prague (SCSP). Prague, 25.05.2017 - 26.05.2017. New York: IEEE Press. 2017, ISBN 978-1-5386-3825-5. Available in: <http://akce.fd.cvut.cz/en/scsp2017>
- [3] Horažďovský, P. - Svítek, M., - Novotný, V. Data-driven management of dynamic public transport. In: RŮŽIČKA, J., ed. 2018 Smart City Symposium Prague. 2018 Smart Cities Symposium Prague (SCSP). Prague, 24.05.2018 - 25.05.2018. New York: IEEE Press. 2018, s. 1-5. ISBN 978-1-5386-5017-2. Dostupné z: <http://akce.fd.cvut.cz/en/scsp2018>
- [4] Blümelová, J. - Růžička, J. - Boyarkin, I., - Derbek, P.: Travel Time Estimation for Variable Message Signs Based on Floating Car Data. In: PEFnet 2015 Abstracts. PEFnet 2015. Brno, 19.11.2015. Brno: Mendelova univerzita v Brně. 2015, s. 15. European scientific conference of doctoral students. ISBN 978-80-7509-362-2.
- [5] *Automatische Fahrgastzählsysteme (AFZS), VDV-Schrift 457-2.1.* Köln: Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e. V., 2018.

Railway Passenger Transport Opportunities in the Banska Bystrica Region

Martin Vojtekⁱ, Michal Petr Hranickýⁱⁱ, Anna Dolinayováⁱⁱⁱ, Igor Dömény^{iv}

Abstract: Liberalized transport market, where the transport demand meets transport offer, is evolving dynamically. Due to market liberalization, transport companies tend to attach more importance to economic aspects. The paper is focused on statistical analysis of transport indicators in the Banska Bystrica region in comparison with the economic level of the region. The analysis is a background for the proposal of new long-haul passenger train route in the region. Technological part of the proposal consists of timetable, vehicles circulation and run of the train requisites while economic part consists of cost calculation and operating-economic evaluation. Operation of long-haul passenger trains on new route should improve transport accessibility in the region.

Keywords: railway transport, passenger transportation, transport economics, train operation

1. Theoretical background

In order to analyse the transport potential of the region while considering economic indicators we used a methods of time series and regression analysis. The time series of the variable Y is a chronological sequence of the spatial, fact and time-comparable values y_t for $t = 1, 2, \dots, T$. [1] So-called simple characteristics of time series are used to compare the development from past to presence. For our purposes we use:

- The growth coefficient (chain index) k_t – it expresses how many times the value of y_t has increased or decreased compared with its value in the previous period y_{t-1} . [2]

$$k_t = \frac{y_t}{y_{t-1}} \text{ for } t = 2, 3, \dots, T \quad (1)$$

- The base index B_t – represents the relative change of the y_t value in time compared with its value y_0 in the base period, which is considered as the basis of the comparison. [2]

$$B_t = \frac{y_t}{y_0} \text{ for } t = 1, 2, \dots, T \quad (2)$$

- The average growth coefficient (or average annual growth), calculated as the geometric mean of the selected growth coefficients k_t . [2]

$$\bar{k}_t = \sqrt[T-1]{k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_T} \quad (3)$$

The regression analysis is a summary of statistical methods and processes used to study the relationships between two or more variables, the purpose of which is, in particular, to estimate

ⁱ Ing. Martin Vojtek, University of Zilina, e-mail: martin.vojtek@fpedas.uniza.sk

ⁱⁱ Ing. Michal Petr Hranický, University of Zilina, e-mail: michal.petr.hranicky@fpedas.uniza.sk

ⁱⁱⁱ doc. Ing. Anna Dolinayová, PhD., University of Zilina, e-mail: anna.dolinayova@fpedas.uniza.sk

^{iv} Bc. Igor Dömény, University of Zilina, e-mail: igordomeny@gmail.com

the values or mean values of the dependent variable. [2] The simple linear regression model we use has the following equation:

$$y_i = b_0 + b_1 x \quad (4)$$

where y is a dependent variable, x is an independent variable, b_0 and b_1 are parameters of the regression model. The least squares method is used to estimate the model parameters. The minimum of the given function of the two variables (b_0, b_1) is determined by the fact that its first partial derivations are set equal to zero. By adjusting we obtain a system of so-called normal equations. [3]

$$\sum_{i=1}^n y_i = nb_0 + b_1 \sum_{i=1}^n x \quad \sum_{i=1}^n y_i x = a_0 \sum_{i=1}^n x + b_1 \sum_{i=1}^n x^2 \quad (5)$$

By solving this equation system we get the model parameter values. [3]

1.1. Economic Aspects of Railway Passenger Transport

Technology for operation of long-haul passenger trains is created by the transport company and passengers usually do not know it. They know only the timetable, what represents transport offer – number of connections on the route. Temporal position of trains, which are listed in the timetable, must be attractive for passengers. Timetable is created separately for both directions of trains. It must include all trains, their departures, stations and stops names, trains numbers and distances. Transport time between each station and stop must be determined by technical specifications of selected vehicle and infrastructure. Number of vehicles, which are necessary for operation of all trains included in timetable, is defined in vehicles circulation. It is divided into operation days and there is showed the sequence of trains for each vehicle and the following day. All technological acts are considered. Thanks to vehicle circulation, all vehicles have got same or very similar number of driven kilometres. Other part is a run of the train requisites. Train requisites are subjects, which are necessary to be supplemented into the vehicle, to create an object, which can independent movement in the transport process. Train requisites are vehicle-drivers and train crew. Sequence of the train requisites is regularly repeated schedule of their working time. Sequence of the train requisites must respect higher legal standards, mostly Labour Code. Thanks to sequence of the train requisites, the exact number of staff – vehicle drivers and cabin crew members, is known. From economic point of view, there must be operating costs calculation. Costs are financial representation of company sources consumption for realizing services per time. Internal costs of the transport company arise from operation of trains on railways. Thanks to calculation, the exact amount of these costs is known. In railway passenger transport, the calculation unit is the service – transporting of passengers. It can be defined by quantity (number of trains, vehicles), time (staff working time, time of traveling) or other way (passenger-kilometres, train-kilometres). In the case study, there are these costs: vehicle costs (price for vehicle, repairs and maintenance, insurance, operational cleaning), railway infrastructure access, staff costs (wages of vehicle-drivers and stewards), traction energy consumption and other indirect costs (management, marketing, travel ticket selling system, information system etc.). Sum of all costs, which are converted to one typified train on the route, is the base for making the tariff charges. [4]

Railway vehicle costs are calculated this way:

$$r_{trkm}^{RV} = \frac{D_Y + \Sigma RM_Y + OC_Y + INS_Y}{\emptyset \text{ annual vehicle kilometrage}} \quad (6)$$

where:

r_{trkm}^{RV} – railway vehicle costs rate for train-kilometre [€/trkm]

D_Y – depreciation of vehicle per year [€]

ΣRM_Y – entire costs for repairs and maintenance of vehicle per year [€]

OC_Y – entire costs for operational cleaning of vehicle per year [€]

INS_Y – entire costs for vehicle insurance per year [€]

\emptyset annual vehicle kilometrage – average kilometrage of railway vehicle per year [km]

$$C_{RV} = \Sigma TP_{trkm} \cdot r_{trkm}^{RV} \cdot NRV_{tr} \quad (7)$$

where:

C_{RV} – entire railway vehicle costs per route [€]

ΣTP_{trkm} – transport performance (sum of train-kilometres per route)

r_{trkm}^{RV} – railway vehicle costs rate for train-kilometre [€/trkm]

NRV_{tr} – number of railway vehicles in the train on the route [vehicles]

Staff costs are calculated this way:

$$r_{emph}^S = \frac{\text{price for working+equipment}}{\Sigma \text{ work time}} \quad (8)$$

where:

r_{emph}^S – staff costs rate for employee-hour [€/emph]

price for working – all month company's costs for the employee [€]

equipment – month costs for equipment of employee [€]

Σ work time – entire month work time of employee [hours]

$$C_S = t_r \cdot CR_S \cdot r_{emph}^S \quad (9)$$

where:

C_S – staff costs per route [€]

t_r – train ride time [hours]

CR_S – conversion ratio: train ride time \rightarrow employee-hour

r_{emph}^S – staff costs rate for employee-hour [€/emph]

Traction energy consumption costs are calculated this way:

$$C_{TEC} = \frac{\Sigma gtkm \cdot mc_{TE} \cdot r_{TE}}{1000} \quad (10)$$

where:

C_{TEC} – entire traction energy consumption costs per route [€]

$\Sigma gtkm$ – gross-tons-kilometres per route

mc_{TE} – measurable consumption of traction energy per thousand gross-tons-kilometres

r_{TE} – traction energy rate [€]

From operating costs calculation, tariff rates can be appointed. The tariff reflects valuable relations among operator and passengers. These rates must include internal goals of the transport company (increasing profit, decreasing costs, market share etc.), social sphere (quality and offer of public transport, reducing regional gaps etc.) and environmental aspects. Current transport demand and complementary transport offer are also important part of setting tariff rates. Fare is based on costs and appropriate profit and it is also dependent on transport demand and competition. Operating costs and transport revenues are compared in the operating-economic evaluation. Revenues are result of multiplying number of passengers with tariff rates, separately for each segment on the whole route. Comparison of costs and revenues express the economic efficiency of the route – revenues must be higher than costs. If the revenues are not higher than costs, operation of long-haul passenger trains is not efficient from economical point of view and the transport company must find external financial sources or simply remake the route. [5]

2. Characteristics of the economic level in the Banská Bystrica region

In assessing the transport potential of the region, we used the assessment of the development of time series of pre-selected socio-economic indicators that could influence the development of rail transport in the region over the period 2011-2016. The following indicators were chosen as decisive: regional gross domestic product at current prices, the average number of employed people as an indicator of employment in the region, average monthly wage, the number of cars as an indicator expressing the level of individual motoring, the level of industry in the region, expressed by the number of industrial enterprises and their cumulative revenues. On the basis of a comparison with other regions of Slovakia, we can assume that the Banská Bystrica region is characterized by the lowest employment rate as well as the lowest regional gross domestic product. It means that it is one of the economically weakest regions. As can be seen from Figure 1, regional GDP growth has consistently shown a positive trend with an average annual growth of 3%. For the period from 2011, the overall increase of this indicator was 17.3%. Compared with the economically strongest region, GDP was three times lower in 2016 and 29.8% lower than the average for all regions of Slovakia.

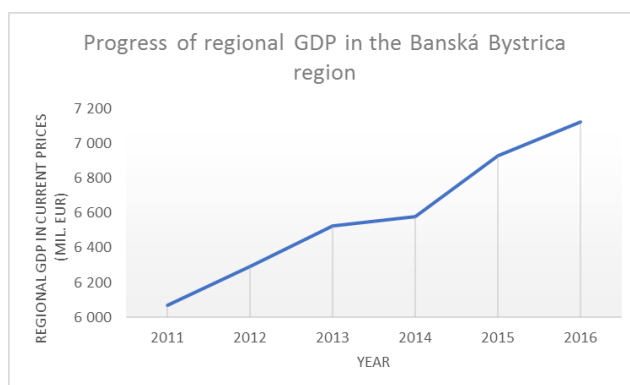


Fig. 1 Progress of regional GDP in the Banská Bystrica region (source: authors)

The employment level in the region firstly decreased sharply and subsequently started to show a positive trend. The positive side is that there is no long-term decline in employment in the region, although its rate in 2016 was lower by 22,48% compared to the average for all regions. The rate of individual motorism in the region is steadily rising. In 2016 the number of passenger

cars was almost 17% higher than in 2011, which is, of course, an unfavorable progress. However, unlike the previous indicators, in this case the development trend is comparable to other regions of Slovakia. The level of industry in the region is slightly below the average in terms of the number of industrial enterprises and their revenues. However, the development of enterprise values showed a predominantly positive trend. [6]

Table 1 shows the indices of changes in individual indicators in the Banska Bystrica region.

Tab. 1 Indices of indicators change in the Banská Bystrica region (source: authors)

	Regional GDP	Number of employees	Average monthly wage	Number of cars	Number of industrial enterprises	Returns of industrial enterprises
priem. K _t	1,03	1,00	1,03	1,03	1,02	1,03
2012/2011	1,04	0,95	1,04	1,04	0,98	1,07
2013/2012	1,04	1,02	0,99	1,02	1,02	0,94
2014/2013	1,01	1,01	1,07	1,03	1,02	1,21
2015/2014	1,05	1,03	1,03	1,04	1,03	1,03
2016/2015	1,03	1,00	1,04	1,04	1,07	0,92
2016/2011	1,17	1,01	1,19	1,17	1,13	1,15

Table reflects their year-on-year growth rate as well as the average growth coefficient for the whole period. All socio-economic indicators showed positive growth over the period.

2.1. Analysis of the performance development on the line “Jesenské-Brezno” in terms of its dependence on the region's indicators

Based on passenger transport performance for 2011-2016 in train kilometres on the line “Jesenské-Brezno” (provided by the manager of the railway infrastructure manager ŽSR) we can assume that it keeps a predominantly rising trend over the given period. To elaborate performance analysis from region level, we chose economic indicator regional GDP. The linear dependency model was created using the MS Excel and Matlab software. Calculation of model parameters and their testing and the graphical representation is shown below.

SUMMARY OUTPUT					
Regression Statistics					
Multiple R	0,900837				
R Square	0,811507				
Adjusted R Square	0,764383				
Standard Error	10196,87				
Observations	6				
ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	1	1,79E+09	1,79E+09	17,22092	0,014262483
Residual	4	4,16E+08	1,04E+08		
Total	5	2,21E+09			
Coefficients					
	Coefficient	Standard Error	t Stat	P-value	
Intercept	68367,68	77298,92	0,884459	0,42641	
x	48,63216	11,71913	4,14981	0,014262	

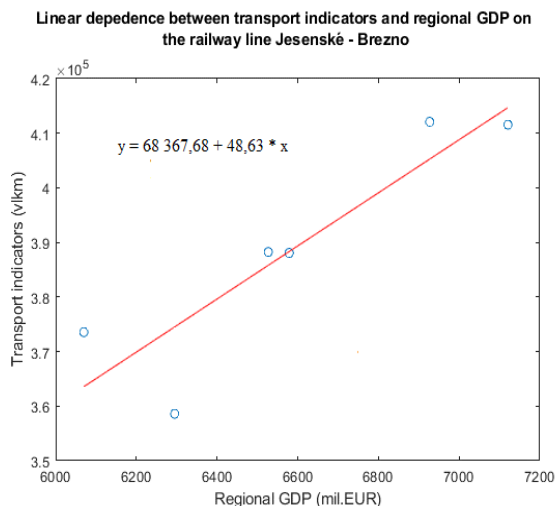


Fig. 2 Calculation and graphical representation of the regression model parameters (source: authors)

R square model is 81.15%, and after testing by Fisher's statistical test, the statistical significance of this model was confirmed. We can therefore confirm the hypothesis that the development of performance on this line is linearly dependent on regional GDP. Even on the basis of the point forecast, it can be assumed that the region will create the right conditions for further growth of performance and the development of rail passenger transport in the future, whilst its potential is currently not fully exploited.

3. Case study

The case study is applied on the proposed circular route Zvolen – Lučenec – Rimavská Sobota – Brezno – Banská Bystrica – Zvolen, situated in the Banska Bystrica region. Operation of long-haul passenger trains on this route is ensured by unspecified vehicle with average technical parameters, similar to real vehicles, which operate on the railway infrastructure. Travel time respects all technical parameters of the vehicle as well as track. Nowadays, operation of long-haul passenger trains in the Banska Bystrica region consists of variety of different routes with various numbers and intervals of trains. These train routes cross borders of the region itself. In the figure 3, there are marked up contemporary routes of long-haul passenger trains in the Banska Bystrica region; in the second part of the figure, there are marked up numbers of long-haul train pairs according to each railway line part.



Fig.3 Contemporary routes and number of long-haul passenger trains in the Banska Bystrica region (source: authors)

For improvement of the transport accessibility in the Banska Bystrica region, new long-distance passenger train routes should be established. New routes could be complement to contemporary routes on various transport connections however they should also offer new fast and direct connections for passengers.



Fig. 4 New long-haul passenger train route in the Banska Bystrica region (source: authors)

Considering specificity of railway infrastructure in the Banska Bystrica region, there is an option for design of circular railway route. It means that train, which departed from Zvolen, went through Lucenec and arrived to Rimavska Sobota, could continue to Brezno, Banska Bystrica and back to Zvolen without a necessity of changing the ride direction. First part of route technology is the timetable proposal. To concise the paper, timetables are not shown separately, but all departures and arrivals of trains are shown in the train circulation. Time position of each train is set according to actual trains. Main function of new trains is to reduce the time gap between long-haul trains from current 4 hours to 2 hours on the section Zvolen – Rimavska Sobota. On the section Zvolen – Banska Bystrica, there are more trains mostly for commuting, because there live lot of people in these towns. Section Banska Bystrica – Brezno – Rimavska Sobota is a little bit different, because there is a great potential for tourism. All new long-haul trains are planned with big emphasis to actual trains so there are not any collisions and time position of actual long-haul trains have to be changed.

Next step is vehicles circulation. It shows the exact number of vehicles, which are necessary to realize the timetable. There are two vehicles, which are necessary for operation of all trains on the circular route from Zvolen to Rimavska Sobota.

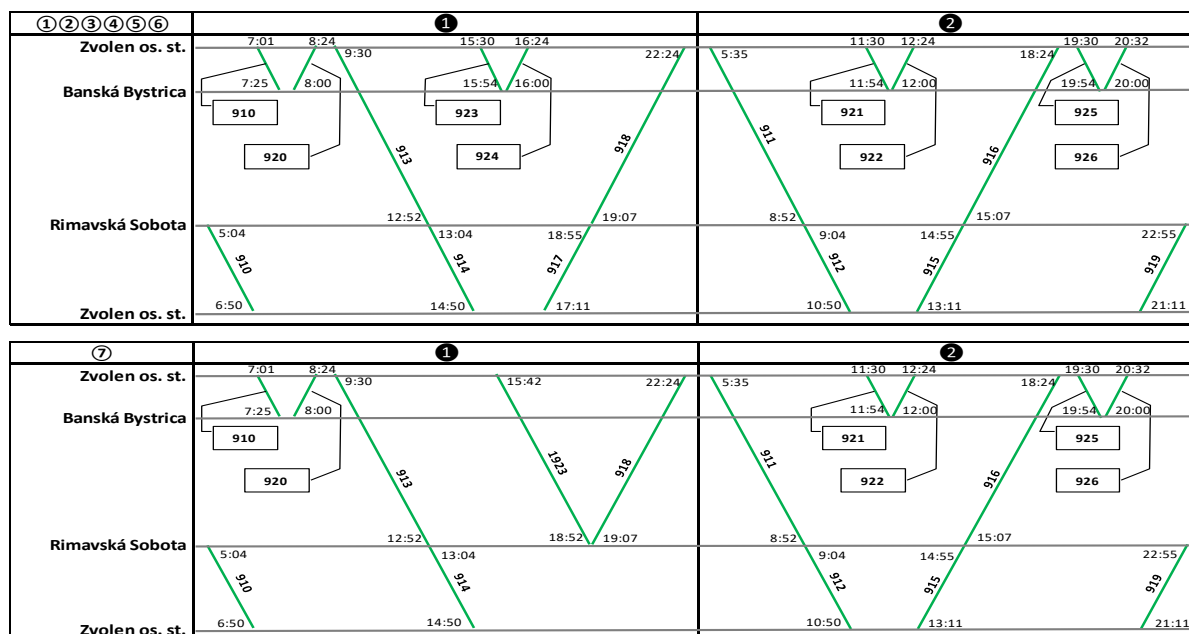


Fig. 5 Vehicles circulation on the circular route Zvolen – Rimavska Sobota (source: authors)

Vehicle circulation is the base for determine driven kilometres of vehicles. It also influences operating costs calculation, because all vehicle costs are divided with average kilometres. Other important part is the run of the train requisites. Train requisites in passenger railway transport are vehicle-drivers and train crew – the necessary personnel of each train. There are one vehicle-driver and two members of train crew in each train. Their starting and termination point is Zvolen os. st. Economical part of the design consists of operating costs calculation. There are many enumerations, because all costs must be identified and quantified. Railway vehicle costs rate is quantified by formula (6).

Tab. 2 Railway vehicle cost rate on the circular route Zvolen – Rimavska Sobota (source: authors)

RAILWAY VEHICLE COST RATE	
Price (€)	5000000
Years of using	30
Repairs and maintenance (€/year)	55000
Operational cleaning (€/year)	13000
Insurance (€/year)	26000
Annual vehicle kilometrage	247468
Resultant rate	1,05

Staff costs are calculated separately for vehicle-drivers and train crew. Firstly, the cost rate must be calculated. Key part is price for working – all costs of the transport company for one employee. All staff costs rate is quantified by formula (8). Train crew are less qualified than vehicle-drivers, therefore price for working is lower. Equipment costs are higher, because stewards are communicating with passengers, therefore they must have always clean and modern uniform for good propagation of the transport company. Basic precondition for the operating costs calculation is determination and summarization of all necessary inputs and other transport indicators, which are important parts for the calculation. When all inputs and transport indicators are known, the operating costs can be calculated. Costs per typified train are quantified by formulas (7), (9) and (10). Costs for infrastructure and indirect costs are quantified separately, according to methods hereinbefore. Revenues are calculated by multiplying of transport flows and tariff rates on each transport relations. Transport flows are determined by

passenger counting in trains. Final and the most important part is the operating-economic evaluation, where revenues are compared with operating costs. Economic efficiency of the route is the result of this comparison and the operation of trains on the route is efficient in the case, when the result is higher than zero – revenues cover all costs. Operating-economic evaluation of the long-haul train route in the case study above shows the efficiency of the route. When revenues per train are higher than costs per train, the transport company can operate trains on the route according to submitted technology and external sources are not necessary. By comparing revenues and costs, it is possible to determine the economic efficiency of the train operation. Proposed circular route, which is showed in the case study, could be efficient from economic point of view, if the transport company can find some external sources for operation of trains, because revenues from transportation cannot cover all operating costs. On the other hand, this route would significantly improve transport accessibility of the Banska Bystrica region, especially bigger towns there. These trains could be also used for tourism.

4. Conclusion

If we want to improve transport accessibility in some region, we have to precisely analyse the region from economical point of view. From the analysis of the region, we can make some transport predictions. Firstly, potential passenger analysis shows the relevance of new train route. Secondly, technology part includes all necessary technical and technological aspects, such as timetable of trains, vehicle circulation and sequence of the train requisites. Operating costs calculation is very important part in the operating-economical evaluation, where all costs are compared with all revenues. This comparison is the key factor, because it shows economic efficiency of the new route. In the application of the methodology, new circular route Zvolen – Rimavská Sobota is not effective from economical point of view, because revenues are not higher than costs. The transport company should find other sources to cover all costs, than the operation of trains would begin.

Acknowledgments

The paper was supported by the VEGA Agency, Grant No. 1/0019/17 "Evaluation of regional rail transport in the context of regional economic potential with a view to effective use of public resources and social costs of transport", at Faculty of Operations and Economics of Transport and Communication, University of Žilina, Slovakia.

References

- [1] Rublíková, E. 2007, *Analýza časových radov*, ISBN 978-80-8078-139-2
- [2] Pacáková, V. et al., 2003, *Štatistika pre ekonómov*, ISBN 80-89047-74-2
- [3] Hindls, R., Hronova, S., Seger, J., 2003, *Statistika pro ekonomy*, ISBN 80-86419-34-7
- [4] Panak, M., Nedeliakova, E., Abramovic, B., *Synergies of Liberalization of the Railway Transport Market*, 18TH INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE LOGI 2017, Location: Ceske Budejovice, CZECH REPUBLIC Date: OCT 19, 2017 Sponsor(s): Inst Technol & Business Ceske, Dept Transport & Logist; Univ Pardubice, Jan Perner Transport Fac; Coll Logist Prerov, Book Series: MATEC Web of Conferences matecconf 201713400045

- [5] Stefancova, V., Nedeliakova, E., Lopez-Escolano, C., Connection of dynamic quality modelling and Total Service management in railway transport operation, 12TH INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE OF YOUNG SCIENTISTS ON SUSTAINABLE MODERN AND SAFE TRANSPORT, Location: High Tatras, Slovakia, Date: May 31 – Jun 02, 2017, Sponsor: University of Zilina, Book Series: Procedia Engineering, Volume: 192, Pages: 834-839, Published: 2017
- [6] Skrucany, T., Kendra, M., Skorupa, M. Comparison of chosen environmental aspects in individual road transport and railway passenger transport 12TH INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE OF YOUNG SCIENTISTS ON SUSTAINABLE MODERN AND SAFE TRANSPORT, Location: High Tatras, Slovakia, Date: May 31 – Jun 02, 2017, Sponsor: University of Zilina, Book Series: Procedia Engineering, Volume: 192, Pages: 806-811, Published. 2017

Advisory Procedures Testing

Michaela Šerlováⁱ, Lenka Hanákováⁱⁱ, Vladimír Sochaⁱⁱⁱ, Jakub Kraus^{iv}, Jakub Hospodka^v,
Sarah Van den Bergh^{vi}, Roman Matyáš^{vii}

Abstrakt: *Poradenské postupy jsou myšleny jako jednoduché operační postupy založené na používání GNSS při VFR letu, aniž by došlo k narušení bezpečnosti letu. Pro prokázání, že procedurální kroky nebo předem stanovené manévry jsou přínosné pro piloty, bylo provedeno několik měření. Byly pozorovány fyziologické parametry pro získání kvantitativních hodnot úrovně psychické kondice u testovaných subjektů během VFR letu na simulátoru s použitím GNSS a bez něj, z důvodů zjištění, zda správné využití GNSS snižuje pracovní zatížení pilotů. Studie se zúčastnilo 9 studentů Ústavu letecké dopravy, ČVUT v Praze, Fakulty dopravní. Naměřená data byla shromážděna ve formě bio signálů za použití systému VLV-LAB. Pro účely vyhodnocení psychofyziologického stavu pilotů byla hlavním indikátorem variabilita srdeční frekvence (HRV), respektive velikost R-R intervalů. Naměřená data byla hodnocena standardními metodami v časové oblasti. U všech měřených subjektů došlo k poklesu (meanHR), respektive ke zvýšení (meanRR), daných parametrů při měření pomocí použití GPS v porovnání s měřeními bez využití GPS. Toto bylo pozorováno u všech prezentovaných subjektů, takže se předpokládá snížení mentální zátěže pilota během přechodu mezi lety bez a s navigačním systémem GNSS. To potvrzuje, že poradenské postupy jsou vhodné pro použití při VFR letu.*

Klíčová slova: *poradní postupy, GNSS, srdeční frekvence*

Abstract: *Advisory procedures are meant to be simple operation procedures based on the use of GNSS when flying under VFR, without degrading flight safety. To prove that procedural steps or predetermined manoeuvres are beneficial for pilots, it's done underwent a series of testing. It was used observation of physiology parameters to obtain quantitative values of the level of psychical condition on testing subjects during VFR flight on simulator with and without GNSS in use, to determine if proper usage of GNSS decreases workload of pilots. The study was attended by 9 students of the Department of Air Transport, CTU in Prague, Faculty of Transportation Sciences. The measured data was collected in the form of bio signals using the VLV-LAB system. For the purposes of evaluating the psychophysiological status of the pilots, a heart rate record was chosen as the main indicator – heart rate variability (HRV), i.e. duration of each R-R interval. Measured data was evaluated by standard methods in the time domain. All measured subjects had a decrease (meanHR), respectively increase (meanRR) of given parameters in with-GPS measurements compared to without-GPS measurements.*

ⁱ Ing. Michaela Šerlová, Department of Air Transport Faculty of Transportation Sciences, Czech Technical University in Prague, Horská 3, 128 03, Prague 2; serlomic@fd.cvut.cz

ⁱⁱ Ing. Lenka Hanáková, Department of Air Transport Faculty of Transportation Sciences, Czech Technical University in Prague, Horská 3, 128 03, Prague 2; hanakle1@fd.cvut.cz

ⁱⁱⁱ Ing. Bc. Vladimír Socha, Ph.D., Department of Air Transport Faculty of Transportation Sciences, Czech Technical University in Prague, Horská 3, 128 03, Prague 2; sochavla@fd.cvut.cz

^{iv} Doc. Ing. Jakub Kraus, Ph.D., Department of Air Transport Faculty of Transportation Sciences, Czech Technical University in Prague, Horská 3, 128 03, Prague 2; krausjak@fd.cvut.cz

^v Doc. Ing. Jakub Hospodka, Ph.D., Department of Air Transport Faculty of Transportation Sciences, Czech Technical University in Prague, Horská 3, 128 03, Prague 2; hospojak@fd.cvut.cz

^{vi} Ing. Sarah Van den Bergh, Department of Air Transport Faculty of Transportation Sciences, Czech Technical University in Prague, Horská 3, 128 03, Prague 2; vandesar@fd.cvut.cz

^{vii} Ing. Roman Matyáš, Department of Air Transport Faculty of Transportation Sciences, Czech Technical University in Prague, Horská 3, 128 03, Prague 2; matyarom@fd.cvut.cz

This was observed in all the subjects presented, so it is reasonable to assume a reduction of the mental load during the transition between flight without and with GNSS navigation system. This confirms that advisory procedures are suitable for use in VFR flight.

Keywords: advisory procedures, GNSS, heart rate

1. Introduction

The main aim of this paper is to affirm that using simple operation procedures, i.e. Advisory Procedures, based on the use of Global Navigation Satellite System (GNSS) improves and simplifies the flying under Visual Flight Rules (VFR). The term “Advisory Procedures” is currently not used in Aviation, although the terms ‘advisory airspace’ and ‘advisory route’ are standardised by ICAO [1].

Advisory Procedures are a procedural steps or predetermined manoeuvres which helped pilot to keep safety during the flight. For a good and safe flight, it's important for the pilot to have a good perception of surrounding area. In-flight pilots perform countless spatial estimates such as correcting flight height above ground, aircraft on landing or avoiding obstacles. They use visual information for these tasks, but sometimes this information may be distortive and misleading the pilot [2]. It is therefore necessary for VFR pilots to assess their position not only on the basis of visual information but also on the basis of information in the map, ideally in an electronic map with a speaking guide.

Like GNSS system we chose a The Global Positioning System (GPS) for its availability and accuracy. GPS is a satellite-based radionavigation system which provides geolocation and time information to GPS receiver on the Earth and not far from it [3]. Thanks to this, the pilot gets his positioning information without searching information in paper maps so pilot can focus on flight. But the quality of GPS receivers is important. Depending on the age and the quality of the device, older devices (such as 3-4 years) are not so precise and sensitive due to their construction, and to their failure in the field is enough to cover the sky, where modern devices would not be a problem [3].

To prove that our procedures with GNSS device are beneficial for pilots, we underwent a series of testing. We used observation of physiology parameters to obtain quantitative values of the level of psychophysiological condition on testing subjects during VFR flight on simulator with and without GNSS in use, to determine if proper usage of GNSS lowering their workload and improving their psychophysiological condition.

We measured a heart rate, because it is a main indicator of Heart Rate Variability (HRV), i.e. duration of each R-R interval in measured signal. Heart rate is the magnitude that describes the activity of the human heart and its psychophysiological condition influenced by the sympathetic Autonomic Nervous System (ANS) equilibrium. Thus, it indirectly reflects the functioning of the ANS, whose function is influenced by surrounding stimuli. Some of them can cause the body to load. Stress therefore represents a state of mental or physiological stress on an individual due to adverse stimuli. So the ANS sympathetic or parasympathetic component is activated to regulate heart rate. The sympathetic nervous system increases the cardiac action,

i.e. the RR interval is shortened, and the parasympathetic through the nervus vagus reduces it, i.e. the RR interval is prolonged [4].

2. Materials and Methods

Proposed advisory procedures were tested in created exercises on a generic twin-engine propeller simulator at the Department of Air Transport, Czech technical University.

2.1. Participants

The study was attended by 9 students of the Department of Air Transport (DAT), Czech Technical University in Prague, Faculty of Transportation Sciences. Measured entities were selected (1 female, 8 males, age 21.56 years with standard deviation (SD) 0.68 years) from the students of the professional pilot field so that within the group they have similar flight experience (136.00 flight hours with SD 29.26 hours). The subjects were informed about the measurements and agreed with the exercise.

2.2. Flight Exercise

The exercise created was a general VFR flight from Roudnice airport (LKRO) to Příbram airport (LKPM) with specific instructions ordered during the flight. Design of the flight was to bring pilot to situations where for VFR pilot the workload is very high. The high workload was achieved both by difficult airspace and simulated non-standard situations. The flight was also designed to allow usage of some advisory procedures to be able to test them. Whole course of exercise shown in Fig. 1. and described below.

- 1) First instruction was to take-off from the RWY 13R and flight direct to the Vodochody airport (LKVO) at altitude 3000 ft Above Mean Sea Level (AMSL), where the flight is cleared direct to LKPM through CTR Praha.
- 2) When the pilot reported Vodochody airport position, next instruction is: “CTR Praha is closed. Turn left to MIKE. Report MIKE position”
- 3) When the pilot reported MIKE position, next instruction was: “Direct to ROMEO, Cleared through CTR Kbely”
- 4) When the pilot reported ROMEO position, next instruction was: “Fuel issues, land at nearest airport”
- 5) The pilot should find nearest airport Točná (LKTC), and land there.

This flight was flown twice by every participant. The first flight was without GNSS use and the second one was with GNSS use. Before the second flight, every participant was trained in GNSS device control and functions. The simulated GNSS avionics have loaded VFR map of the Czech Republic with memorized VFR fixes.

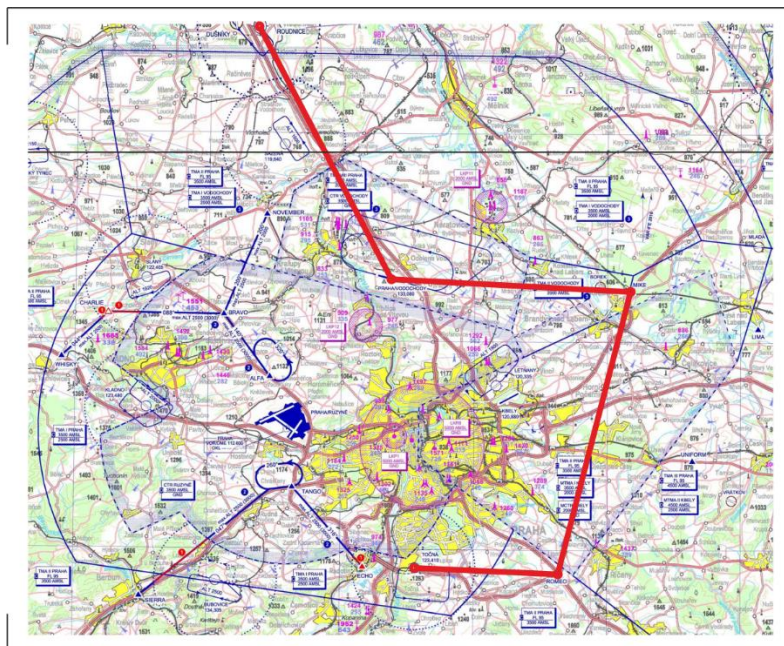


Fig. 1 Map of the exercise

2.3. Data Acquisition and Evaluation

The measured data was collected in the form of bio signals using the VLV-LAB [5] system (from Joint Research Centre of the Czech Technical University and the Charles University in Prague – Albertov), see Fig. 2. The disposable surface electrodes were used for the measurement. Data was sampled at 100 Hz. Simultaneously with the physiological parameters, the course of the flight was also monitored. During the flight, pilots followed the instructions of the instructor. The measurements were carried out in the form of simulated flights in the premises of the DAT.



Fig. 2 Biotelemetric VLV-LAB system with disposable surface electrodes

For the purposes of evaluating the psychophysiological status of the pilots, a heart rate record was chosen as the main indicator – heart rate variability (HRV) [6,7] – i.e. duration of each R-R interval. The obtained R-R intervals were subsequently evaluated by time analysis based on which we were able to identify increase/decrease of mental load [6,8]. By using the mathematical apparatus, standard parameters were obtained, e.g. average heart rate (mean HR) and its standard deviation (stdHR).

From the measured heart rate data (Electrocardiograph (ECG) records), the R-R intervals for the individual measurements were first extracted using the Pan-Tomkinson method. Subsequently, standard parameters were calculated in the time domain. The following parameters were selected from the time domain: mean R-R interval (meanRR (milliseconds (ms))), standard deviation of R-R interval (SDNN (ms)), mean heart rate (meanHR (beats per minute (bpm))), SD of heart rate (stdHR (bpm)) [8]. The parameters selected are the parameters used to assess the mental load, especially because the heart rhythm is modulated by an autonomic nervous system whose activity is, among other things, affected by mental stress. The data was processed and evaluated using own software tool in the Matlab programming environment (MATLAB R2013a, MathWorks).

3. Results

Measured data was evaluated by standard methods in the time domain. Two subjects (S03 – female, 22 years, 120 hours, S04 – male, 21 years, 200 hours) who were unable to complete the first measurement (without GPS) due to a complete loss of orientation during the flight were excluded from the evaluation. The remaining subjects were included in the presentation of the results, see Fig. 3.

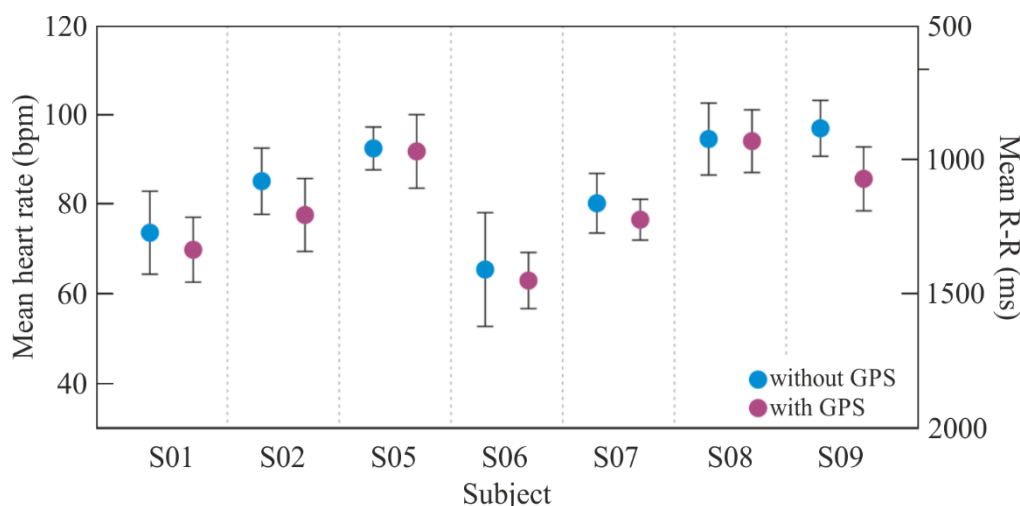


Fig. 3 Mean heart rate (bpm) and mean R-R interval (ms) and their standard deviations (stdHR, SDNN) for all subjects during both measurements

From the results presented in Fig. 3, it is clear that all measured subjects had a decrease (meanHR), respectively increase (meanRR) of given parameters in with-GPS measurements compared to without-GPS measurements.

Furthermore, on the basis of the Wilcoxon test (see Tab. 1), the difference between the measurements (without-GPS and with-GPS) was statistically significant at a significance level of 0.05 in almost all subjects.

Tab. 1 Wilcoxon test results of comparing the statistical similarity of two measurements (without-GPS, with-GPS) on a significance level of 0.05

Subject	S01	S02	S05	S06	S07	S08	S09
<i>p-value</i>	2,32E-41	2,93E-196	3,48E-10	9,85E-09	6,34E-149	0,77	3,47E-10

4. Discussion

The reduction of the heart rate of the subjects between the individual measurements, respectively increase in the length of each R-R interval indicates a decrease in the mental load between the measurements. This was observed in all the subjects presented, so it is reasonable to assume a reduction of the mental load during the transition between flight without and with GNSS navigation system. Based on the Wilcoxon test, it can be stated that these changes were statistically significant in most subjects at a significance level of 0.05. Based on the decrease of meanHR, respectively increase of the meanRR parameter, it is possible to estimate the reduced difficulty of the second measured flight, i.e. flight with GNSS, compared to the first measured flight (flight without GNSS). The increased difficulty of the first measurement is also pointed out by two excluded subjects who were unable to finish the first measured flight due to the loss of orientation. The second flight of those subjects was then carried out without any difficulty.

The limitation of the testing is the low number of subjects surveyed, but the study itself may serve as a basis for follow-up research into the challenges of flight tasks.

5. Conclusion

This deliverable's aim was to propose advisory procedures for VFR flying based on the GNSS use. These procedures were thoroughly described in this document and their suitability was tested with verifiable results.

The advisory procedures have to be understood as tools for safety increase for VFR flying. This was confirmed by testing on the simulator, which aim was to verify the suitability of the use of the GNSS system during the VFR flight.

As a result of the advisory procedures test, there was a decrease in heart rate, respectively increase in length of R-R intervals between without GNSS and with GNSS flight in all subjects. These parameters are the most important parameters for pilots' psychophysiological assessment [8]. The results further show that the difference between individual data sets, i.e. between two measurements, was statistically significant for most subjects. Based on the results, it can be assumed that the GNSS flight was less stressful for pilots. This confirms that advisory procedures are suitable for use.

Proposed advisory procedures are the first step in widening the GNSS use into VFR flying. Based on the outputs of this deliverable, advisory procedures should be taken into consideration by EASA, and, after EASA's detailed analysis, introduction of advisory procedures should be made across European Union (EU).

Acknowledgement

This work was also supported by the Czech Technical University in Prague, junior research grant number No. SGS17/150/OHK2/2T/16 „Evaluation of psychophysiological state of pilots based on physiological parameters“.

References

- [1] ICAO. Annex 11: Air Traffic Services. In: International Standards and Recommended Practices. International Civil Aviation Organization, 2001, Page 1-1.
- [2] ŠIKL, Radovan. Zrakové vnímání. Praha: Grada, 2012. Psyché (Grada). ISBN 978-80-247-3029-5.
- [3] Committee on the Future of the Global Positioning System. The global positioning system: a shared national asset: recommendations for technical improvements and enhancements. Washington, D.C.: National Academy Press, 1995. ISBN 03-090-5283-1.
- [4] SHAFFER, Fred a J. P. GINSBERG. An Overview of Heart Rate Variability Metrics and Norms. *Frontiers in Public Health*. 2017. DOI: 10.3389/fpubh.2017.00258. ISSN 2296-2565.
- [5] KLIMENT, Radim, Pavel SMRČKA, Karel HÁNA, Jakub SCHLENKER, Vladimír SOCHA, Luboš SOCHA a Patrik KUTÍLEK. Wearable Modular Telemetry System for the Integrated Rescue System Operational Use. *Journal of Sensors* [online]. 2017, 2017, 1-12. DOI: 10.1155/2017/9034253. ISSN 1687-725X.
- [6] CHUDUC, Hoang, Kien NGUYENPHAN a Dung NGUYENVIET. A Review of Heart Rate Variability and its Applications. *APCBEE Procedia* [online]. 2013, 7, 80-85. DOI: 10.1016/j.apcbee.2013.08.016. ISSN 22126708.
- [7] BILLMAN, George E., Heikki V. HUIKURI, Jerzy SACHA a Karin TRIMMEL. An introduction to heart rate variability: methodological considerations and clinical applications. *Frontiers in Physiology* [online]. 2015, 6. DOI: 10.3389/fphys.2015.00055. ISSN 1664-042X.
- [8] HANAKOVA, Lenka, Vladimír SOCHA, Lubos SOCHA, et al. Determining importance of physiological parameters and methods of their evaluation for classification of pilots psychophysiological condition. In: 2017 International Conference on Military Technologies (ICMT) [online]. IEEE, 2017, 2017, s. 500-506. DOI: 10.1109/MILTECHS.2017.7988810. ISBN 978-1-5090-5666-8.

Multikriteriální optimalizace řízení železničního provozu

Dušan Kamenickýⁱ

Abstrakt: Zvyšující se požadavky na kapacitu dopravní cesty vyžadují zavedení nových postupů a technologií v oblasti operativního řízení železničního provozu, aby mohla být efektivně využita stávající infrastruktura. Současným trendem v této oblasti je centralizace řízení provozu, která umožňuje dispečerovi získat lepší přehled o aktuální dopravní situaci. Další výzkum a vývoj je zaměřen na aplikace, které v případě mimořádnosti navrhnou optimální řešení dopravní situace. V tomto článku jsou diskutovány kritéria této optimalizace.

Klíčová slova: Optimalizace řízení železničního provozu

Abstract: Increasing demands to railway capacity require to apply new approaches like information technologies supporting railway traffic to use effectively given infrastructure. Modern trend is centralization of the operation control. It gives spread view of the situation and more information to the operator. Further research and development is aimed at finding the optimal traffic situation. Different objective functions are discussed.

Keywords: Railway Traffic Optimization

1. Úvod

Dopravní sál Fakulty dopravní vznikl jako studentský projekt. Postupně byly implementovány jednotlivé typy zabezpečovacích zařízení používané na železniční síti v ČR. Pro simulaci reálné infrastruktury a jízdy vlaků bylo zvoleno modelové kolejiště. V průběhu několika let tak vznikla laboratoř, která obsahuje systémy pro řízení a zabezpečení provozu od nejstarších, z počátku 20. století, po nejnovější elektronická zabezpečovací zařízení s dálkovou obsluhou několika stanic. Koncepce Dopravního sálu je založena na principu inteligentního vozidla. To umožňuje prezentovat stávající provoz, včetně teprve postupně implementovaného vlakového zabezpečovače ETCS, ale i nové vývojové trendy v řízení a zabezpečení železničního provozu.

Jedním z cílů, ke kterým autoři DSFDⁱⁱ směřují, je implementace operativního řízení železničního provozu. Přitom jsou zohledněny vývojové trendy zahraničních železničních správ, které výrazně oddělují úroveň přímého a operativního řízení. V tomto pojetí přímé řízení zajišťuje ovládání prvků infrastruktury pro umožnění jízdy vlaků prostřednictvím obsluhy zabezpečovacího zařízení, zatímco operativní řízení řeší v dostatečném předstihu konflikty v jízdách vlaků vyvolané odchylkami od naplánovaného GVDⁱⁱⁱ.

ⁱ Ing. Dušan Kamenický, ČVUT FD, Ústav dopravní telematiky, Konviktská 20, 110 00 Praha 1, kamendus@fd.cvut.cz

ⁱⁱ Dopravní sál Fakulty dopravní

ⁱⁱⁱ Grafikon vlakové dopravy

2. Aktuální stav

Zatímco u některých zahraničních správců železniční infrastruktury jsou postupně nasazovány aplikace pro podporu operativního řízení, na železniční síti v ČR dosud není obdobný systém úspěšně vyvinut a otestován. Ovšem ani v zahraničí není vývoj těchto aplikací rozhodně ukončen. Průběžně jsou aktualizovány s nově implementovanými balíky funkcí. Všechny však uvažují konvenční způsob řízení jízd vlaků v prostorových oddílech.

Autoři DSFD tedy musí v první fázi vývoje „dohnat krok“ s vývojem v zahraničí a zároveň tento směr přizpůsobit specifickým podmínkám v ČR. V další fázi se nabízí využití idealizovaného prostředí DSFD, který je založen na principu inteligentního vozidla. Jízdy vlaků tak mohou být provozovány pod plným dohledem ETCS v aplikační úrovni 3, s využitím tzv. „moving-bloku“. To umožňuje výrazně flexibilnější pohyb vozidel, který musí operativní řízení zohledňovat. Celková optimalizace řízení železničního provozu pak spočívá v definování ideální časové trajektorie jízd jednotlivých vlaků. Automatizační systém řízení vozidla, tzv. ATO, pak umožňuje tuto trajektorii dodržovat.

3. Operativní řízení provozu

Aby bylo možné optimalizovat řízení železničního provozu, je nutné nejprve predikovat jízdy jednotlivých vlaků. To zahrnuje mnoho parametrů, které jsou více či méně matematicky popsatelné nebo jejich hodnoty pro aktuální výpočet dostupné. Tato problematika byla blíže popsána v jiných člancích autora.

Následně musí být detekovány konflikty v jízdách těchto vlaků. Pro stávající způsob řízení provozu jsou používány metody, kdy jsou pro jednotlivé úseky železniční infrastruktury vypočítávány doby jejich obsazení. Konflikt je pak detekován, pokud je ve stejném čase požadováno obsazení úseku více vlaky. V tomto případě může být detekce konfliktů ovlivněna tím, zda systém uvažuje s konkrétní logikou zabezpečovacího zařízení, která se s jednotlivými typy i v rámci jednoho správce infrastruktury liší. Autorům DSFD není známo, že by byla řešena detekce konfliktů při řízení vlaků pod dohledem ETCS L3. Tato problematika bude popsána v následných člancích.

V případech, kdy je detekován konflikt v jízdách vlaků, musí být nalezeno řešení, které tento konflikt odstraní. To předpokládá, že jsou definována pravidla, resp. kritéria pro hodnocení jednotlivých variant řešení.

3.1. Definice optima

Jako optimální dopravní situaci lze považovat stav, kdy se všechny vlaky pohybují v trasách naplánovaného GVD. Ponechme stranou úvahy o konstrukci ročního GVD, to není předmětem této práce. Naplánovaný GVD by měl popisovat „ideální“ stav, kdy se všechny subjekty shodly na časových polohách vlaků, aniž by se jejich jízdy vzájemně ovlivňovali. Tím je myšleno, že jsou zohledněny všechny provozní intervaly. V případě sítě SŽDC jsou provozní intervaly popsány ve Směrnici 104^{iv} a zjednodušeně lze říci, že časové polohy jsou naplánovány tak, aby daný vlak ani nemusel začít snižovat svoji rychlost z důvodu jízdy jiného vlaku. Přitom uvedená směrnice uvažuje konvenční způsob řízení provozu s pevnými prostorovými oddíly. Cílem

^{iv} Provozní intervaly a následná mezidobí, Směrnice SŽDC č. 104, SŽDC s.o., 2013

řízení provozu na úrovni operativního řízení je udržovat jízdy vlaků v trasách a časových polohách definovaných naplánovaným GVD.

Nicméně konkrétně na síti SŽDC nelze naplánovaný GVD považovat za bezkonfliktní. Do dlouhodobého plánu (roční GVD), který ještě lze považovat za bezkonfliktní, jsou zařazovány tzv. ad-hoc trasy vyhlášením tzv. Plánu vlakové dopravy. Bohužel přidělení těchto tras již není bezkonfliktní. Navíc časová poloha konkrétního vlaku se značně liší od přidělené trasy – ať už vlak jede s náskokem nebo zpožděním. Pak už jízda daného vlaku je čistě podřízena operativnímu řízení. V tomto případě pak chybí to optimum, ke kterému by mělo operativní řízení směřovat. Má-li být realizován jakýkoliv systém pro optimalizaci řízení železničního provozu, je v první řadě nezbytné definovat ideální stav. Je tedy nezbytné, aby přidělování ad-hoc tras již zohledňovalo aktuální dopravní situaci. Časová poloha ad-hoc trasy byla realizovatelná vzhledem k aktuální poloze daného vlaku a s ohledem na ostatní vlaky v dlouhodobém plánu.

Obdobně je nezbytné přistupovat k plánovaným výlukám. Přestože výlukovou činností je omezena kapacita dopravní cesty, není vždy upraven naplánovaný GVD tak, aby byl bezkonfliktní. Přitom v dnešní době, kdy většina cestujících hledá spojení ve vyhledávacích jen několik hodin před zamýšlenou jízdou a tištěné jízdni řady téměř neexistují, není nezbytné trvat na ročním GVD a může být provedena jeho změna tak, aby byla respektována tato omezení na infrastrukturu.

3.2. Stávající kritéria optimalizace

Ať už bude naplánovaný GVD sebelépe vypracován, vždy nastanou mimořádné situace, které způsobí odchylku aktuálního stavu od naplánovaného GVD. Jízdy vlaků jsou vzájemně v konfliktu a pohled jednotlivých subjektů na řešení dopravní situace se výrazně liší. Za řešení těchto konfliktů je zodpovědné operativní řízení provozu. Optimum by mělo být dáno naplánovaným GVD, ale ten už nelze dodržet. Jednotlivé vlaky se budou více a jiné méně přibližovat předem naplánovanému stavu. Priorita jednotlivých vlaků je v současnosti dána Vyhláškou 173/1995 [1], která je následně přenesena do vnitřního předpisu správce infrastruktury SŽDC D1^v. Odchylky od takto definované priority vlaků mohou dopravci požadovat v rámci plánování dlouhodobého GVD a následně jsou zaneseny do Prováděcího nařízení část B předpisu D7^{vi}.

Vyhláška 173/1995 [1], § 22 stanovuje:

(2) Operativní řízení drážní dopravy uplatňuje provozovatel dráhy při mimořádnostech v drážní dopravě (zpoždění, výluky kolejí, odklony vlaků pro nesjízdnost traťových úseků, zavedení mimořádných vlaků). Přitom zajišťuje, aby přednost v jízdě měly vlaky podle pořadí:

- a) nutné pomocné,*
- b) mimořádné v obecném zájmu,*
- c) mezinárodní vlaky Eurocity a Intercity, mezinárodní expresní vlaky a rychlíky (včetně jízdy lokomotiv pro tyto vlaky),*
- d) mezinárodní osobní vlaky, vnitrostátní expresní vlaky a rychlíky a mezinárodní nákladní expresní vlaky,*
- e) vnitrostátní spěšné a osobní vlaky,*

^v SŽDC D1 Dopravní a návěštní předpis, účinnost od 01. 05. 2015

^{vi} SŽDC D7 Předpis pro operativní řízení provozu, účinnost od 14. 12. 2014

- f) *nákladní vlaky v pořadí:*
- 1) *vnitrostátní expresní,*
 - 2) *mezinárodní ostatní,*
 - 3) *rychlé,*
 - 4) *spěšné,*
 - 5) *průběžné,*
 - 6) *vyrovnávkové,*
 - 7) *manipulační,*
 - 8) *přestavovací a vlečkové,*
- g) *lokomotivní, služební a pracovní.*

Budeme-li se držet striktně tohoto ustanovení, mohou být řešením dopravní situace extrémní případy. Příkladem může být zastavení těžkého nákladního vlaku, aby nebyl o jednotky sekund zpožděn odjíždějící lehký osobní vlak protínající trasu nákladního vlaku. Toto řešení není nikterak obhajitelné – zastavením a následným rozjezdem dojde ke zpoždění nákladního vlaku v řádech minut, o energetických ztrátách ani nemluvě. S dobou zastavení nákladního vlaku i souvisí snížení kapacity dopravní cesty. V reálném provozu není takové řešení příliš časté, neboť se uvažuje s určitou inteligencí provozních zaměstnanců a jejich dopravním myšlením. Pokud však uvažujeme s aplikací, která má nahradit obsluhujícího zaměstnance v rozhodovacích funkcích, pak je nutné jednoznačně definovat kritéria zohledňující i výše uvedené případy.

3.3. Kritérium minimalizace zpoždění

Je pochopitelné, že vlaky nutné pomocné a mimořádné v obecném zájmu budou mít i nadále absolutní přesnost. V ostatních případech je vhodné definovat váhové kritéria, zohledňující priority vlaků a jejich zpoždění v definovaných dopravních bodech. Přičemž prioritu nemusí nutně určovat pouze jeho kategorie vlaku (popsaná ve Vyhlášce 173/1995), ale může se odvíjet od výše poplatku za dopravní cestu, kterou si jako volitelný parametr určí příslušný dopravce při objednání trasy. Pak i vnitrostátní nákladní vlak, jehož dopravce garantuje přepravu just-in-time, může mít v případě mimořádností vyšší prioritu než osobní vlak. Vhodné nastavení konstant váhového kritéria správcem infrastruktury pak ovlivní i využití kapacity dopravní cesty.

Rovněž je vhodné do váhového kritéria zahrnout i prioritu daného dopravního bodu. Dopravce nezajímá zpoždění vlaku v dopravních bodech, kterými projíždí. Pro osobní vlaky je rozhodující zpoždění v dopravních bodech, kde vlak zastavuje pro výstup a nástup cestujících. Přičemž i zde se dá uvažovat s rozdílnou hodnotou priority. Ve velkých dopravních uzlech s vysokou intenzitou cestujících má zpoždění vlaku rozhodně větší význam než v malých nácestných stanicích, případně v cílové stanici, kam vlak zajíždí spíše z dopravních důvodů. V případě nákladních vlaků jsou rovněž významné pouze definované dopravní body, kde probíhají úkony na vlaku (předání vlaku k nakládce a vykládce, výměna strojvedoucích, rozřazení vozů atd.).

Hledání optimálního řešení dopravní situace spočívá v nalezení minima zpoždění všech dotčených vlaků, které je násobeno prioritou vlaku a prioritou dopravního bodu.

Přitom je nutno zohlednit i vazby mezi jednotlivými vlaky, ať už se jedná o přestupní vazbu, nebo obrat soupravy či střídání strojvedoucího a vlakové čety.

3.4. Kritérium spotřeby trakční energie

Každé změny v plánovaném GVD způsobí odchylku od ideálně naplánované jízdní trajektorie. Od vozidla se očekává, aby v některých úsecích využívalo vyšší výkon a tím se využilo plánované rezervy zkrácením jízdní doby. V jiných případech se nutí vozidlo mimořádně zastavit s následnou značnou spotřebou trakční energie při rozjezdu. Výše uvedené kritérium zohledňovalo pouze minimalizaci časové odchylky od naplánovaného GVD. To lze považovat za dominantní kritérium, neboť „čas jsou peníze“, stále větší důraz se klade na přesnost dopravy, infrastruktura je místy na hranici své kapacity. Avšak v souvislosti se zaváděním elektroměrů na jednotlivá vozidla, od kterého se bude odvíjet platba za spotřebovanou energii, se bude zvyšovat tlak dopravců na minimalizaci počtu rozjezdů – tedy na zohlednění kritéria spotřeby trakční energie.

Je logické, že dopravci nebudou chtít platit za energii, kterou spotřebovali při rozjezdu po mimořádném zastavení, které nezavinili. K této problematice lze přistoupit dvěma způsoby – zohlednění jako dalšího kritéria při hledání optimálního řešení dopravní situace nebo kompenzovat zastavení vlaku při kalkulaci poplatku za použití dopravní cesty. Zpětně to může vést k situaci, kdy správce infrastruktury bude hledat viníka vzniklé mimořádné situace a požadovat náhradu těchto kompenzací. Nicméně to už je problematika přesahující téma tohoto článku.

3.5. Lokální kritéria

Kromě předchozích dvou kritérií optimalizace (minimalizace zpoždění a spotřeby trakční energie), které lze vztáhnout k vozidlu, lze uvažovat i mnoho dalších lokálních infrastrukturních kritérií. Zmíňme například takové snahy navádět vlaky do časových poloh, abychom dosáhli minimální doby uzavření přejezdu, snížili počty překročení čtvrt hodinových limitů odběrů trakční energie nebo minimalizovali počet přestavování výměn atd. V této fázi vývoje však s těmito kritérii není uvažováno.

4. Výstup optimalizace

Výsledkem optimalizace musí být konkrétní jízdní trajektorie jednotlivých vlaků, kterou je nutné přenést na vozidlo. Ta definuje časy průjezdů jednotlivými body infrastruktury tak, aby byl co nejpresněji dodržen přeplánovaný bezkonfliktní GVD. Vozidlo vybavené systémem ATO pak může v rámci hranic této trajektorie optimalizovat svoji jízdu s ohledem na spotřebu trakční energie. Tím je uzavřena zpětná smyčka regulace, kdy model jízdy vlaku vypočítávaný optimalizační aplikací se upravuje na základě jízdy reálného vozidla a zároveň jízda reálného vozidla je regulována podle přepočítaného modelu.

Podle přeplánovaného bezkonfliktního GVD je upraven i program automatizovaného stavění jízdních cest na úrovni přímého řízení, v případě starších zabezpečovacích zařízení jsou informace o dispozicích přeneseny obsluhujícímu zaměstnanci.

5. Závěr

S rostoucí intenzitou vlaků a požadavky dopravců na přesnost jejich jízdy je nezbytný vývoj a implementace aplikace pro podporu operativního řízení. Požadujeme-li určitou inteligenci

takové aplikace, která má nahradit lidského činitele v rozhodovacích procesech, pak je nezbytně nutné, aby správce infrastruktury projednal se všemi dotčenými subjekty kritéria uvažovaná při výpočtu optimální varianty a vhodně nastavil jejich váhová ohodnocení.

DSFD pak může sloužit jako simulátor pro prezentaci nových postupů operativního řízení a zároveň pro ověření nastavených kritérií optimalizace i samotné optimalizační aplikace.

Literatura

- [1] Vyhláška 173/1995 Sb. Dopravní řád drah, Ministerstvo dopravy

Sensor Network for Ammonia Detection at the Airport

Author's First Name and Surname (Version for review)ⁱ

Abstrakt: *Eliminace rizika protiprávního činu spojeného s teroristickým útokem na kritickou infrastrukturu je prioritní úlohou současných bezpečnostních systémů. Do této infrastruktury lze zařadit kromě jiných subjektů, také letiště. Pre-screening chemického složení batožiny cestujícího při vstupu do letištní haly bez nutnosti zpomalení či vyvolání jakéhokoliv podezření v potenciálním pachatelovi protiprávního činu během probíhající kontroly by mohlo eliminovat počet obětí takového typu útoku. Jednou z příležitostí separace podezřelé batožiny a osob od ostatních cestujících umožňují stopové prvky amoniaku, vyskytující se téměř v každém typu výbušniny. Cílem této práce je proto vytvoření konceptu sensorové sítě schopné 2D monitorování, případně lokalizace zdroje stopových prvků čpavku v prostoru. Takový systém by také mohl najít uplatnění v železniční či autobusové dopravě.*

Klíčová slova: *sensorová síť, letiště, amoniak, bezpečnost, check-in*

Abstract: *One of the priority tasks of contemporary security systems is to eliminate risks of unlawful acts related to terrorist attacks on critical infrastructure. Airports, among other things, are part of this infrastructure. Pre-screening of passenger's baggage chemical composition during entrance into an airport hall, with no need for slowing down of passenger flow or raising suspicion in potential perpetrator of unlawful act during the check process, could eliminate number of casualties of such attacks. Traces of ammonia present in almost every type of explosives provide one of the possibilities to separate suspicious baggage and persons from the rest of passengers. The goal of this work is thus creation of a sensory network concept capable of 2D monitoring or localization of the ammonia traces source in space. Such system could find its application also in rail or bus transportation.*

Keywords: *sensor network, airport, ammonia, security, check-in*

1. Introduction

Since the beginning of its existence, air transport has been exposed to an increased risk of unlawful threats such as assassinations, abductions or bombings [1,2]. By escalating tensions in the world, civil transport and the infrastructure associated with it are increasingly becoming targets of such acts. Enhanced security checks force terrorist organizations or individuals to commit an act of violence prior to security check of luggage content by conventional spectroscopic methods and therefore airport terminals with a high concentration of people become the ideal target of attack [3]. Inter alia, the problem of thorough security checks of passengers is that they are time-consuming which ultimately increases the density of people on unsecured perimeters with a crowd of people being an easy target for bombing attacks e.g. an attack at Zaventem Airport, 2016 [4]. Many "primitive" bombings of so-called "lone-wolf terrorists" not connected to terrorist organizations were executed by home-made bombs. Home-made explosives as well as several types of army or industry-used and difficult-to-access explosives have a common base trace element that is ammonia [5,6]. Ammonia may occur in explosives in several forms, such as ammonium nitrate, chloramine, or a compound of ammonia

ⁱ Author's name incl. titles, address and e-mail

and aluminium oxide [5]. For this reason, the topic of detecting the presence of ammonia at airports is a topic of long-term expert discussion of organizations dealing with aviation security.

In order to meet the high requirements of securing the perimeter of an international airport even when the sensor is exposed to external environmental conditions, the ideal sensor design must be based on qualities such as: high efficiency, low number of false alarms, wide dynamic range, high sensitivity, high scale substance selectivity, high long-term selectivity, easy maintenance, fast response rate, response reversibility, small in size and low power consumption, etc. In real systems, the main emphasis is placed on only three cardinal features which are sensitivity, selectivity and response rate [7].

Studies focused on ammonia detection classify sensors into 4 groups, namely: electrical impedance detection, laser spectroscopy, surface acoustic wave sensing, and gas sensors [8]. Last mentioned gas sensors among all the groups deserve the most attention thanks to the ability to scan the sample relatively quickly and contactless. Sensors are typically consisted of multiple carbon nanotubes using the dielectrophoresis, i.e. the electro-kinetic movement of dielectric polarized materials in an uneven electric field [9]. Thanks to carbon nanotubes the sensor has received extra attention due to rapid response rate and high sensitivity. An unquestionable advantage of such sensors is a wide range of gases that can be detected in addition to ammonia. For the detection of an explosive device, it is also worth mentioning sensing of NO₂, CO, or H₂O₂

However, taking into account the ammonia detection the aim of the work is based on the above mentioned, creating a concept of a sensor network capable of 2D monitoring or locating the source of ammonia trace elements in the space. The application of the proposed concept should be focused for primary use at the airport or wherever non-invasive and contactless checks of persons or luggage are required.

2. Materials and Methods

The design of the sensor network to determine the location of the ammonia source in the space was designed to cover as much space as possible with the lowest number of sensors needed. From the very principle of functioning of gas sensors, their saturation and subsequent desaturation, the concept of moving sensors is proposed as the most appropriate solution. With appropriate arrangement of sensors and platforms, it was possible to create 1 or 2 dimensional network for source detection.

2.1. Design of 1D Sensor Network

Both the 1D and the 2D measuring position platforms are based on the possibility of a rapid movement of the detector over a predetermined trajectory (note: the following description is based on Figure 1). The sensor (1) is connected via a 4-pin connectors to sandwich printed circuit board (2) where the signal is first processed. One of the PCB modules contains an integrated WiFi module that sends the signal to the central computer. The sensor unit is connected via a runner (3 - 4) containing 3 linear bearings to high polished supporting bars. Parallel bars are also intended to maintain a constant distance between the supporting corners that form the stationary frame of the device. At the top of the device corners are located the tact switch push button (6) necessary for the correct calibration of the position of the runner. The propulsion unit as well as the distance measuring unit is a stepper motor (7) fixed to the frame of device. Mechanical link is composed of timing belt fitted to pulley (8) and the runner to

which gas sensor is attached. The PCB is protected by a cover (9) preventing a mechanical damage. On the sides of the cover there is a lengthwise salient rib whose function is to provide a single point of contact with the tact switch push button.

The communication between the sensor unit attached to the runner and the control unit of the computer is wireless. The sensor platform uses the Python programming language. The Arduino platform is used to control stepper motors. 1D configuration cannot accurately determine the position of the source just capturing the approximate radius of the source in the time interval. This device option would be very useful for combining with an additional camera system that would indicate a possible dangerous object occurring in a suspect perimeter within a given measurement interval. The movement of the runner is constant, from one corner to the other.

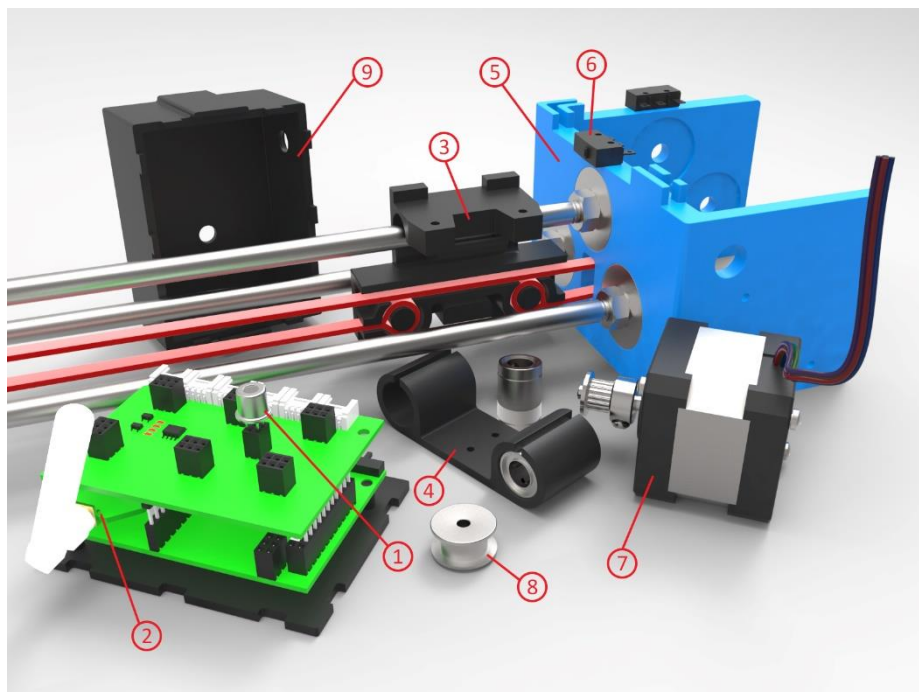


Fig. 1 Visualization of system elements for the measurement of trace elements of ammonia..

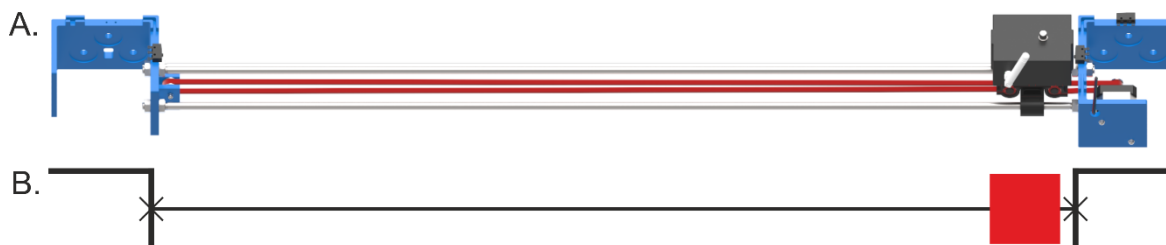


Fig. 2 Overview of 1D sensor network (A) and schematic representation (B) highlighting the position of the sensor (red square).

2.2. Design of 2D Sensor Network

The design of the static frame allows the linking of four 1D modules into square geometry thereby creating a sensor network capable of detecting the position of the ammonia source both in the x-axis and the y-axis. The undisputed advantage of this configuration is the possibility of

autonomy - the determination of a relatively exact position of the source without additional systems as it was in the 1D sensor network.

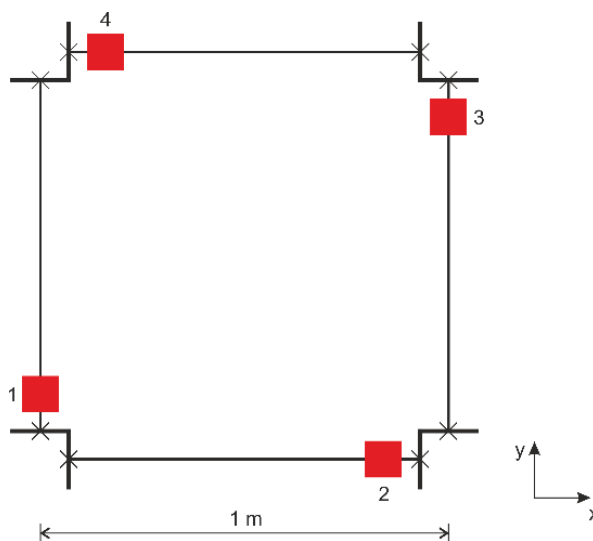


Fig. 3 scheme of a 2D concept.

2.3. Calibration

In order to accurately locate the runner with the sensor on the supporting bars platform calibration is required. The stepper motor finds the extreme position of the runner with the tact switch push button on one side as well as on the other side. The constant of the number of revolutions the engine had to make to overcome the distance after switching on the tact switch push button corresponds to the measured track. In order to prevent the tact switch push button from being destroyed by repeated switching/hitting the software counts off 10 steps from each side. The given distance values are taken as reference terminal positions.

In a 2D sensory network, it is necessary to locate the position of the sensors against each other as shown in Fig. 3. The initial condition for proper calibration is to place each sensor to one corner of the platform. After counting off 10 steps of the engine from the front of the structure (aberration resulting from design tolerances) a network of two-dimensional objects corresponding to the size of the network will be created.

3. Measuring Process Principle

As mentioned in the description of 1D measurement chapter the only recorded data is the sensor's position over time. When determining the position in the 2D space the measurement is indirect, the approximate position is re-calculated after the second sensor saturation.

The device is active after calibration when the central PC gives the signal through the control unit to initiate the movement. Sensors move in the direction shown in Fig. 4A. When the terminal position is reached the sensor returns back. It can be said that the sensors are covering the circumference of the square by their motion. A change of motion occurs when the substance is detected. If the sensor saturates with gas, it means that it has found the outlying position of a potential source. After the sensor is saturated it moves to the extreme position where it remains until it denaturalizes, allowing it to measure again. The other sensors are still moving as before. After the desaturation of the sensor (blue color, Fig. 4B) the sensor returns to the corner where the signal was detected, see Fig. 4C. When moving through the gas field again, the sensor will

again saturate, causing the impulse to indirectly measure the position of the runner on the axis through the stepper motor. The y-axis sensors continue to move until the saturate causing a change as in the previous x-axis.

A curve is received from all sensors expressing sensor saturation during measurement. The position of the source in the x-axis is then obtained as:

$$x = L - \left(\frac{\int_0^T I_1 dT}{\int_0^T I_1 dT + \int_0^T I_3 dT} \cdot L \right), \quad (1)$$

where x is the coordinate value on x-axis, L is the total length at which the sensor moves, T is the time corresponding to the movement of the sensor on the path of the length L , and I_1 and I_3 are the measured curves, respectively values of intensity measured in time for sensors 1 and 3 (see Figure 3). Similarly, the source position is obtained on the y-axis:

$$y = L - \left(\frac{\int_0^T I_2 dT}{\int_0^T I_2 dT + \int_0^T I_4 dT} \cdot L \right), \quad (2)$$

where y is the coordinate value on the y-axis, and I_2 and I_4 are the measured curves, respectively time values of intensity measured in time for sensor 2 and 4 (see Figure 3).

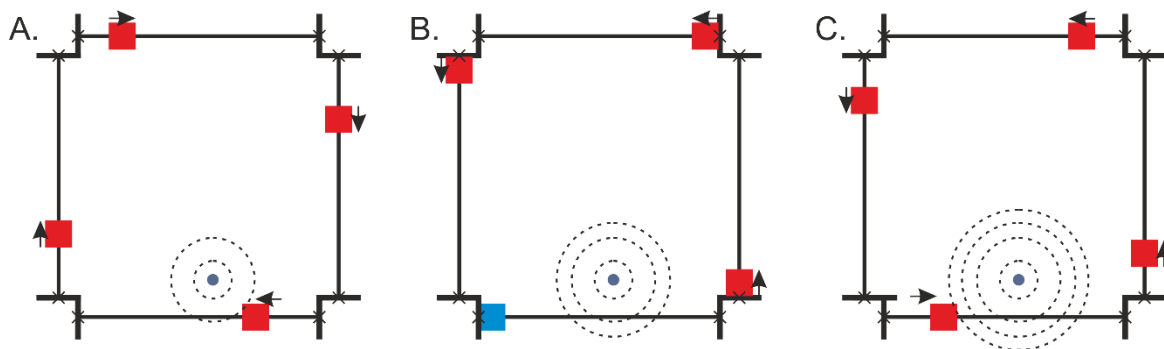


Fig. 4 A scheme of the initial direction of movement of the sensor (A) including desaturation (B) and movement of the sensor to its original position (C).

4. Discussion

The proposed concept contemplates 4 highly sensitive sensors that are constantly moving around the circumference of a square positioned and oriented transversally. Upon initial capture of the substance, the sensor network records the position of the object. When the chip of saturated sensor arrives in the non-toxic area it rapidly desaturates. After the desaturation the sensor is able to perform further measurements. Possible limitations when locating the luggage by this method are then derived from high temperatures or increased airflow which causes diffusion and mixing of the gases in the environment. In cooperation with the camera system

the gateway-shaped sensor network would be able to detect potentially dangerous luggage without the passenger's consciousness.

Based on the proposal, it is possible to identify the basic advantages and disadvantages of the concept. As an advantage, it is possible to consider the fact that the device depends only on the quality and characteristics of the sensor. Therefore, it is possible to replace the sensors with more modern ones while preserving the conceptual solution. As another advantage, discrete, non-time-consuming measurements can be considered which do not cause the suspicion of the subject while being measured. The limitations of the present design include simplifying the source model i.e. the diffusion phenomenon is in this case regular in all directions when the airflow isn't taken in account.

After the abovementioned limitations are solved the concept could be taken under consideration with intentions to incorporate sensors into the construction of entrance gates at airports or random places into the airport floor combined with eventual camera sensing.

5. Conclusion

Expanding modern technologies and creating new areas for their use is always a challenging process. The same applies to sensor networks which are a relatively new in the area of detection systems [10]. Nowadays, they are often used to measure noise, chemical composition of air or to detect movement of people. They are also strongly represented as elements of so-called smart sensor networks [11]. A great advantage of sensor networks is the possibility of a wireless concept where it is possible to work with different structures of the sensor network due to their movability. This advantage can be appropriately used in creating sensor network design inside the buildings where the range of sensors' transmission is limited and therefore its energy consumption is decreased. Data transfer is more consumption demanding than the actual signal processing. Therefore, it is necessary to take this fact into consideration when designing the network and also consider the advantages and disadvantages of both possible solutions, not just wireless.

In air transport, two particular matters have to be taken into account i.e. increasing competitiveness and increasing security [12]. Competitiveness can be ensured by accelerating air transport and this can only be achieved by shortening the time spent at the airport and fastening post-flight procedures. These time savings could favor air travel even at short haul flights. Shortening the time before flight could, on the other hand, significantly affect the security checks. Inventing new technologies or the application of existing ones to reduce the time of security checks is therefore very desirable. Increasing security is a continuous process that negatively affects air transport from a time perspective. The basic idea of airport security checks is to protect aircraft against destruction and other unlawful acts. But security checks are not intended to protect the airport. This state could be changed by applying the sensor networks as they could be implemented in all parts of the terminal and provide hazard detection as well as chemical, biological, radiological, nuclear, and explosive materials [13]. The use of such detection would now be appropriate for both large international airports as well as smaller ones.

Acknowledgement

This work was also supported by the Czech Technical University in Prague, junior research grant number No. SGS17/154/OHK2/2T/16 „Use of sensory networks for passenger security control“.

References

- [1] KOLESÁR, Ján and Martin PETRUF. Safety Management System Protection against Acts of Unlawfull Interference of Civil Airport. *Journal of Logistics Management*. 2012, 1(2), 6-12.
- [2] DUCHESNEAU, Jacques and Maxime LANGLOIS. Airport attacks: The critical role airports can play in combatting terrorism. *Journal of Airport Management*. 2017, 11(4), 342-354.
- [3] IGNATYEV, Konstantin, Peter R.T. MUNRO, Deeph CHANA, Robert D. SPELLER and Alessandro OLIVO. A New Generation of X-ray Baggage Scanners Based on a Different Physical Principle. *Materials*. 2011, 4(10), 1846-1860. DOI: 10.3390/ma4101846. ISSN 1996-1944.
- [4] EL BENNI Ammar and Tiberiu TĂNASE. Terrorism - causes, effects and solutions - ISIS case study. Terrorist organization that could destabilize european security - Islamic state. In: *International conference Redefining Community in Intercultural Context RCIC'17*. Bari, 2017, pp. 187-191.
- [5] MARSHALL, Maurice and Jimmie C. OXLEY, ed. *Aspects of Explosives Detection*. Amsterdam: Elsevier Science, 2009. ISBN 978-0-08-092314-7.
- [6] National Research Council. *Existing and Potential Standoff Explosives Detection Techniques*. Washington, D.C.: National Academies Press, 2004. ISBN 978-0-309-09130-5.
- [7] National Research Council. *Expanding the vision of sensor materials*. Washington, D.C.: National Academy Press, 1995. ISBN 978-0-309-05175-0.
- [8] SINGH, Suman. Sensors - An effective approach for the detection of explosives. *Journal of Hazardous Materials*. 2007, 144(1-2), 15-28. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2007.02.018. ISSN 03043894.
- [9] AKBARI, Elnaz, Zolkafle BUNTAT, Mohd AHMAD, et al. Analytical Calculation of Sensing Parameters on Carbon Nanotube Based Gas Sensors. *Sensors*. 2014, 14(3), 5502-5515. DOI: 10.3390/s140305502. ISSN 1424-8220.
- [10] CHEE-YEE CHONG and S.P. KUMAR. Sensor networks: Evolution, opportunities, and challenges. *Proceedings of the IEEE*. 2003, 91(8), 1247-1256. DOI: 10.1109/JPROC.2003.814918. ISSN 0018-9219.
- [11] CHEN, Tinggui, Gongfa LI, Jianjun YANG and Honghai LIU. Wireless Smart Sensor Networks, System, Trends, and the Applications in Engineering. *Journal of Sensors*. 2016, 2016, 1-3. DOI: 10.1155/2016/1526153. ISSN 1687-725X.
- [12] ENOMA, Aghahowa, Stephen ALLEN and Anthony ENOMA. Airport redesign for safety and security: Case studies of three Scottish airports. *International Journal of Strategic Property Management*[online]. 2010, 13(2), 103-116. DOI: 10.3846/1648-715X.2009.13.103-116. ISSN 1648-715X.
- [13] KANGAS, Michael J., Raychelle M. BURKS, Jordyn ATWATER, Rachel M. LUKOWICZ, Pat WILLIAMS and Andrea E. HOLMES. Colorimetric Sensor Arrays for the Detection and Identification of Chemical Weapons and Explosives. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*. 2016, 47(2), 138-153. DOI: 10.1080/10408347.2016.1233805. ISSN 1040-8347.

Personal Transporter Safety

Luboš Nouzovskýⁱ, Tomáš Foglⁱⁱ, Veronika Kostěncováⁱⁱⁱ

Abstrakt: Článek na téma „Osobní přepravník a bezpečnost jeho provozu“ se zaměřuje především na experiment, kde je ověřována intuitivnost ovládání tohoto dopravního prostředku. Dále je popsán jak osobní přepravník, tak i použitá měřicí technika a její umístění. Každým rokem roste stupeň automobilizace, z toho důvodu bude třeba zavést jistá opatření, která vyřeší přehřesl automobilů v ulicích měst, jako například zavedení ekologičtějšího, menšího a efektivnějšího dopravního prostředku, který by mohl být zcela bezpečně využíván v běžném provozu v městských aglomeracích. Tím je právě osobní přepravník. V tomto článku je pak rozebrán vliv věku jezdce na dynamiku jízdy tohoto dopravního prostředku.

Klíčová slova: Osobní transportér, bezpečnost, akcelerometr, gyroskop, chodec, chodník, elektromobilita

Abstract: The article „Personal transporter safety“ focuses on the study with an aim to evaluate the control intuitiveness and learning speed of the personal transporter. Introduced is the personal transporter, used measuring devices and its placement. Every year, a degree of automation is increasing and some steps need to be done to solve the crowd of cars in city streets, such as the introduction of a greener, smaller and more efficient means of transport that could be safely used in day-to-day operation in urban agglomerations. Solution is the personal transporter. This article analyzes the effect of the rider's parameters and behaviour on the dynamics of driving this vehicle.

Keywords: Personal transporter, safety, dynamic, measurement, electromobility

1. Introduction

With every single phase of evolution of society comes a different type of energy which is used as a drive for various objects. Nowadays is the rise of electric motors. They have many advantages over the combustion engines, such as no emissions produced while driving and the drive seem more ecological, more efficient and more economical. Disadvantages of the electric cars are energy and economic demands on production and recycling of the vehicle, which cost more than the produce of common automobile.

The highest concentration of automobiles is in cities, where people are often being transported for a short distance. And just for this case there would be great to have some kind of vehicle, which would be small enough to save some space. The main goal is to invent the vehicle, which would be smaller than a car, but have the same feeling of safety and comfort and would be environmentally friendly. Here comes the personal transporter, which is known for about 15 years. In 2001, December 3 was in ABC News show introduced the personal transporter, named Segway PT p133. [1]

ⁱ Ing. Luboš Nouzovský, CTU in Prague, Horská 2040/3, 128 03 Praha 2, nouzovsky@fd.cvut.cz

ⁱⁱ Ing. Tomáš Fogl, CTU in Prague, Horská 2040/3, 128 03 Praha 2, nouzovsky@fd.cvut.cz

ⁱⁱⁱ Veronika Kostěncová, CTU in Prague, Horská 2040/3, 128 03 Praha 2, nouzovsky@fd.cvut.cz

Personal transporter (PT) works on the principle of dynamic stabilization, when electronic gyroscopes check their position and tilt for many times in every single second. If the PT finds out, that the person, who drives the PT, leaned forward, it will try to “undertake” and put back to the upright position. The same thing will happen while the person driving PT bends back. If we compare the time of reaction between the particular means of transport, the PT should have the best results. The vehicle reacts on the moves of driver’s body, there is no need to control the vehicle with some lever or pedal.

PT is much more compact, and its infrastructure requirements are much smaller compared to cars. In the area, where we place one automobile there could be placed about 8 personal transporters. If there was bad weather, it would be necessary to equip the PT with a cover, which could have luggage compartment and bodywork. In a critical state when extreme braking occurs, it would be useful to introduce passive safety features.

2. Foreign Researches

There are several safety studies that were made for Segway company. All studies conclude that people driving the PT are not dangerous.

In 2004, Centre for Electric Vehicle Experimentation in Québec tested the Segway HT in real terms and concluded that the Segway PT is very stable and gives users a sense of control. It states that Segway PT can be considered as a replacement for cars. In the second phase of the entire test, 143 users travelled more than 9,000 km on pavements and roads in three major cities in the province of Québec. No serious injury or collision with pedestrians occurred during the whole test. [2]

In 2005, Victoria Transport Policy Institute checked driving of passenger transport devices (electric scooters, power-driven wheelchairs and Segway PT) in a public area, and concluded that the pedestrians were not jeopardized. For comparison, cyclists are more dangerous than drivers of the personal transporter. [3]

In 2004, U.S. Department of Transportation – Federal Highway Administration conducted an analysis of new traffic participants on pedestrian roads and their safety and the result was that Segway PT users had the best braking performance, best visibility and the fastest reaction time. Hereby Segway PT meets all the recommendations of the American Association of State Highway & Transportation Officials (AASHTO). [4]

An interesting publication in 2017 of The Journal of Emergency Medicine is a study in which a systematic review of the literature was conducted to assess injuries associated with the PT. From the full-text archive of biomedical and life sciences literature PubMed, MEDLINE, Scopus and CINAHL, personal transporter injury data were collected during 1990-2017. The study includes 135 patients’ information. Their average age was 48 years. The results of the study are that there are serious injuries, especially when falling off the PT. Injuries are mostly of orthopedic and neurological nature. Most prevalent are fractures of the lower limbs, hip, spine, internal bleeding and loss of consciousness. It also concludes that PT is an innovative, comfortable and environmentally friendly method of transport, but it is associated with the wide range of injuries. Many of these require hospitalization and surgery, which is very costly. [5]

3. Description of The Personal Transporter and Installation of the Measuring Technique

3.1. Description of the personal transporter

Within the Student grant competition project by CTU (number SGS16/255/OHK2/3T/16 “Two-wheeler - measurement of dynamic of motion“) was bought a new personal transporter by Airwheel company, model Airwheel S3.

The personal transporter, which is described, might seem like Segway PT. It has all functions and the same principles of control like Segway PT. However, Airwheel S3 is cheaper than Segway PT. Its driving characteristics are similar with Segway PT and also the reactions to movements of the human body are immediate. Maximal speed is limited by 18 kmph. Maximum plane angle is 15 ° and the highest possible weight of person, who can drive the PT is 120 kg. Total weight of the PT is 22,4 kg. [6] If we compare Airwheel S3 with the PT by Segway, Airwheel S3 is slower, accuracy of control is worse and at higher speed the Airwheel S3 becomes uncontrollable, so person, who drives it has to jump off. The next bad attribute of the S3 model is its software, because while its battery runs out, the PT turns off and the driver might fall.

Airwheel S3 is powered by one lithium battery, which has capacity 520 Wh. The battery is charged about 180 minutes and is placed from below of the foot platform. The service life of the battery is about 65 000 km. Tires have the size of 14 x 2,8 inches (35,6 x 7,1 cm) and are adapted for paved roads. Tires are constructed for pressure about 28-31 psi. For blowing the tire there is a tiny vent, which is also used in cars. The tires are strung onto aluminium discs. [6]

The PT has aluminium construction, which has the plastic covers. In front of the foot platform there are two white lights and at the back of it there are two red lights. The part of the aluminium construction are also two engines, which have power about 1000 W and directly on them are mounted discs with tires. [6]



Fig. 1 PT Airwheel S3

3.2. Installation of the measuring technique

In order to be able to record individual driving characteristics, it is necessary to place the measuring technique on the PT. For this purpose, there has been designed a holder which firmly holds the inertial unit in place. For the record driving characteristics was chosen the sensor of the French company SBG Systems. The inertial unit Ellipse2-N was also obtained from the SGS CTU grant (SGS16/255/OHK2/3T/16).

The inertial unit integrates 4 measuring units, namely a three-axis gyroscope, an accelerometer, a magnetometer and the measurement GNSS technologies. These outputs are subjected to a Kalman filter, which consists of two parts (filtration and prediction).

The sensor was attached on the PT and connected to a specially designed computer where the measured values were recorded throughout the experiment. The computer was firmly placed in the handlebar bag to not hinder the person in the movement. The sensor location was selected as close as possible to the centre of gravity while occupying a horizontal position in the resting state and its X-axis was oriented in the direction of travel. Also important was the location of the GNSS antenna so that the receive the GNSS signals could be as clear as possible.



Fig. 2 Detail of the inertial unit attachment

3.3. Setting of the inertial unit

The sensor communicates with the computer using the supplied software to the SBG unit. This program is used for control and two-way communication. The first necessary thing is to connect the sensor to the port and see what direction the sensor takes with its own coordinate system (CS). Then the distance from the centre of gravity need to be set, the correct position of the GPS sensor inserted and set the sensing frequencies for each activity. This frequency is selected 100 Hz. Finally, it is necessary to integrate a computer developed to test accident events that is controlled by remote desktop on another computer.

4. Measurement of Personal Transporter Dynamics

In this experiment, the influence of age, experience and other parameters on the ride of subjected persons was investigated. A trial track was created and it was attended by all

participants in the experiment. Riders had to travel the track 3 times with individual time spans, everybody had 5 minutes to improve their skills on the PT. In order to improve the control of the PT, the person could use both – the trial track and the free space. The surface of the track was asphalt.



Fig. 3 Drawing of the trial track and photo of the track with rider at the start

Testing measurements were attended by a total of 51 riders with different age groups. Thus, several age groups have been created, whose representatives have similar characteristics (children, adolescents, adults). The groups are represented by approximately the same number of riders.

5. Measurement Data Processing

Once the experiment was completed, the data was saved and subsequently exported to a text format. In order to evaluate the experiment, it was necessary to obtain acceleration in all axes, speed, latitude, longitude and angles of spatial orientation. From the measured data, a measurement evaluation was performed using the DIAdem program from National Instruments company. Data inputs are series of numbers that interpret the measurement values, according to the set sensing frequency that was determined in the sensor setting.

When processing the forward acceleration, an acceleration that is not affected by the gravitational acceleration g (Figure 6) has to be transformed by an α angle that holds the PT and its own coordinate system (and axle x) with an imaginary horizontal direction x' during acceleration or deceleration. If the PT did not tilt in forward or reverse movements, the resulting values for the forward acceleration would be directly measured values by the inertial unit in the x -direction.

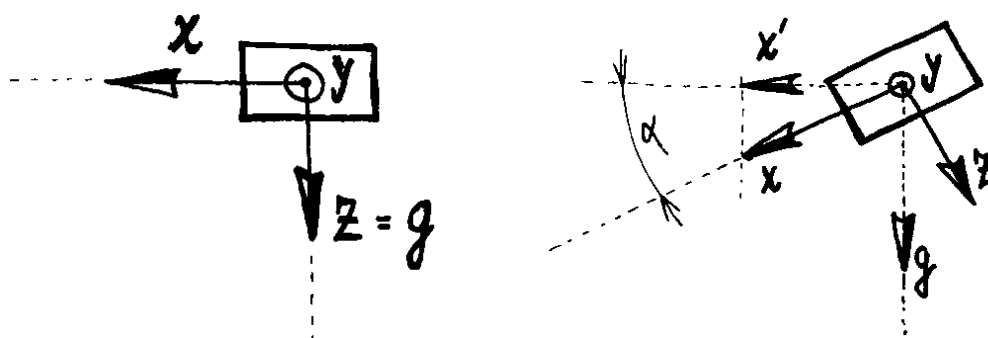


Fig. 4 Coordinate system of the PT in the horizontal position and inclined by the alpha angle

In the picture, we can see that the gravitational acceleration is projected into the horizontal movement twice, symmetrically around the centre of the sensor. Its size projected to the horizontal axis is always the same, but in the opposite direction, $g(x') = g(z')$. Therefore, this gravitational acceleration can be for the recalculation neglected. If an acceleration result which values are captured by the sensor for individual x and z or x_2 and z_2 axes in the horizontal direction is projected, we can deduce the total forward acceleration, ie A , which is not affected by the gravitational constant g .

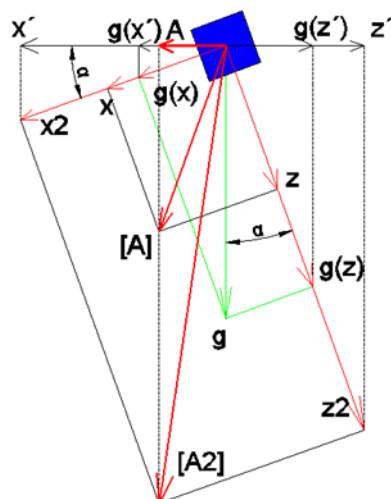


Fig. 5 Derive of the forward direction of the resultant acceleration

The transformation progresses according to the following formula:

$$A = \pm x_2 * \cos(\alpha) \pm z_2 * \sin(\alpha) \quad (1)$$

When processing the results, they were filtered out because of the presence of noises. Boundary frequencies for filtration were determined by Fast Fourier Transform (FFT). For most measurements, the filtering was selected with the following settings: low pass filter, 2 Hz, Butterworth filter of 4th order. Speed data and position – trajectory – were obtained from the geographic location data determined by the GNSS module. The figure below illustrates the position recording for one of the measurements.

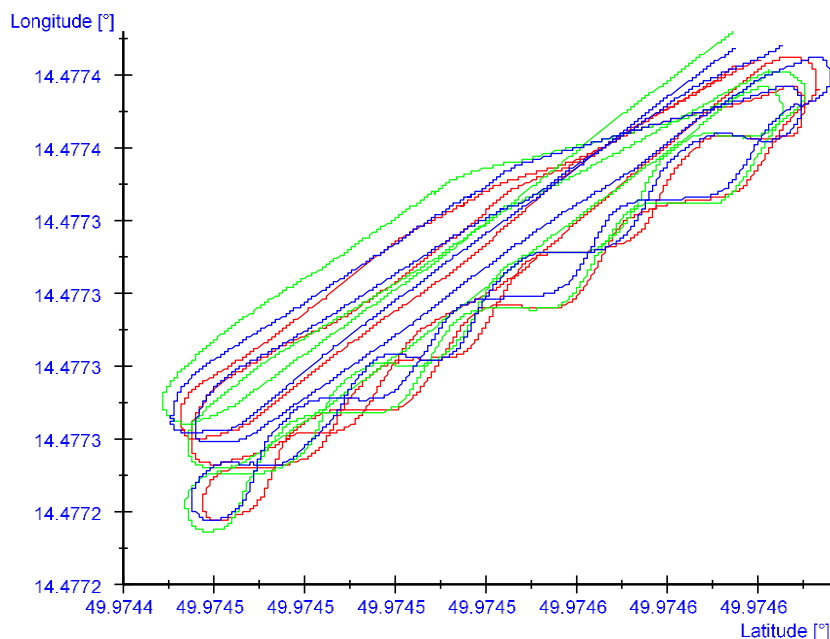


Fig. 6 A sample of the recorded geographic position for three runs

5.1. Results

In the age category of 0-15 years there is obvious a strong commitment during the first ride when the user has no previous experience. Its improvement is not so great, because it tried the limits of the machine during the first ride. During the free period of time, only a few people used a trial track to improve and train the section that was the most problematic. 16-21 years old riders have similar characteristics to those in the previous category. However, their fear was the reason why they at the very first ride did not reach values of the category 0-15 years. There is an apparent effort to achieve high values, on the other hand they do not learn from mistakes. From the experiment is obvious that this category was least teachable during learning.

Another age category is 22-30 years. There the best maneuverability, improvements and commitment are expected. The mobility capabilities of the people are in most cases at high level, their results could be compared with the category 31-50 years. They are characterized with greater courage and their handling the device is better, they understand the device. According to the results, the best riders are from this age category. The overall improvement when comparing the first and the last test drive is the best. Riders are able to learn from their mistakes they have shown in the previous ride and during their free time they try to train and improve their skills.

In the 31-50 age category is edification a characteristic feature. During the first ride, the riders are cautious and move as they feel safe. Improvement then reaches the best values, while in the free time they try the moves that have made them the biggest problems. In the last category of 51+ drivers, their behaviour on PT could be described as very successful. However, everyone in this category think whether to enter or not to enter this means of transport. Improvements are visible in all rounds, the person learns from the mistakes of the previous round and tries to eliminate them in the following round.

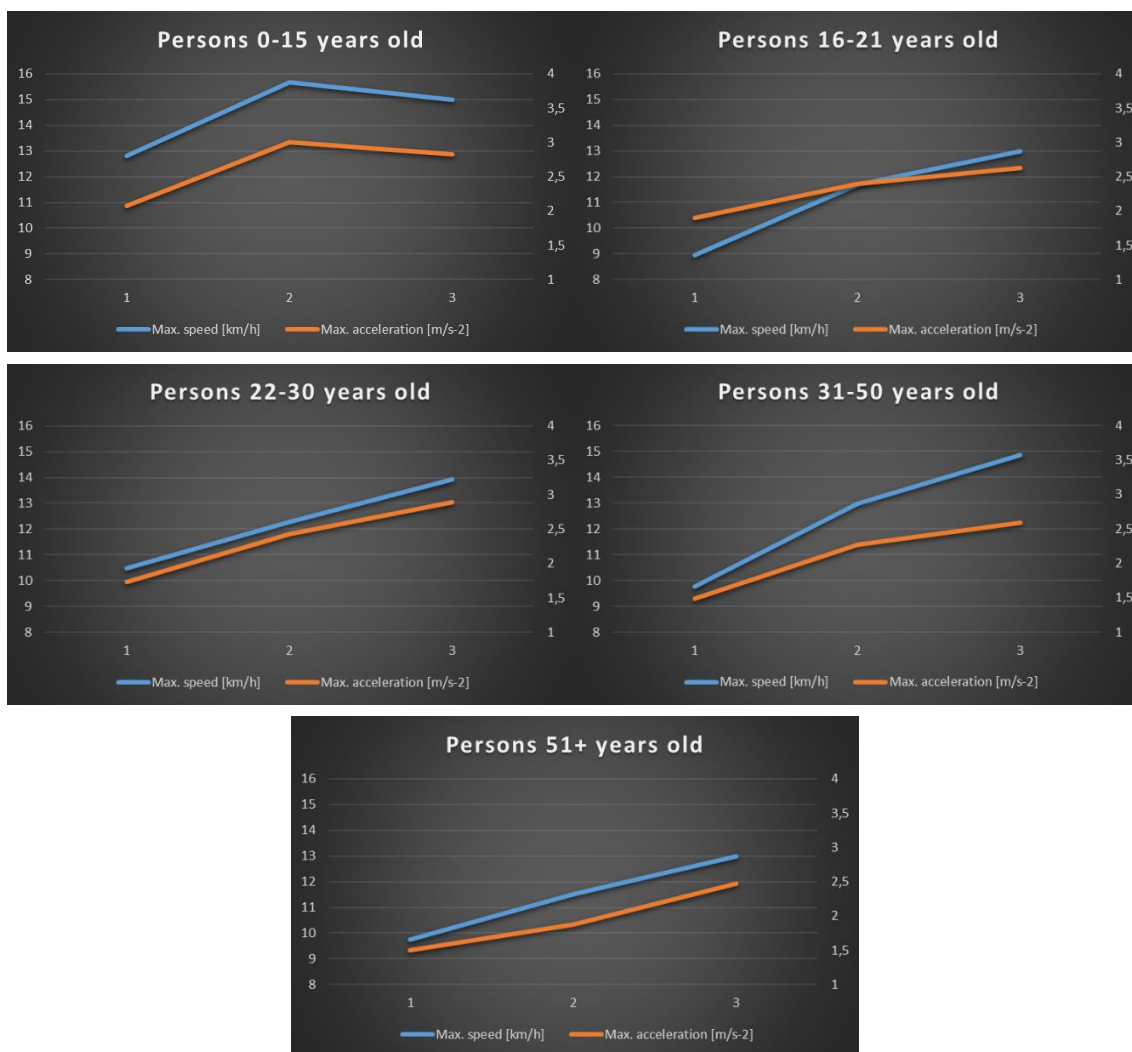


Fig. 7 Speed and acceleration graphs for all groups

6. Conclusion

The age difference between people, who were tested does not have influence on their driving dynamics as originally expected. The main thing is how the person who drives the PT moves and its talent and courage. The PT could be safely driven by the person of any age. According to the results of the experiment, every person, who has never driven the PT before can improve in driving the PT within 15 minutes. In fact, after an hour of driving the PT can the person, who drives the PT, enjoy the greatest opportunities, which the PT offers. Younger people usually reach higher speed much sooner, than elderly people. Maximal speed is in all age categories almost the same. However, this is caused by the maximal speed, which can the PT reach. The travel speed is 16 kmph.

We can say that people who drive the PTs, which use gyroscope for balancing their position, can learn driving of the PT very quickly and they are not dangerous for their neighbourhood. Due some of the PTs might have defect, we cannot let the PTs ride together with cars in the common space. It is necessary to improve the PTs, such as their passive and active safety.

The biggest problem of the PT is to move the driver from side to side during a fast ride and then leaning of the handlebars to the side. The solution of this problem could be making the driving with handlebars harder and harder, as the speed is faster.

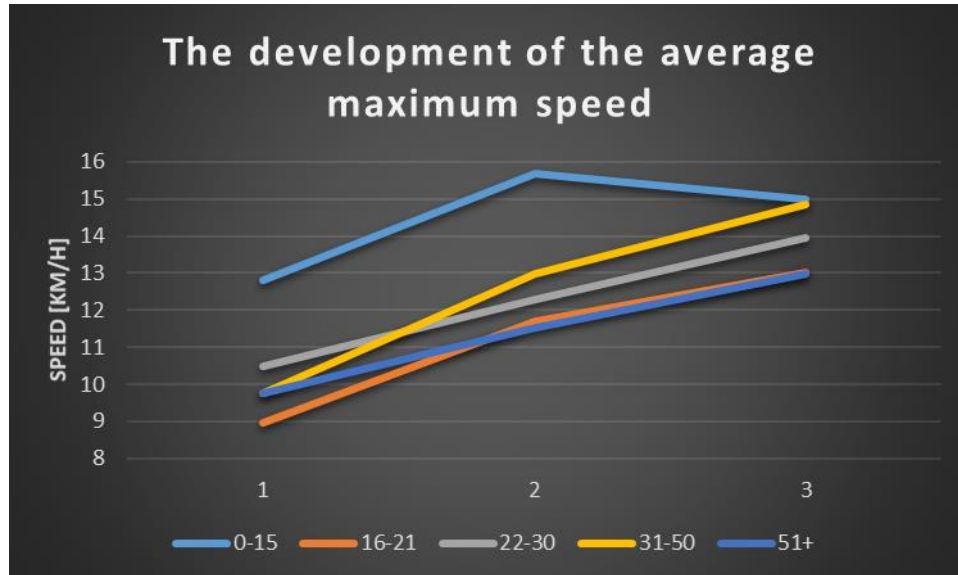


Fig. 8 Development of the speed of all riders

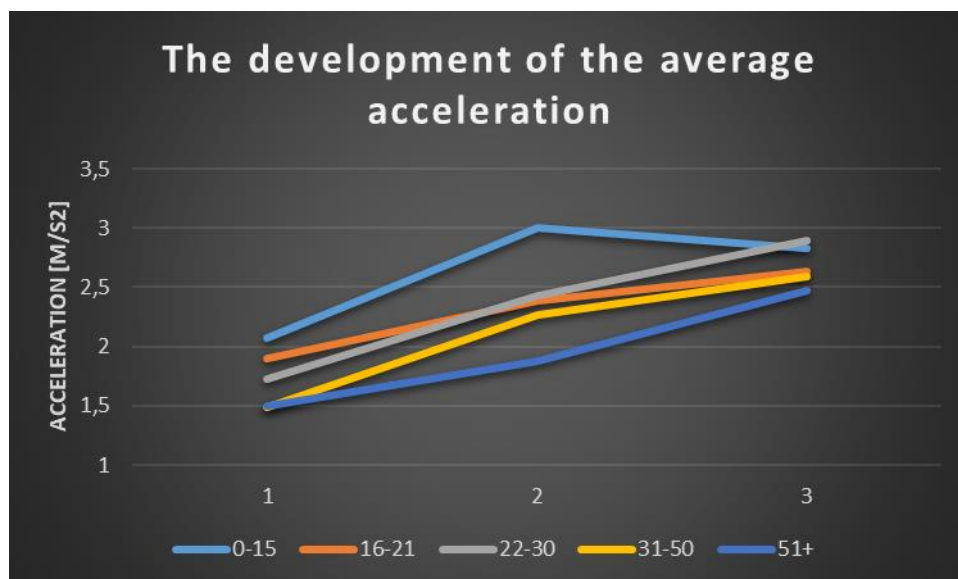


Fig. 9 Development of the acceleration of all riders

On charts we can see the development of individual characteristics of moves of all the drivers.

Next results of the experiment:

- A person, who has more experience with driving, drives less safely than beginner. It is caused because the person is more confident and is not afraid to go beyond the limits. The person stops to act like this, while it finds the limits of the PT and starts

to think more about its ride, how to make ride more comfortable. If both of the drivers had to move with speed of walking, these differences would disappear.

- Men are usually better drivers of the PT and are more determined to try new things. Their results are better and rate of improvement is better, too.
- Children usually get better in driving the PT just after a short while. This is caused because they are not afraid of hurting themselves. The oldest participants of the experiment behaved almost the same.

Acknowledgement

This work was supported by the Grant Agency of the Czech Technical University in Prague, grant No. SGS16/255/OHK2/3T/16 „Jednostopá vozidla a osobní přepravník – měření dynamiky a vlivu různých faktorů“.

References

- [1] Historie SEGWAYE [online]. [cit. 2015-08-10]. Retrieved from: <http://segwaypt.cz/segway-historie>
- [2] Centre for Electric Vehicle Experimentation In Québec (CEVEQ). *Pilot Project for Evaluating the Segway™ HT Motorized Personal Transportation Device in Real Conditions*. [online] [cit. 2018-09-10]. Retrieved from: <http://www.segway.com/media/1240/14567e.pdf>
- [3] Victoria Transport Policy Institute. *Managing Personal Mobility Devices (PMDs) On Nonmotorized Facilities* [online] [cit. 2018-09-10]. Retrieved from: http://www.vtpi.org/man_nmt_fac.pdf
- [4] Federal Highway Administration. *Characteristics of Emerging Road Users and Their Safety*. [online] [cit. 2018-09-10]. Retrieved from: <http://www.segway.com/media/1263/04103.pdf>
- [5] Pourmand A, Liao J, Pines JM, Mazer-Amirshahi M. *Segway Personal Transporter-Related Injuries: A Systematic Literature Review and Implications for Acute and Emergency Care*. [online] [cit. 2018-09-03]. Retrieved from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29321106>
- [6] Airwheel S3 Self-balancing electric scooter_Airwheel S3 Specs [online]. [cit.2018-09-03]. Retrieved from: <https://www.airwheel.net/home/specs/s30>

Zvyšování konkurenční schopnosti pomocí metody LCC

Jan Voglⁱ

Abstrakt: Příspěvek se zaměřuje na problematiku analýzy nákladů životního cyklu produktu, která je ve světě známá pod názvem Life Cycle Costing (LCC). Tento nástroj poskytuje výrobcí důležité vstupní údaje při procesu rozhodování v etapách návrhu a vývoje, v etapě provozu a na konec při jeho likvidaci. Aplikací modelu LCC se vytvoří podmínky vhodné pro aktivizaci inovačního potenciálu, tedy efektivnější využívání vnitřních zdrojů podniku, dále pak pro obnovení a modernizaci zastaralých strojírenských výrobků.

Klíčová slova: analýza LCC, inovace, náklady, produkt, konkurenceschopnost, zastarávání, kolejové vozidlo

Abstract: The contribution focuses on Life Cycle Costing, a well known worldwide as Life Cycle Costing (LCC). This tool provides producer important input data in the decision-making process of research and development phase, operation phase and at the end of disposal phase. Applying the LCC model will create conditions suitable for activating the innovation potential, more efficient use of internal resources of the company, as well as for the renewal and modernization of outdated engineering products

Keywords: LCC analysis, innovation, cost, product, competitiveness, obsolescence, rolling stock

1. Úvod

Mezi prvořadé úkoly v dnešní době v oblasti kolejových vozidel patří jejich obnova, inovace a modernizace výrobních kapacit k efektivnějšímu využívání zdrojů a zvýšení jejich konkurenceschopnosti. Pro jejich jednotlivé odběratele to znamená získání nových konkurenčních výhod, vytváření inovativního prostředí pro dosažení optimální kombinace ceny a kvality dopravních služeb.

Při komplexním hodnocení efektivnosti inovací je třeba hodnotit jejich vliv na všechny fáze životního cyklu výrobku. Vědecký a technický pokrok totiž zkrátil životní cyklus mnoha výrobků. Zároveň vysoká složitost technických produktů vede k tomu, že hlavní část budoucích provozních nákladů kolejového vozidla se tvoří a ovlivňuje již ve stádiích jeho vývoje.

Vytvoření efektivního systému řízení nákladů pro odběratele začíná již v procesu samotného vzniku kolejového vozidla. Jádrem samotného procesu je sběr a analýza veškerých nákladů, které se týkají celoživotního cyklu produktu. V tomto smyslu nejsou určující pořizovací náklady produktu, ale především náklady na jeho provoz, údržbu a likvidaci. Souhrn výše uvedených nákladů může být i několikanásobně vyšší než jeho pořizovací cena. Na základě celkového vyhodnocení nákladů v jednotlivých fázích životního cyklu produktu je nutné vybrat ekonomicky nejvhodnější variantu kolejového vozidla dle specifických požadavků odběratele.

ⁱ Ing. Jan Vogl, ČVUT FD, Ústav aplikované informatiky v dopravě, Konviktská 20, 110 00 Praha 1, vogljan@fd.cvut.cz

V tomto ohledu souhrnné hodnocení nákladů životního cyklu (Life cycle costing - LCC) slouží jako důležitý nástroj pro kontrolu nákladů životního cyklu výrobku v jeho různých etapách.

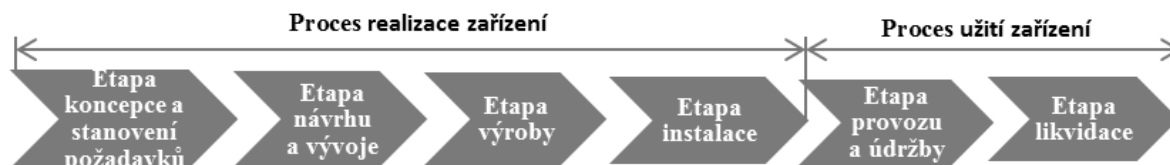
Technika nákladů životního cyklu má za cíl stanovit celkové náklady na vlastnictví určitého produktu. Výsledky analýzy LCC mohou být uplatněny při managementu a rozhodování, kdy probíhá výběr optimální varianty z několika možných řešení. LCC analýza nákladů má zvážit nejenom časové posouzení faktorů ovlivňujících spolehlivost zařízení, náklady na likvidaci a vyřazení zařízení, ale také vliv údržby a oprav prováděné během životnosti, náklady z odpovědnosti za škody způsobené zařízením apod. Tyto náklady bývají opomíjeny z nevědomosti jejich vzniku, dosud chybějící metodiky určování jejich výše, z nepovinnosti jejich vykazování nebo z pouhé pohodlnosti. Výše uvedené nákladové skupiny mohou hrát při výpočtech často velmi důležitou roli, neboť některé z nich v určitých případech nabývají významných hodnot. Snahou je tedy nalezení takového řešení, při kterém budou minimalizovány celkové náklady vlastnictví neboli náklady životního cyklu produktu.

Pro provedení analýzy LCC je třeba mít k dispozici široké spektrum dat. Jedná se především o informace z projektové dokumentace, o zamýšleném provozu, požadavcích na údržbu, scénáři oprav, požadavcích na úklid, nákladech spojených s ukončením životnosti produktu apod. Podniky zpravidla ve svém portfoliu mají dostatek nákladových dat, nicméně jejich využití v analýze LCC bývá problematické, protože většinou nejsou k dispozici v žádaném objemu či struktuře, mohou být nekompletní, neaktuální nebo zastaralé, případně nevhodné pro řešení problému.

2. Etapy životního cyklu produktu

Pro analýzu nákladů životního cyklu je vhodné rozdělit celou dobu životnosti produktu do jednotlivých, konkrétně vymezených etap, které jsou charakterizovány určitým typem nákladů, které jsou v průběhu etap životnosti vynakládány. Dle technické normy „Management spolehlivosti - Část 3-3. ČSN EN 60300-3-3“ existuje 6 hlavních etap životního cyklu produktu, které jsou nazvány následovně:

- a/ etapa koncepce a stanovení požadavků,
- b/ etapa návrhu a vývoje,
- c/ etapa výroby,
- d /etapa instalace,
- e /etapa provozu a údržby,
- f/ etapa vypořádání (likvidace).



Obr. 1 Etapy životního cyklu produktu

2.1. Etapa koncepce a stanovení požadavků

Nejprve se stanoví základní nároky na zamýšlený produkt – spolehlivost, program údržby a oprav atd. Rozhodnutí provedená v této etapě mají největší vliv na výrobek a náklady životního cyklu.

2.2. Etapa návrhu a vývoje

V této etapě vzniká výrobní dokumentace zařízení, probíhá sestavení prototypu, vznikají technické a výkresové dokumentace potřebné k údržbě a zkoušení zařízení. Zapojení odběratele do této fáze je podstatné, a to z důvodu nastavení technických parametrů na budoucí údržbu zařízení.

2.3. Etapa výroby

Zde se zařízení vyrábí, sestavuje a provádí odpovídající testy a zkoušky. Jednotlivé činnosti mají v této etapě za cíl zajistit, aby parametry zařízení, dosažené během návrhu a vývoje, nebyly v průběhu výrobního procesu znehodnoceny.

2.4. Etapa instalace

Tato etapa je závislá na charakteru zařízení a typu zákazníka. Zahrnuje úkony a operace spojené s předáním zařízení uživateli, předvádění, školení, záběh, testování, uvedení do provozu, odstraňování počátečních poruch apod.

2.5. Etapa provozu a údržby

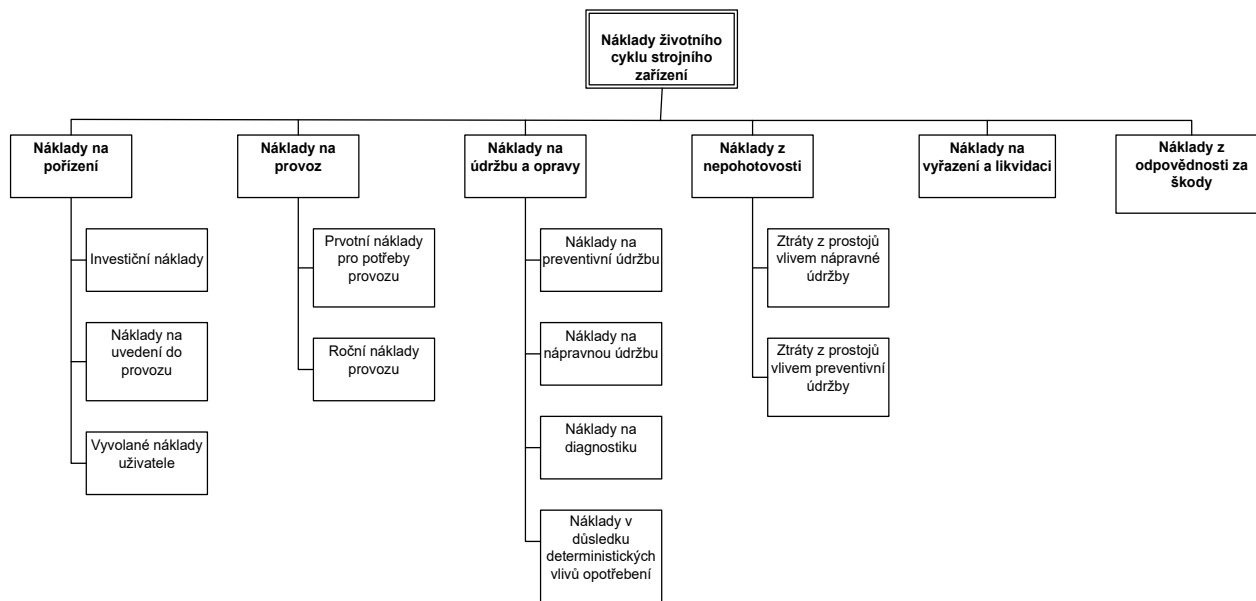
Vzhledem k výše vyjmenovaným etapám se jedná z časového hlediska jak o nejvýznamnější část v rámci celého životního cyklu produktu, tak i v rámci jeho celkových nákladů. Zatímco pořizovací (vlastnické) náklady jsou dobře viditelné a mohou tedy být snadno zváženy před samotnou koupí např. kolejového vozidla, hlavním problémem jsou náklady vlastnické. Tyto náklady u kolejového vozidla, které se provozuje až 30 let, přesahují pořizovací hodnotu. Proto už na samém počátku návrhu produktu je nutné pečlivě zvážit všechny aspekty, které budou mít podstatný dopad na spolehlivost samotného produktu. Spolehlivost je komplexní vlastnost, která zahrnuje dílčí spolehlivostní vlastnosti, jako např. bezporuchovost, životnost, udržovatelnost, skladovatelnost apod.

2.6. Etapa likvidace

V poslední etapě je zařízení vyřazeno z provozu – následuje jeho demontáž a fyzická likvidace. I v této etapě je vyřazené zařízení cenný zdroj nových a potřebných informací pro následné inovace ke zvýšení úrovně spolehlivosti.

3. Provedení analýzy nákladů životního cyklu zařízení

Úspěšnost použití analýzy nákladů životního cyklu produktu však předpokládá úzkou spolupráci dodavatele a odběratele, což platí u všech produktů, kde je klíčová kvalita a především spolehlivost výrobků. Vyhodnocení nákladů životního cyklu má sloužit jako ekonomický stimul pro výrobce, aby zlepšil kvalitu svých výrobků, a tím se také zaktivizoval inovační proces. Rozdělení nákladů vznikajících po dobu životnosti zařízení z hlediska odběratele.



Obr. 2 Úplný strom nákladů životního cyklu zařízení z pohledu vlastníka

Pro aplikaci analýzy nákladů životního cyklu je nezbytné vytvořit matematický model. Při jeho vytváření vycházíme z podrobně rozebraných nákladových položek (viz diagram výše), které následně matematicky popíšeme.

4. Inovační proces

Inovace produktu a dosažení jeho žádané spolehlivosti je klíčovým úkolem pro udržení konkurenceschopnosti výrobních společností na trhu. V této souvislosti je třeba vyrábět především spolehlivé a hospodárné vozidlo. Toho je možno dosáhnout pouze inovacemi a úzkou spoluprací při vývoji a výzkumu právě mezi dodavatelem a odběratelem. Technické řešení produktu má nejen vliv na jeho pořizovací cenu, ale především na jeho provozní náklady.

Hlavní směry inovací, například v oblasti kolejových vozidel, jsou zlepšení řízení dopravního procesu, udržitelný rozvoj přepravní infrastruktury, rekonstrukce a modernizace vozového parku, zvýšení spolehlivosti a prodloužení životnosti zařízení, rozvoj vysokorychlostní železniční dopravy, zlepšení kvality dopravy, zvýšení ekonomické efektivity kolejové dopravy, koordinace a řízení jednotlivých aktivit v dopravním podniku.

V posledních letech dopravní společnosti při modernizaci kolejových vozidel na základě inovačního procesu stále častěji využívají přístup založený na teorii životního cyklu. Všechny části inovačního procesu - vědecký výzkum, konstrukční a technologický vývoj, investiční

zdroje, výrobní kapacity a organizační struktury - jsou ve vyspělých ekonomikách podřízeny stejnému cíli, a to vytvoření a podporování inovací.

5. Zastarávání

Nedílnou součástí každého produktu v rámci životního cyklu je jeho zastarávání. Ve světě je tento pojem označován slovem „obsolescence“. Znehodnocení produktu, například strojů a zařízení, způsobené funkčním zastaráváním je důsledkem vzniku nových technologií. Rozvoj vědy, vývoj nových technologií vede k tomu, že v důsledku funkčního zastarávání jsou celé generace zařízení vyřazovány z výroby a jsou nahrazeny novými. Ztráty je možné snížit zlepšením stávajících zařízení. Limity modernizace jsou dány technickými možnostmi a rozdílem v hodnotách nového a modernizovaného starého vybavení.

Nejčastěji se setkáváme s funkční zastaralostí. Jedná se o snížení zájmu spotřebitelů o některé vlastnosti zařízení v důsledku rozvoje nových technologií ve výrobě podobných strojů a zařízení. V důsledku takového snížení zájmu spotřebitelů dochází k faktickému znehodnocení zařízení, které ztrácí hodnotu. Funkční zastarávání vzniká vlivem příchodu nových modernějších konkurenčních zařízení, a nikoliv postupně jako fyzické opotřebování. Důvody funkčního zastarávání u strojů a zařízení mohou být např. změny technických parametrů, nároky na větší šetrnost k životnímu prostředí, změny ergonomie, nadměrné provozní náklady, moderní design atd., které se projeví v jejich technologickém zastarávání.

6. Závěr

Je známo, že pořizovací cena, např. kolejového vozidla, často tvoří pouze malý podíl z celkových nákladů vlastnictví. Nejpodstatnější část celkových nákladů tvoří náklady na jeho provoz a údržbu. Proto je důležité pečlivě zvažovat pořízení produktu, až na základě provedení detailní analýzy celkových nákladů vlastnictví a nerozhodovat se jen podle nejnižší nabídnuté ceny. Se znalostí jednotlivých etap životního cyklu produktu, a tím i nákladů s ním spojených, je snazší učinit všechna strategická rozhodnutí již dříve.

Aby Česká republika do budoucna obstála v globální konkurenci, musí se zaměřit na výrobu produktů s vyšší přidanou hodnotou. V této souvislosti je třeba se zaměřit zejména na takzvaný inteligentní růst založený na posilování znalostí a inovací.

Literatura

- [1] MYKISKA, A. *Spolehlivost technických systémů*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2000. 177 s. ISBN 80-01-02079-7.
- [2] SKOKAN, K. *Konkurenceschopnost, inovace a klastry v regionálním rozvoji*. Ostrava: Repronis, 2004. 160 s. ISBN 80-7329-059-6.
- [3] KÖRNER, O.; PÍCL, M.; ŠTÍPEK, V.; VOGL, J. *Analýza podpory ekonomického růstu prostřednictvím stimulace investic*. Praha: Úřad vlády České republiky, 2016. 65 s. ISBN 978-80-7440-155-8.
- [4] GUANGBIN, Y. *Life Cycle Reliability Engineering*. New Jersey: John Wiley and Sons, 2007. 511 s. ISBN 978-0-471-71529-0.

- [5] KONG, J. S.; FRANGOPOL, D. M. Cost-Reliability Interaction in Life-Cycle Cost Optimization of Deteriorating Structures. In: *Journal of Structural Engineering*. 2004. 1704-1712 s. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9445(2004)130:11(1704).
- [6] WOODWARD, D. G. Life cycle costing – theory, information acquisition and application. In: *International Journal of Project Management*, 1997. 335-344 s. DOI: 10.1016/S0263-7863(96)00089-0.
- [7] ČSN EN 60300-3-3: *Management spolehlivosti – část 3-3: Pokyny použití- Analýza nákladů životního cyklu*. Praha: Český normalizační institut, 2004. 60 s.
- [8] ČOS 051659. *Pokyny NATO pro analýzu nákladů životního cyklu*. Praha: Úřad pro obrannou standardizaci, katalogizaci a státní ověřování jakosti, 2010. 74 s.

Optimální technické parametry železniční dopravní cesty pro dosažení požadované provozní koncepce

Tomáš Javoříkⁱ, Pavel Purkartⁱⁱ, Lukáš Týfaⁱⁱⁱ, David Vodák^{iv}

Abstrakt: Železniční doprava tvoří jeden ze subsystémů dopravy, který zajišťuje dopravní obslužnost regionů v osobní dopravě a který je vhodný zejména pro silné přepravní proudy; přitom pro její využitelnost je klíčová atraktivní cestovní doba, jí odpovídající komfort, spolehlivost a cena. Pro dosažení těchto požadavků jsou rozhodující jak technické parametry železniční dopravní cesty a vozidel, tak aplikovaná provozní koncepce v dané relaci. Tyto požadavky se přitom střetávají a je nutné řešit jejich vzájemné provázání. Typicky můžeme polemizovat o známém problému optimálního dosahování taktových uzlů, o nastavení optimální zastavovací politiky, o konkrétním modelu provozu na jednotlivých částech železniční sítě, o vhodném dimenzování nasazených souprav či oběhů nebo o parametrech dopravní infrastruktury samotné. Článek postihuje tyto problémy a zabývá se stavem jejich řešení, a to jak v českém, tak zahraničním pojetí. V druhé části článek popisuje možné problémy k dalšímu vědeckému zkoumání, které dle dostupných zdrojů informací nejsou zatím dostatečně rozvinuty a zaslouží si pozornost.

Klíčová slova: železniční dopravní cesta, dopravní koncepce, cestovní doba, dopravní obslužnost

Abstract: The railway transportation is a subsystem, which ensures transport accessibility of the regions. This subsystem is mainly suitable for strong transport flows. Its suitability is mainly influenced by following requirements: travel time, comfort, reliability and price. Those requirements are connected with technical parameters of the railway infrastructure and vehicles and traffic conception on particular transport connection. Those demands are often interfering and we have to solve their proper linking. There are many related famous problems: optimal reaching of nodes, setting of optimal stopping policy, particular traffic model on individual parts of the infrastructure, optimal capacity and use of vehicles and parameters of railway infrastructure itself. The article considers all of these problems and their possible solutions in Czech or foreign areas. Second part of the article describes possible problems for another scientific research, that have not been sufficiently researched yet (according to available resources).

Keywords: railway infrastructure, transport conception, travel time, transport accessibility

1. Vědecká závažnost problému

Dopravní infrastruktura v území bezprostředně ovlivňuje formování regionů, resp. atraktivita napojení regionálních center formuje rozsah a podobu příslušné spádové oblasti (zázemí regionálního centra). Toto formování je dáno rozhodováním domácností o místě bydliště,

ⁱ Ing. Tomáš Javořík, ČVUT v Praze Fakulta dopravní, Ústav dopravních systémů, Horská 3, 128 03 Praha 2, javorik@fd.cvut.cz

ⁱⁱ Ing. Pavel Purkart, ČVUT v Praze Fakulta dopravní, Ústav dopravních systémů, Horská 3, 128 03 Praha 2, purkapav@fd.cvut.cz

ⁱⁱⁱ doc. Ing. Lukáš Týfa, Ph.D., ČVUT v Praze Fakulta dopravní, Ústav dopravních systémů, Horská 3, 128 03 Praha 2, tyfal@fd.cvut.cz

^{iv} Ing. David Vodák, ČVUT v Praze Fakulta dopravní, Ústav dopravních systémů, Horská 3, 128 03 Praha 2, vodakdav@fd.cvut.cz

prostorovým chováním klientů při volbě „nadmístních“ zařízení občanského vybavení i rozhodováním podnikatelských subjektů o umístování jejich podniků a provozoven.

S rozvojem dopravní infrastruktury se zvětšuje dosažitelnost území v určitém časovém limitu. Vyšší komfort dopravy může prodlužovat čas, který je cestující ještě ochoten strávit dopravou. Patrné je to v místech, která se nacházejí v přímém kontaktu s kapacitními dopravními systémy, respektive jejich obslužnými body, jakými jsou například stanice a zastávky na významných železničních tratích či nájezdy na dálnice. Zvláště zvýhodněna jsou místa, která nabízejí rychlé spojení do více směrů anebo více druhů dopravy. V případě veřejné hromadné dopravy (VHD) je navíc důležitým faktorem frekvence spojení a časové a prostorové vazby v případě přestupů [5].

Jelikož článek je zaměřen především na železniční dopravní cestu, je zde nutné vnímat výše zmíněné v tomto kontextu. Současný stav v ČR je takový, že neexistuje jednotný rozhodovací nástroj optimální podoby železniční infrastruktury dle provozní koncepce. Už jen v pohledu na optimální provozní koncepci v osobní železniční dopravě se výrazně liší pohledy jednotlivých objednatelů (kraje, MD ČR – tyto zkušenosti mají někteří autoři tohoto článku i na základě tvorby studií pro vybrané kraje) a neexistují žádná pravidla, jak optimalizovat objednávku železničních spojů v závazku veřejné služby ve vztahu k technickým parametrům železniční infrastruktury a maximalizaci uspokojení přepravních potřeb v území. Tato relevance platí i pro optimální návrh technických parametrů železniční infrastruktury s ohledem na cílovou provozní koncepci.

2. Zkušenosti prolínající vhodné parametry železniční dopravní cesty a optimální provozní koncepci

V rámci grantu SGS ČVUT v Praze *Technické parametry železniční dopravní cesty pro optimální provozní koncepci*, na kterém pracuje autorský tým článku, jsou posuzovány podmínky a stavy železniční dopravní cesty v souvislosti s dosažením vhodné provozní koncepce na ní, tj. za účelem docílení racionální dopravní obslužnosti území.

2.1. Smíšený provoz a dvousystémová vozidla

V evropských velkoměstech existují většinou vedle sebe dva plně vybudované a technicky vyvinuté kolejové systémy – obvykle městská kolejová doprava, zahrnující další subsystémy, a konvenční železnice. Jejich parametry sítě a vozidel, energetická koncepce systému a provoz jsou často založeny na odlišných technologiích. Proto bývají tyto sítě separované a obvykle dochází ke zřízení přestupu pro cestující na poměrně málo místech. Při přestupu mezi systémy musí cestující často překonávat dlouhé vertikální i horizontální vzdálenosti, což není samozřejmě komfortní. Výsledkem tohoto uspořádání je i skutečnost, že cestující nemohou cestovat v důležitých relacích bez přestupu. Prodloužení cestovní doby je i proto výsledkem nutnosti přestupu. To má negativní dopad na atraktivitu a kvalitu systému, především ve srovnání s individuální automobilovou dopravou.

Výše jmenované nevýhody se dají odstranit nebo omezit, pokud vozidla různých provozovatelů mohou přecházet mezi jednotlivými sítěmi různých dopravních systémů. Tím není přestup nutný a cestujícím je zajištěno přímé spojení. V kombinaci s možností užití integrovaného jízdového mají tyto systémy vysoký přínos ve veřejné dopravě. Z hlediska provozu se vozidla uvnitř města pohybují na síti městské rychlodráhy nebo tramvaje a v regionu na síti konvenční železnice. Podle jednotlivých koncepcí návrhů tak vznikají dva druhy systémů:

- systém městské dráhy podobný systému S-Bahn (tram-train),
- systém S-Bahnu podobný městské dráze (train-tram).

V Německu jsou lehké kolejové systémy různých kategorií provozovány v současnosti v osmnácti městech. Zvláštní formou je smíšený provoz s klasickou železnicí s využitím dvousystémových vozidel za účelem provozu v režimu městské rychlodráhy v oblasti města a na elektrizovaných tratích na železniční síti v okolí. Pro všechny kategorie je jeden aspekt společný: v jednotlivých městech zřetelně zlepšily nabídku veřejné hromadné dopravy a obyvatelé těchto lehkých kolejových systémů významně využívají – počty přepravených cestujících veřejnou dopravou se mnohokrát znásobily [4].



Obr. 1 Vlakostramvaj projíždějící Rüppurrer Straße v Karlsruhe (zdroj: vlastní)

2.2. Problematika omezení obsluhy vybraných bodů za účelem dosažení systémové nabídky

Tato problematika obecně souvisí se dvěma požadavky souvisejícími přímo s kvalitou dopravní obsluhy. Tyto požadavky jsou následující:

- zkrácení cestovních dob (obecně je nutné vycházet ze skutečnosti, že na tratích s kvalitními parametry znamená každé zastavení zpravidla 1–3 minuty na cestovní době navíc v závislosti na traťové rychlosti a délce pobytu spoje; což při projetí více zastávek/železničních stanic může u vybraných spojů zajistit časové úspory až v řádu desítek minut),
- dosažení uzlů v integrálním taktovém jízdním řádu, které by jinak nebylo možné.

Tato praxe je známá jak ze zahraničí, tak v českém měřítku. V Německu je možné zaměřit se například na úsek Regensburg – Schwandorf. V dnešní době jsou v tomto úseku u vybraných vlaků pouze dvě mezilehlá místa zastavení (Regenstauf a Maxhütte-Haidhof). V roce 1944 bylo přitom těchto míst dokonce osm. Fakticky tak došlo k významné, a to úplné redukci míst zastavení v šesti případech, a to jak v důsledku jejich nízkého vyžívání cestujícími, tak kvůli dosahování systémových jízdních dob mezi uzly v integrálním taktovém jízdním řádu. Podobnou situaci bychom našli i na sousední trati Schwandorf – Furth im Wald. Přestože i zde

vybraná místa již neslouží k přepravním potřebám v osobní dopravě, je možné je využívat k dopravním úkonům (zejm. křížování a předjíždění vlaků).



	von
Regensburg Hbf	880,993
Regenstauf	
Maxhütte-Haidhof	
Schwandorf	870

Obr. 2 Výřezy z jízdního řádu v letech 1944 a 2018 v traťovém úseku Regensburg – Schwandorf (zdroj: <http://pkjs.de/bahn/Kursbuch1944> a <http://kursbuch.bahn.de>, cit. 5. srpna 2018)

V českém měřítku jsou také známé případy, kdy došlo k výraznějšímu omezení obsluhy zastávek, resp. preference spěšných vlaků (často v kooperaci s dálkovou dopravou) nad osobními vlaky s významným přínosem zatraktivnění systému pro cestující (např. tratě dle čísel v KJR 026, 032 či 170 nebo od GVD 2018/19 v plánu u trati 086). Zatímco tak v německém měřítku již v minulosti došlo k úplnému zrušení obsluhy vybraných bodů, v českém pojetí dochází spíše k částečnému (ať méně či více významnému) omezení zastavení ve vybraných místech a německá praxe se spíše zatím nevyužívá.

Z výše uvedeného plyne, že neexistují jasná pravidla ke zřizování zastávek či opuštění jejich obsluhy, a to zejména v českých podmínkách, přičemž jsou patrné rozdíly v přístupech k této problematice v jednotlivých zemích. V Německu pravidla do značné míry stanovena jsou, ale i zde se uplatňuje nejen odborná stránka, ale roli hraje též aktuální politická situace a vliv jednotlivých zájmových skupin. To se netýká pouze zastávek, ale formy zajištění dopravní obslužnosti území obecně.

2.3. Zkušenosti z přípravy vysokorychlostní trati High Speed Two

Pro dosažení optimální provozní koncepce v území mohou přirozeně sloužit i vysokorychlostní tratě.

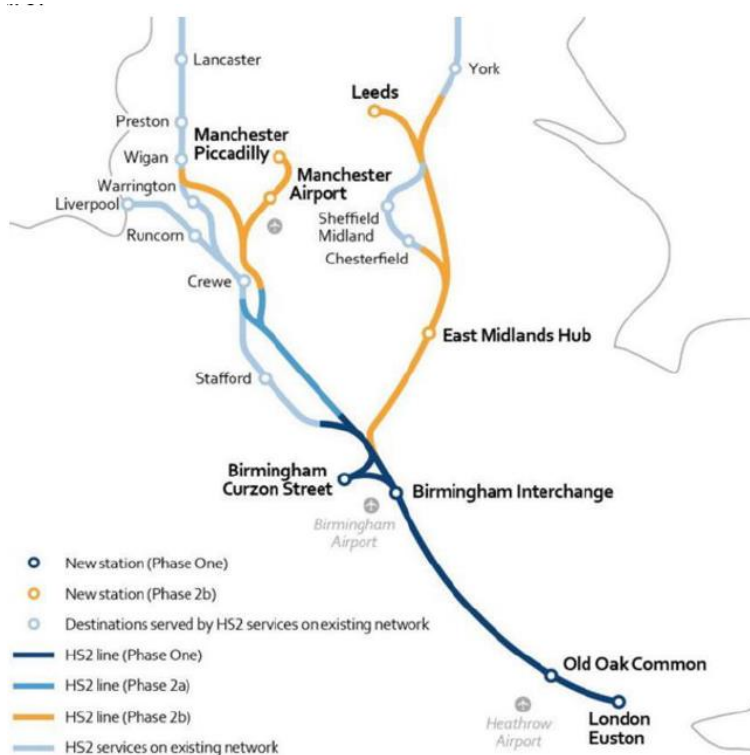
Cenné zkušenosti nabízí příprava výstavby vysokorychlostních tratí (VRT) ve Velké Británii pod názvem High Speed Two. Přípravovaná vysokorychlostní trať HS2 (číslovka dva v názvu, resp. zkratce, odkazuje na již provozovanou VRT v Británii HS1, která propojuje Londýn s podmořským tunelem pod kanálem La Manche) má především za úkol navýšit kapacitu pro osobní vlaky a zrychlit jejich jízdu v relaci z hlavního města Londýna na severozápad do oblasti tzv. West Midlands, v další fázi se pak VRT má rozvést na sever.

V rámci projektu High Speed Two (dále jen HS2) by mělo dojít k vybudování vysokorychlostní železniční sítě ve tvaru písmene „Y“ mezi Londýnem a severní částí Velké Británie (viz mapa na obrázku 3) [1].

Přehled výběru trasy a návrhové rychlosti nové vysokorychlostní trati HS2 v 1. etapě, tj. v relaci Londýn – West Midlands je popsán v dokumentu společnosti HS2 Limited „Review of HS2 London to West Midlands Route Selection and Speed: A report to Government by HS2 Ltd“ [2], který je zpracován jako doporučení pro vládu Spojeného království, která má rozhodovací pravomoci o definitivní podobě nové vysokorychlostní železniční trati a který se zabývá:

- procesem výběru trasy

- výzkumem současných přepravních koridorů
- maximální návrhovou rychlostí trati
- alternativami obsluhy letiště Heathrow
- možnostmi vybudování alternativních žel. stanic a jejich podobou
- propojením mezi současnou sítí a navrhovanou VRT
- propojením VRT s tratěmi „West Coast Main line“ a „Crossrail“
- výsledkem průzkumu veřejného mínění, který byl proveden v roce 2011 a kterého se zúčastnilo zhruba 55 000 respondentů



Obr. 3 Situace plánované vysokorychlostní sítě projektu HS2 (zdroj: <http://www.bbc.com/news/uk-16473296>)

Trasa sleduje již existující dopravní koridory, a v maximální možné míře tedy kopíruje i trasu existujících dálnic mezi Londýnem a Birminghamem. Během návrhu byly respektovány čtyři principy udržitelného rozvoje, které jsou součástí strategie udržitelného rozvoje, kterou pod názvem „Securing the Future: Delivering UK sustainable development strategy“ vydalo v roce 2005 Ministerstvo životního prostředí Spojeného království:

- snižování emisí skleníkových plynů a boj proti změnám klimatu
- ochrana a rozvoj přírodních zdrojů
- tvorba udržitelných společenství
- udržitelná spotřeba a produkce

Za účelem dodržení těchto čtyř principů bylo například nutné vyhnout se nebo – pokud to nebylo možné – minimalizovat poškození přírodního společenství, krajiny, vodních zdrojů,

historických a kulturních památek a zároveň v maximální možné míře využít příležitostí pro jejich zlepšení [3].

3. Problémy pro další výzkum

3.1. Model racionální distribuce jednotlivých segmentů dopravy na dopravní cesty

Jako aktuální a zajímavá otázka kombinující výše uvedené problémy se jeví hledání optimálního využití jednotlivých dopravních cest ve vztahu k veřejné hromadné dopravě (a částečně ve vztahu např. k potřebnosti dopravních cest i pro jiné druhy dopravy než veřejné hromadné, tj. především nákladní).

K problematice možnosti kooperace jednotlivých druhů veřejné hromadné dopravy také významně přispívá kvalita dopravních cest, a to nejen z hlediska jejich parametrů, ale též hospodárného využívání jejich kapacity (zmíněno výše) a tím druhotně zajištění stability celého systému.

Klíčová je přitom provázanost jednotlivých segmentů veřejné hromadné dopravy a dosažení síťového efektu celého systému veřejné hromadné dopravy s přihlédnutím k atraktivním cestovním dobám. Model by tak měl zohledňovat široké spektrum parametrů, například:

- význam jednotlivých dopravních cest pro jednotlivé segmenty veřejné hromadné dopravy,
- nastavení optimální obsluhy území jednotlivými segmenty veřejné hromadné dopravy (otázka tzv. zastavovací politiky apod.),
- technicko-provozní parametry jednotlivých dopravních cest a jejich možnosti ve vztahu k zajištění dopravní obslužnosti území,
- nasazený vozový park (mezi starými a novými vozidly jsou zejména v jejich dynamice a technických parametrech významné rozdíly, které mohou ovlivnit i hospodárné využívání kapacity dopravní cesty či atraktivitu cestovních dob),
- charakter osídlení území a tím potenciál pro veřejnou dopravu.

Model by měl pak vycházet i z myšlenky, že zejména kapacita železniční dopravní cesty je zásadně omezující a mělo by být cílem i její hospodárné využívání. Autorský tým tak předpokládá sestavení tohoto modelu, který je zatím ideově připravován.

3.2. Model návrhu linkového vedení na liniové železniční síti

Úkolem je obsloužit liniovou síť jednou či více linkami tak, aby při dostatečném pokrytí přepravní poptávky v jednotlivých úsecích sítě, vzhledem k linkovému intervalu a druhu nasazené soupravy byly náklady všech linek co nejmenší, přičemž je rozhodující i směrovost přepravních proudů na síti.

Takto vymezený problém přiřazení linek na liniovou železniční síť je možno aplikovat při splnění uvedených podmínek i na jiné druhy dopravních systémů.

Konstanty vstupující do modelu shrnuje následující tabulka 1.

Tab. 1 Konstanty vstupující do modelu linkového vedení na líniové železniční síti

konstanta	definice
n [-]	počet uzlů líniové síti
p_{ij}	přepravní poptávka mezi uzly líniové síti $i = 1, \dots, (n - 1)$ a
[místo/h]	$j = (i + 1), \dots, n$
r [-]	počet intervalů na linkách
d_{ij} [km]	délka linky z uzlu $i = 1, \dots, (n - 1)$ do uzlu $j = (i + 1), \dots, n$
s [-]	počet typů souprav
t_a [min]	hodnota linkového intervalu $a = 1, \dots, r$
c_b	náklady na 1 vlakový kilometr soupravy typu $b = 1, \dots, s$
[Kč/vlkm]	
k_b [místo]	kapacita (počet míst) soupravy typu $b = 1, \dots, s$

Proměnnou je rozhodnutí, které se při řešení modelu očekává. Jeho definiční obor závisí na povaze rozhodnutí. V definovaném modelu jde o kladné, či záporné rozhodnutí o zavedení linky (resp. linek) e_{ijab} k obsluze líniové síti. Z tohoto důvodu má proměnná definiční obor binární, tj. nabývá hodnoty buď 0, nebo 1.

Matematický model dle (1) optimalizuje linkové vedení tak, že **minimalizuje optimalizační kritérium**, kterým jsou celkové provozní náklady na obsluhu líniové síti během jedné hodiny, přičemž je uvažována obecně hodina špičková.

$$\min f(e) = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \sum_{a=1}^r \sum_{b=1}^s \frac{60 \cdot d_{ij} \cdot c_b}{t_a} e_{ijab} \quad (1)$$

Omezující podmínky modelu jsou uvedeny v (2) až (5).

$$\sum_{a=1}^r \sum_{b=1}^s e_{ijab} \leq 1 \quad \text{pro } i = 1, \dots, (n - 1) \quad (2)$$

$$a j = (i + 1), \dots, n$$

$$\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \sum_{a=1}^r \sum_{b=1}^s e_{ijab} \leq H \quad (3)$$

$$\sum_{u=1}^i \sum_{v=i+1}^n \sum_{a=1}^r \sum_{b=1}^s \frac{60 \cdot k_b}{t_a} e_{uvab} \geq \sum_{u=1}^i \sum_{v=i+1}^n p_{uv} \quad \text{pro } i = 1, \dots, (n - 1) \quad (4)$$

$$e_{ijab} \in \{0; 1\} \quad \text{pro } i = 1, \dots, (n - 1), \quad (5)$$

$$j = (i + 1), \dots, n,$$

$$a = 1, \dots, r \text{ a } b = 1, \dots, s$$

Skupina omezujících podmínek (2) zajistí, že pokud bude linka z uzlu $i = 1, \dots, (n - 1)$ do uzlu $j = (i + 1), \dots, n$ v provozu, potom na tuto linku bude nasazen právě jeden typ soupravy a jejím spojům bude přidělen právě jeden takt.

Omezující podmínka (3) zajistí, že v provozu bude maximálně H linek. Tento požadavek může vyplynout například od objednatele regionální dopravy či organizátora integrovaného dopravního systému, případně z některých dalších technicko-provozních omezení.

Skupina omezujících podmínek (4) zajistí, že nabídka míst ve všech spojích bude na každém úseku modelované sítě dostatečná, tzn. že poptávka bude dostatečně pokryta dopravní nabídkou všemi provozovanými spoji při daném intervalu a nasazeném typu souprav.

Skupina omezujících podmínek (5) vymezuje definiční obory proměnných použitých v modelu.

4. Závěr

Z článku je jasně patrné, že stav železniční dopravní cesty s provázáním vhodné provozní koncepce jsou aktuálními tématy, které si zaslouží pozornost. Autoři se domnívají, že vytvořením vhodných modelů lze formovat vztah mezi vlastnostmi dopravní infrastruktury (zejm. železniční dopravní cesty) a nastavením optimální dopravní koncepce. Tyto modely pak mohou jako další rozhodovací nástroj v případech, kdy řešení problému na základě již známých metod nemusí být zcela jednoznačné.

Literatura

- [1] HS2: High-speed rail network gets go-ahead. *BBC* [online]. Spojené království: BBC, 2012 [cit. 2017-09-11]. Dostupné z: <http://www.bbc.com/news/uk-16478954>
- [2] Review of HS2 London to West Midlands Route Selection and Speed: A report to Government by HS2 Ltd. In: *GOV.UK: The best place to find government services and information Simpler, clearer, faster* [online]. Birmingham: High Speed Two (HS2), 2012 [cit. 2017-09-10]. Dostupné z: <https://www.gov.uk/government/publications/review-of-hs2-london-to-west-midlands-route-selection-and-speed>
- [3] Securing the future: Delivering UK sustainable development strategy [online]. 1. Norwich: The Stationery Office, 2005 [cit. 2017-09-10]. ISBN 0-10-164672-0. Dostupné z: <https://www.gov.uk/government/publications/securing-the-future-delivering-uk-sustainable-development-strategy>
- [4] *Stadtbahnsysteme: Grundlagen - Technik - Betrieb - Finanzierung = Light rail systems: principles - technology - operation - financing*. Hamburg: DVV Media Group GmbH - Eurailpress, 2014. ISBN 978-3-87154-500-9.
- [5] MAIER, Karel, MULÍČEK, Ondřej a Daniel FRANKE: Vývoj regionalizace a vliv infrastruktur na atraktivitu území České republiky.

Data Utilization of Devices for Recording a Drive Dynamics of Motorcycles in a Reconstruction of Pre-collision.

Martin Kobosil¹

Abstrakt: Počet záznamových zařízení pro jízdu na motocyklu na našem trhu roste a k měření využívají celé spektrum fyzikálních veličin i obrazových záznamů. Zařízení od jednoduchých aplikací do mobilu, přes onboard kamery až po sofistikované car black boxes. Využití výstupů takovýchto zařízení pro analýzu nehodového děje se přímo nabízí. Článek představuje problematiku vyhodnocení takto získaných dat, podpořenou experimentem na motocyklu. Analyzuje možné chyby a nepřesnosti a zamýšlí se nad využitím těchto dat. V článku se nejedná o srovnání jednotlivých zařízení, ale dává podnět k odborné diskuzi nad možnostmi využití těchto nezávisle pracujících systémů pro analýzu dopravních nehod.

Klíčová slova: analýza dat, nehody motocyklu, rekonstrukce přednehodového děje, zařízení pro záznam jízdní dynamiky

Abstract: The amount of independent recording devices on our markets is increasing and they are using the full range of physical quantities and video sequences to measure a drive dynamics of motorcycles. From simple applications to a mobile phone, through onboard cameras, to sophisticated car black boxes. The usage of these devices for the vehicle accident analysis is undoubtedly advantageous. This article is aimed to a issue of analysis of data acquired from these systems, supported by the experiment on the motorcycle. There are definition of sources of errors and uncertainties and it thinks about possible usage of this data analysis. This article is not a comparison of individual devices, but it gives a impulse for the expert discussion on the possibilities of using these independent systems for the motorcycle accident analysis.

Keywords: data analysis, motorcycle accident, reconstruction of pre-collision, devices for recording a drive dynamics

1. Introduction

Recording units for measuring dynamic driving parameters are recently becoming more and more popular not only in passenger cars and trucks, but also in motorcycles, and in our market there are more of them every day. They are using the whole spectrum of physical quantities and image records for measuring. Their contribution to traffic accident analysis is undeniable and this data is just asking to be used. In this article, we will disregard the legal view of ownership and the possibility of access to such information in an accident investigation, and we will only focus on the possibility of processing and using the data thus obtained.

The most interesting data from the traffic accident analysis's point of view are not only the ones concerning the driving dynamics of the vehicle before and / or during the event, but also

¹ Ing. Bc. Martin Kobosil, ČVUT FD, Ústav soudního znalectví v dopravě, Horská 3, 128 03 Praha 2, 224590003, kobosmar@fd.cvut.cz

the influences that need to be taken into consideration during the processing and retrofitting of the event, are of interest. The article is not a comparison of individual devices, but it gives rise to an expert discussion on the possibilities of using these independently operated systems for traffic accident analysis.

2. Device Categories

The first category of recording units are so-called video recorders or onboard cameras that the driver can voluntarily install on the motorcycle itself. These recording devices usually contain one or two cameras. There are also video units equipped with a GPS module and a 3-axis accelerometer on the market which marketers call "black boxes". The device is usually mounted right behind the windshield, where it captures the situation in front of the vehicle and the second camera can optionally be mounted on the rear fender. It is also very popular to place the video unit on the driver's helmet.

Some types of units also have an integrated microphone which records ambient sounds, so we can find out if a horn, for example, has been used before an accident. "Black Boxes" are also capable of recording, in addition to the mentioned audio and video, the speed, acceleration and position of the vehicle. Saving the record is initiated either automatically after a certain acceleration threshold is exceeded (instantaneous impact), by pressing the recording button or completely automatically when the ignition of the motorcycle is switched on. The advantage of placing a video unit on a helmet is that it can be guessed where the driver was looking right before the accident.



Fig. 1 Snapshot from video unit on a helmet & smartphone as a recording device. [1]

The so-called Event Data Recorder (EDR) can be found in current cars of most manufacturers. It is a unit that is placed in the car by the manufacturer - usually an airbag control unit (or a separate module in this unit), which is able to record information about the basic parameters of the accident and possibly keep several seconds of recording before the event itself in its memory. EDR units were first used on cars in the 1970s to record airbag deployment data purely in an effort to increase safety and measure basic parameters such as vehicle speed, throttle position, brake condition, seat belts condition and also to measure the severity of the accident.

There are only a few manufacturers which offer EDR units on motorcycles, but these units are not marketed and the dealer will probably not tell you about them unless you ask him about it. The existing installation of EDR is voluntary and data is still used primarily to improve product safety. Currently, the usability of these data for traffic accident analysis is often being discussed. EDR data can be accessed with the consent of the vehicle owner. Current security authorities, courts, the government, and insurance companies all support the spread of EDR on motorcycles and, for example, in the US, a federal set of rules that would be mandatory in all motorcycles is now being discussed by the NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration). EDR units in cars in the US are enacted from 2012. [2][3]

Currently, with the current types of EDR units for motorcycles, the number of channels recorded varies according to the manufacturer of the motorcycle or EDR units. Similarly, the length of the recording before and after the collision differs - typically about 5 seconds to 20 seconds before the impact and about 5 seconds after the impact. [4]

Furthermore, an increasingly popular feature is the use of smartphones as a recording device. Current applications allow the phone to be used as a video unit where it can get a video recording from before an accident through an application that has access to the camera. Some applications also add GPS and 3-axis acceleration data and also overall speeds. The undeniable advantage of these devices is their low price. Almost everybody has a smartphone these days and some of these applications can even be downloaded for free. The phone is then mounted right behind the windshield of the motorcycle.



Fig. 2 In-car digital video recorder unit. [5]

3. Data Utilization

Each type of mentioned devices has its benefits. For EDR units, this is especially the higher number of measured parameters, even those that cannot be obtained by any external units, and precisely defined data acquisition parameters (such as the exact position of the device relative to the vehicle, the parallelism of the sensor axis with the vehicle, the orthogonality of the measurement axis, device calibration, data synchronization, sampling). One of the drawbacks

may be a relatively short period of time in which the data are measured, and the fact that the current recording time, day, or the position of the motorcycle are usually not recorded.

On the other hand, additionally installed units and the use of a smartphone bring the advantage of video capture and GPS positioning, the disadvantage can be the limited possibility of data export and hence the limited possibility of subsequent processing. Not all devices support the ability to process data in software other than the manufacturer-supported one (these are typically user-friendly so they only support browsing). The individual devices and their design differ from one manufacturer to another, so the characteristics of the accelerometers, their sensitivity or the position in the unit are not generally known. As has been stated in the previous paragraphs, the benefits of using "black box" data for accident analysis are undeniable and their contribution does not need to be commented at all. However, analysis of the course itself may be affected by the ignorance of some initial measurement conditions or the error (noise) that each measurement brings along. This may adversely affect the resulting values.

In the experiments, I focused on velocity which is the key to analyzing the accident scenario, and we try to estimate the impact of speed measurement inaccuracies on individual devices. For EDR units, the speed is most often obtained from the wheel rpm (revolutions per minute) sensors. Data distortion can occur when the wheels lock and the motorcycle goes into a skid – that also applies in connection with the short recorded interval before the accident.

Another possibility of calculating the speed is to integrate measured acceleration (assuming continuous data capture). However, integration over time intervals longer than seconds is subject to a significant integration error. Especially due to vibration noise, zero offset and instability of integration constants, etc. The effects of vibration can largely be eliminated by filtration, but other effects can be really difficult to remove - especially with unknown sensor parameters. [6].

For separate recording units and mobile applications, speed is obtained using GPS measurements. Currently, GPS units most often calculate the speed as a combination of the unit's differential shift in time along with the frequency shift in the carrier signal wave from the satellites (Doppler effect) - most often using Kalman filtering. The speed is not instantaneous and is smoothed out. The measured speed accuracy depends on many factors - reflections, signal shading eg in high urban areas, unfavorable satellite layout, etc., but the typical achievable accuracy for common applications is about 0.5-1 km/h. [6][7]

Further distortion of speed is particularly important in the event of signal failure. Due to the philosophy of measurement, sudden changes in speed (eg intense braking) may not always be recorded correctly, or the velocity curve may be time shifted compared to acceleration. This depends mainly on the sampling frequency of the unit (it varies according to the manufacturer, for commercial units it is currently around 1 Hz, for specialized devices up to 10 Hz). [6][7]

Speed distortion also occurs when the user does not comply with requirements such as installation of the device. For example units that use a combination of GPS measurements and so called inertial units, which are usually made of acceleration and angular velocity sensors, for their correct operation and accuracy. Simply put, sensor outputs and GPS measurements are filtered using Kalman filtering and then stored in an already filtered form to eliminate the disadvantages of both measurement approaches (GPS only or Inertial Unit only). However, the resulting values are significantly distorted by an incorrect application (for example, if the axes of the sensor and the motorcycle are not identical - in particular the parallelism of the longitudinal axis x). It should be noted that standard black box recording devices (video

recording devices) currently do not use these algorithms, speed is only acquired on the GPS principle and therefore the speed calculation should not be affected by the location of the device on the motorcycle or the helmet. The above principle of calculation is mainly used by the special measuring devices. [6]

Subsequent processing of other variables, such as acceleration from video units accelerometers, is influenced by the above-mentioned data export options and by the data storing approach chosen by the manufacturer. Above all, if the gravity component is displayed in the output, whether it is eliminated and how. Furthermore, if the algorithm for the software alignment of the sensor to the horizontal position is placed so that the axis from the sensor is corresponding with the vertical axis of the vehicle, which as we can see from the experiment results, can often be a problem with motorcycles. Similarly, if it is not algorithmically treated that the x-axis of the sensor corresponds to the longitudinal axis of the motorcycle, the data can only be processed with a lot of difficulties without any further knowledge. Additionally, the data can be edited by software filtering (e.g., to compensate for vibration), etc.

4. Conclusion

The use of recording units offers great possibilities for subsequent accident analysis. The legalization of the obligation to install and use EDR units in motorcycles on the European market is, however, yet to be seen. Video recording units sold on every corner could therefore be an important source of information. Just as there are many unit manufacturers, there are many algorithm and data storing and access approaches. In order to make a correct backward derivation of the story, it is necessary to know as much detail as possible about the process by which the data passes through in order to avoid misinterpretation. Therefore, together with the legislative introduction of EDR units, consideration should also be given to the legislative obligation of manufacturers to publish the key to the hexadecimal code of sensor outputs and all filtering algorithms for the purpose of traffic accident analysis (for example, on request from the police).

The experiment states that externally added video units and mobile applications are both burdened by the inaccuracy of the measured value resulting from the GPS signal quality but, for the purpose of traffic accident analysis, they suffer in particular from a significant shift in the velocity curve compared to the acceleration over time, so sudden speed changes may not always be accurately recorded (eg intense braking). This depends in particular on the sampling frequency of the unit (it varies according to the manufacturer, for commercial units it is currently only 1 Hz).

To achieve greater refinement of the vehicle trajectory retrieval and to increase the accuracy of the entire measurement, it would be advisable to increase the sampling frequency and also focus on the angular velocity measurement as is the case with the measuring devices used to monitor the driving dynamics. Knowledge of angular velocity, resp. of the respective angles can further assist in dealing with traffic accidents that are specific to their configuration and for the description of perceptual movement.

References

- [1] K. (2017, February 28). Accuracy comparison: Speedometer vs. GPS. Retrieved from <https://www.youtube.com/watch?reload=9&v=L7Jlh7i19Bk>
- [2] Staff, T. (2018). On the Record—Event Data Recorders. [online] Rider Magazine. Available at: <https://ridermagazine.com/2014/08/14/on-the-record-event-data-recorders/>
- [3] NHTSA: Event Data Recorder (EDR). Research NHTSA, Washington, [online]. Available at: <http://www.nhtsa.gov/EDR>
- [4] Crash Data Services, LLC: Vehicles EDR. [online]. Available at: <http://www.crashdataservices.net/Vehicles.html>
- [5] In-car digital video recorder unit. www.borderelectronics.com [online]. Available at: <https://www.borderelectronics.com/dashcam-mkr150.php>
- [6] KOBOSIL, Martin. Drive Dynamics Measurement of System Driver- Motorcycle. Prague, 2016. Diploma thesis. CTU in Prague, Faculty of transportation sciences.
- [7] LENKOVÁ, Alžběta a SCHMIDT, Drahomír. CAR BLACK BOXES /THE PROBLEM OF DATA ACQUISITION AND ANALYSIS FOR USE IN FORENSIC SCIENCE/. In: ExFoS - Expert Forensic Science. Brno, 2013, s. 246-252

Fluctuations in Passenger Railway Service Period

Michal Drábek, Jiří Pospíšilⁱ

Abstrakt: Příspěvek se zabývá obvyklými (tý) denními výkyvy intervalu obsluhy v integrálním taktovém jízdním řádu (ITJŘ) železniční osobní dopravy. Nejprve je stručně připomenut ITJŘ. Výkyvy v intervalu obsluhy jsou kategorizovány. Dále jsou diskutovány dva dopady těchto výkyvů – na přípojné vazby mezi linkami a na kapacitu dráhy. Teoretická část je doplněna vybranými příklady z platného železničního jízdního řádu SŽDC. Na závěr jsou navržena pravidla pro výkyvy v intervalu obsluhy.

Klíčová slova: integrální taktový jízdni řád (ITJŘ), interval obsluhy, výkyv, přípojná vazba

Abstract: This paper deals with usual daytime and weekly fluctuations in service period in Integrated Periodic Timetable (IPT) of railway passenger transport. First of all, the IPT is briefly reminded and the fluctuations in period are categorized. Then, two impacts of these fluctuations are discussed – on transfer connections between public transport lines, and on railway capacity. The theoretical part is supplemented by chosen examples from actual Czech railway timetable. As a conclusion, some rules for fluctuations in service period are proposed.

Keywords: Integrated Periodic Timetable (IPT), service period, fluctuation, transfer connection

1. IPT and its Mathematical Preconditions

IPT offers passengers in public transport, to some extent, an alternative to private car – temporal and spatial availability. Temporal availability is ensured by service period – the lower period, the more similar transport offer to the car. Spatial availability is ensured by periodic, all-day transfer connections in node stations.

Periodic connections require unified basic period $t_{p,b}$ (e.g. 60 min). Other service periods $t_{p,i}$ must fulfil following equation:

$$t_{p,i} = 2^k \cdot t_{p,b} \quad (1)$$

where k is an integer.

If a 60 min basic period is chosen, periods of 120, 30, 15 and 7.5 min can be used as well.

An ideal group of transfer connections is an IPT-node. All services arrive to the node station shortly before symmetry time, and depart shortly thereafter. The dwell time of the lastly arrived service is long enough to provide transfer connections between all services.

For symmetrical transfer connections within both directions, unified timetable symmetry is necessary. Symmetry time of a public transport line occurs when two services in opposite directions meet each other. In European railway network, symmetry time in (or slightly before) the minute 00 has been established as a rule. It is desirable to design an IPT-node in a station

ⁱ Ing. Michal Drábek, Ph.D., Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D., Czech Technical University in Prague, Faculty of Transportation Sciences, Department of Logistics and Management of Transport, Horská 3, 128 03 Praha 2, Czech Republic, [xdrabek, pospijir]@fd.cvut.cz

where two or more public transport lines intersect. The principle is following: all services arrive before the minute 00. Passengers can, in the ideal case, transfer between all services. Then, after the minute 00, all services depart. Each public transport line should keep following rule for maintaining zero symmetry. If the service from the station A arrives x minutes before 00, the service towards opposite direction (to A) should depart x minutes after 00. Thus, the first arrival corresponds to the last departure back (within the particular public transport line and direction).

Unified basic period, unified symmetry time and system of IPT-nodes imply two mathematical preconditions – arc and circle equations [3, 4].

If two services depart from two neighbouring zero IPT-nodes towards each other, and their period is 60 min, they meet each other in another symmetry time – the minute 30. Another IPT-node in the minute 30 can be designed there, provided that both services stop there. If generalized to any basic period, arc equation, formulated as follows, comes out:

$$t_{T,A \leftrightarrow B} = \frac{n}{2} \cdot t_{p,b} \quad (2)$$

where $t_{T,A \leftrightarrow B}$ is travel time between IPT-nodes A and B, including both half of dwell time in node A and half of dwell time in node B, and n is natural number.

Scheduled travel time between two IPT-nodes, rounded up to fulfil the arc equation, is called system travel time.

Thus, in any IPT system, there occur two disjoint groups of IPT-nodes. For instance, for 60 min period and zero symmetry, it is the group of nodes around the minute 00, and the group of nodes around the minute 30. IPT works properly provided that all services arrive into any IPT-node before the same symmetry time and depart thereafter. If the symmetry time is the minute 00, any arrival before the minute 30 leads to unacceptable transfer time between services. Thus, even stronger precondition than arc equation has to be maintained – cycle equation:

$$\forall(A, m): t_{T,A \leftrightarrow A, m} = n \cdot t_{p,b} \quad (3)$$

where $t_{T,A \leftrightarrow A, m}$ is travel time along m^{th} cycle from node A into node A, including at least 2 another IPT-nodes and dwell time in A, and m, n are natural numbers.

2. Categorization of Fluctuations

2.1. Polarity

A fluctuation (compared with basic period $t_{p,b}$) may be either positive (shorter period) or negative (longer period). It is necessary to distinguish whether changing of two periods during daytime (e.g. 60 and 120 min) is a positive or negative fluctuation, i.e. which period is basic.

The authors propose following method. A common timespan of daily operation – between 06:00 and 22:00 – is divided into time slots, whose length is equal to the longer period. Then, number of timeslots with the longer and shorter service period is compared. Then, basic period $t_{p,b}$ is determined according to more frequent timeslots. Consequently, a deviation from the basic period can be marked as either positive or negative fluctuation.

2.2. Negative Fluctuations

A negative fluctuation means that the service period is doubled. Such doubled period usually does not result in saving of a trainset (see Chapter 4). From the public transport quality point of view, this fluctuation is usually perceived negatively by passengers, and by public service orderers as well. Negative fluctuations may, moreover, cause breaking of transfer connections (see Chapter 3). The most extreme case is if $t_{p,b} = 120$ min is lengthened up to 4 hours period, which in practice denies the sense of IPT. One such example is skipped pair of services of R11 long-distance public transport line between České Budějovice and Brno around the noon, from Mondays to Thursdays. Even worse situation is of the R26 long-distance line Praha – Písek – České Budějovice, where even 6 hours period can be observed [7, 8].

2.3. Positive Fluctuations

These fluctuations usually require an extra trainset, but they are perceived positively by passengers. Sometimes they are necessary to cope with the peak demand. On single-track railway lines, positive fluctuations mean additional capacity consumption, and sometimes it is possible to schedule them in one direction only at one time (see Chapter 5).

3. Fluctuations and Transfer Connections

3.1. Consequences of Negative Fluctuation (Doubled Service Period)

The most common fluctuation in service period is that the services of a public transport line operate in twice as long period - either at weekends, or at off-peak times on workdays.

The consequences of double period into working of IPT is evident – only one half of IPT-nodes would be preserved. If the 60 min period is doubled, for zero symmetry there will be two disjunct groups of IPT-nodes: in the minute 00 and in the minute 30. If the period would be doubled to 120 min and the zero symmetry would be kept, only IPT-nodes in the minute 00 would be preserved, but divided into two disjoint groups: in the minute even:00 and in the minute odd:00.

There is analogous consequence of double period into cycle equation: system travel time around any cycle which comprises three or more IPT-nodes would be natural multiple of the new, doubled, period. For instance, doubling of the period from 60 to 120 min would force system travel time around all mentioned cycles to be integer multiple of 120 min. It is obvious that some cycles with system travel time equal to odd multiple of 60 min would not more work. Thus, some transfer connections would be lost.

One example of the impact of the doubled period is node station Louny, where railway lines from five directions lead to (Most, Postoloprty, Rakovník, Slaný and Lovosice). Periodic regional train services meet there each other “broadly” around the minute 30. The range of arrival and departure times is the minutes 17 to 39. One reason is common 5 km long single-track line for directions Postoloprty and Rakovník. At peaks there is 60 min period of service to/from all directions except Rakovník and Slaný. Last two directions are linked together with symmetrical transfer connection as well. Thus, the only connection that does not work is between Most and Postoloprty. But this connection has little practical significance since there is another railway line that connects these two stations directly. At off-peak times, the

connection between Postoloprty and Rakovník is broken – with more than 60 min waiting time in both directions (the transfer actually happens in the stop Louny město) [7].

3.2. Moderating Negative Fluctuation (Doubled Service Period)

In some cases, the impact of doubled period is at least moderated by interposition of long-distance and regional trains at off-peak times. As a result, common approximate period of 60 min occurs. This solution is, however, useless in any large networks because the difference in regular runtimes grows with distance. So this approach is implemented on approximately 20 to 30 km long sections – for instance on 020 railway line between Týniště nad Orlicí and Hradec Králové and by few regional services on the 250 mainline between Havlíčkův Brod and Žďár nad Sázavou [7].

3.3. Merging of Public Transport Segments at Off-peak Times

The reason for such merging is significantly lower demand from the passengers than, for instance, at the afternoon peak. In practice, a service of higher segment of public transport offer has to stop more often, so it serves as a lower segment as well. This merging happens usually in the early morning or late evening when the demand is very low and thus some services on the same line are redundant. Such mergers do not occur along the whole public transport line, but they begin (or end) in particular node station. There are three segments (functional levels of public transport product) of passenger railway [6, 10]:

- Transit (A) – express trains connecting most populated Czech and neighbouring agglomerations.
- Connecting (B) – connecting small and middle-sized regional centres as well. Fast trains (“rychlík”), stopping every tens of kilometres, are most typical examples.
- Collecting (C) – these trains usually stop everywhere. Suburban (agglomeration) or regional public transport lines can be distinguished within this segment.

Hence, two types of merging of neighbouring segments can be distinguished:

- A to B: an express service stops more often and, consequently, the fast train (B) does not operate in this time.
- B to C: a fast train service stops more often and, consequently, the regional train (C) does not operate in this time.

The services of R5 public transport line between Praha, Ústí nad Labem and Cheb usually do not stop between Praha-Holešovice and Ústí nad Labem hl. n. stations. The exception is a pair of services 616 and 617 (early morning from Praha, late evening to Praha). They run in this sections 10 min longer and stop in three more stations: Kralupy nad Vltavou, Roudnice nad Labem and Lovosice. This stopping pattern corresponds to historical stopping of fast trains in this section.

Another example is more extra stops of some InterCity services of the Ex1 line (Praha – Ostrava – Žilina) in the stations Přelouč, Choceň and Ústí nad Orlicí. The services 573, 899 and 898 stop there in the late evening (from Praha) and in the early morning (to Praha). Another long-distance services stop in some of the mentioned stations in the early morning (to Praha).

The last example is a pair of regional express services that between Tábor and České Budějovice complement the last R17 fast train from Praha and the first R17 fast train to Praha

(they both run to/from Tábor only). The regional express is even served by the same trainset as the corresponding fast train [7, 8].

3.4. Consequences of Positive Fluctuation (Half the Service Period)

A positive fluctuation – half the period at peak hours, would preserve all IPT nodes and transfer connections. Moreover, it would enable more transfer connections in some cases. For instance, for 60 min period and zero symmetry, no IPT-nodes could be designed around the minutes 15 or 45. But, for 30 min period and zero symmetry, there are following two groups of IPT-nodes: first one in the minutes 00 and 30, and second one in the minutes 15 and 45.

4. Fluctuations and Productivity of Rolling Stock

Cycle time is a timespan between departure time of particular trainset of particular public transport line from terminus A and following departure of the same trainset from terminus A in the same direction. In other words, cycle time comprises travel times t_{travel} during the whole line there and back and both turn-around times. In IPT, besides technical minimum, scheduled turn-around time is determined by travel time, service period t_p and temporal distance of termini from IPT-nodes. In IPT, travel times there and back are mostly equal, because of requirement for unified symmetry. If the public transport line ends in stations A and B, cycle time can be calculated as follows [4]:

$$t_{cycle,AB} = 2 \cdot t_{travel,A \rightarrow B} + t_{turn-around,A} + t_{turn-around,B} \quad (4)$$

Then, basic required number of trainsets for the AB line (without necessary reserve for maintenance and disturbances) can be calculated as follows [4]:

$$n_{trainsets,AB} = \frac{t_{cycle,AB}}{t_p} \quad (5)$$

In Czech public transport system, most of passenger railway services are ordered as public service, i.e. public sector orders the services by some railway undertaking – mostly by state-owned joint stock company Czech Railways (České dráhy). In practice, the orderer is strictly limited by annual sum of train-kilometres that correspond to his budget for compensation for the public service and to the valid public service contract with the railway undertaking. Any extra train-km is usually relatively expensive, even if it costs no extra trainset. This leads to rolling stock inefficiency, especially if the service period fluctuates during daytime.

An interesting practical example is long-distance fast train line R9 [8] from Praha to Kolín, Havlíčkův Brod and Brno, ordered by Czech Ministry of transport by Czech Railways. The travel time during the whole line is almost 4 hours. Regarding periodic arrival and departure times in termini (Praha-Smíchov station in Praha as a rule) and 2 hours service period at off-peak times, the cycle time is 10 hours. Thus, if there was no lowering of the period at peaks, there would suffice $10/2 = 5$ trainsets. At peak times, the period is 1 hour. Thus, the trainsets can depart from Praha 1 hour earlier, and the cycle time lowers consequently to 9 hours only. So, the need for trainsets is $9/1 = 9$. If there were only 1 to 3 additional services at peak, the need for trainsets would be only 6 to 8. However, at the afternoon peak there depart 3 additional services from Praha and 2 additional services from Brno. As a result, no trainset is saved by fluctuations in service period in this case.

Another, rather positive, example is interposition of long-distance fast train line R12 (with 120 min period) into half period at peaks. Thanks to IPT-node in the minute 00 in Olomouc and travel time to Prostějov, there is only one trainset needed for all five additional services [7, 8].

5. Fluctuations and Railway Capacity

If the periodic services operate on double-track line, their timeslots have to be coordinated together, even if they run with the half period. Of course, the capacity consumption at peaks is therefore higher. On the busiest Czech mainlines like 010 Česká Třebová – Pardubice – Praha or 270 Bohumín – Ostrava – Přerov, there is at peaks almost no capacity left for freight trains [7].

The influence of fluctuations in service period is even more interesting on single-track lines. The stations were designed and built mostly in the 19th century when there was no idea about requirements of IPT. Thus, many single-track mainlines do not enable periodic timetable with 60 min period – especially for long-distance services where the pressure on commercial speed and system travel times is much higher.

5.1. Peak Period – Both for Morning and Afternoon

If there is half the service period both for morning and afternoon peak, it means that this lower period is present in both directions (at least in the afternoons). Thus, infrastructure must enable it, otherwise such operation is not technically feasible. One example is the already mentioned section Týniště nad Orlicí – Hradec Králové on 020 railway line. At afternoon peak (13:00 to 17:00) there are both 60 min periods of regional and regional express services in both directions – although there are deviations in periodic timetable pattern.

5.2. Peak Period – One Additional Service or Pair

This fluctuation is represented by only one morning (or afternoon) additional service, sometimes added by an afternoon service in the opposite direction. If this is technically feasible with available stations, runtimes and interlocking systems, these services make an interposition into half (usually 60 min) period. Sometimes the additional morning service departs earlier, stops more often than the fast train, and arrives in regional centre in the exact interposition (with possible few minutes deviation) and vice versa – for instance from Domažlice to Plzeň on the 180 mainline or in afternoon from Plzeň to Strakonice on the 190 mainline.

Otherwise, the interposition is at least approximate, e.g. by regional express 1943 (in the morning towards Praha) on the 070 mainline [7].

5.3. Additional Peak Periodic Services

Such services do not maintain periodic arrival and departure times, not even in any terminus. The reason is very likely that such exact interposition into half period is not technically feasible, given the distances and reachable runtimes between the stations. Such services are most common by suburban trains in suburban areas, e.g. in Praha and Brno agglomerations. The probably only additional peak periodic service on single-track line in the Czech Republic is group of four afternoon additional regional express services from Praha to Kladno (on the 120 railway line). The interesting fact is that these services do not disturb exactly periodic scheduling of another trains [7].

6. Conclusion and Recommendations

Fluctuations in service period are natural reaction on fluctuations in passenger demand during daytime. However, in many cases the fluctuations undermine the very sense of IPT – all-day periodic service without any deviation.

Negative fluctuations lead to skipping of some periodic services. The interposition of trains with various stopping pattern at off-peak times is better than no interposition, but it cannot be a sustainable solution.

On the other hand, positive fluctuations can, especially on single-track lines, force some periodic services to deviations from periodic timetable pattern.

Hence, a more complex approach to fluctuations is necessary, at least in middle and long term. The authors propose different approaches, according to significance of particular sections in terms of

- Significance and density of the settlement located around.
- Temporal proximity to agglomeration centre (this criterion is significant in proportion to population of the agglomeration).
- Centrality within railway network.

Negative fluctuation and deviations from periodic timetable pattern caused by positive fluctuations are more acceptable in remote areas and on railway lines which are connected to the network by one node station only.

Otherwise, the authors in general recommend the public service orderers and Czech Railway Infrastructure Administration (SŽDC) to be aimed at all-day service with certain basic period $t_{p,b}$, (60 min is the most typical) without any skipping of services, but, on the other hand, to prepare railway infrastructure to enable half period in both directions at the same time – not only for peak services, but for better coping with delays and disturbances as well. For single-track lines, an efficient compromise should be sought for in peripheral areas, considering system travel times and network interdependence.

Outside agglomerations, but not in peripheral parts of the railway network, the authors recommend to be aimed at merging of fast and regional trains into one common segment with all-day 60 min period.

For agglomerations, the authors recommend consistent aiming at infrastructural measures that would enable basic period $t_{p,b,B} = 30$ min for fast train (B) segment and basic period $t_{p,b,C,1} = 30$ min for suburban trains (C). In the largest agglomerations like Praha, Brno and Ostrava, the infrastructure should be aimed at basic period for suburban trains should be $t_{p,b,C,2} = 15$ min in outer belts, and $t_{p,b,C,3} = 7.5$ min in inner belts. In central parts of railway node, as short minimal departure headway as possible should be achieved.

7. Acknowledgements

The research and publishing of this paper was supported by Zéta Programme of The Technology Agency of the Czech Republic (TAČR), as a part of the research project TJ01000162 “Synergy in Railway Public Transport Line Planning – Improvement of Efficiency of Spatial Public

Railway Transport Service” – co-financed by CTU in Prague. Actual (so far unpublished) version of the project research report [2] was cited in this paper. The authors hereby acknowledge the funding sponsors.

T A
Č R

Program **Zéta**

References

- [1] Borza, V., Janoš, V., Neumann, I. 'More is less': Regular interval timetable in central Eastern Europe. In: Roth, R., Jacolin, H.: Eastern European railways in transition: Nineteenth to twenty-first centuries. UK: Ashgate Publishing Limited, 2013, pp. 327-342. ISBN 978-1-4094-2782-7.
- [2] Drábek, M. et al. Synergie v plánování železničních linek. Zefektivnění obsluhy území veřejnou drážní dopravou. Možnosti a limity synergie železničních linek. Analytická část. Zpráva o dosažených výsledcích projektu TJ0100162 řešeného s finanční podporou TA ČR. Praha: CTU in Prague, FTS, Dept. of Logistics and Management of Transport and taktici.cz, Ltd. Research report in progress, to be finished in 2019. Unpublished.
- [3] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, e. V. Merkblatt zum Integralen Taktfahrplan. Cologne, Germany: FGSV-Verlag GmbH, 2001, pp. 18-20.
- [4] Janoš, V. et al. Planning of Public Transport Services 2. Lecture in the subject Transport Technology and Logistics. Praha: CTU in Prague, FTS, Dept. of Logistics and Management of Transport, March 2017.
- [5] Ministerstvo dopravy. Plán dopravní obsluhy vlaky celostátní dopravy. Praha, 2017. Available online: <https://www.mdcz.cz/getattachment/Dokumenty/Verejna-doprava/Financni-ucast-statu/Plan-dopravni-obsluhy-uzemi-vlak-ycelostatni-dopra/Plan-dopravni-obsluhy-uzemi-2017-2021.pdf.aspx> [cit. 2018-09-11]
- [6] Ministerstvo dopravy. Strategie podpory dopravní obsluhy území. Praha, 2005.
- [7] SŽDC, s.o. Jízdní řády (platné od 10. 6. 2018). Praha, 2017. Available online: <https://www.szdc.cz/provozovani-drahy/knizni-jizdni-rady.html> [cit. 2018-09-30]
- [8] SŽDC, s.o. Linky dálkové osobní dopravy. In: Portál provozování dráhy. Praha, 2017. Available online: http://provoz.szdc.cz/PORTAL/Show.aspx?path=/Data/Mapy/linky_dalkove_dopravy.pdf [cit. 2018-09-30]
- [9] SŽDC, s.o. Sbírnka služebních pomůcek pro jízdní řád 2017/18. Praha, 2017. Unpublished.
- [10] Weidmann, U.: System- und Netzplanung. Band 1.1. System- und Netzplanung des Personenverkehrs. IVT ETH Zürich, May 2008, pp. 14-16.

Problematika posunů ve vztahu k ETCS L3

Petr Kouteckýⁱ

Abstrakt: Tento článek se zabývá problematikou posunů kolejových vozidel, dělení a spojování vlaků v oblasti ETCS L3. Popisuje možné problémy způsobené těmito operacemi s vlaky a navrhuje několik řešení. U každého z nich diskutuje výhody a nevýhody každého z nich, např. v závislosti na konfiguraci kolejíště.

Klíčová slova: ETCS L3, posuny, dělení vlaku, spojování vlaků

Abstract: This paper deals with problematic shunting of railway vehicles and splitting and coupling trains in ETCS L3 area. It describes problems, which are caused by these operations and it proposes several suggestions. In next part it discusses advantages and disadvantages of these suggestions in relation to typical configurations of railway yard.

Keywords: ETCS L3, shunting, train splitting, train coupling

1. Úvod

Systémy řízení a zabezpečení na železnici prošly poměrně dlouhým vývojem. Na jedné straně je vývoj poháněn zvyšujícími se požadavky na bezpečnost, spolehlivost, plynulost a hospodárnost provozu, na druhou stranu byl hlavně v minulosti vývoj omezen technickými možnostmi dané doby. Rozvoj možností elektroniky a hlavně pak mikroprocesorové techniky a výpočetního výkonu umožňuje se v posledních letech také stále více zabývat i otázkou optimalizace kvality řídicího procesu a minimalizace nutností zásahů lidského činitele, což v dřívější době nebylo v takovém rozsahu možné.

Tento technický pokrok, tlak na úsporu nákladů a požadavky Evropské unie na interoperabilitu železniční sítě vytvářejí potřebu řešení problematiky řízení a zabezpečení železniční dopravy novými způsoby. Zavádění nových systémů přináší potřebu identifikovat a řešit možná rizika a technické problémy spojené s přechodem na nový systém.

Cílem příspěvku je poukázat na možné problémy při implementaci a zavádění ETCS L3 na konvenční železniční síti z hlediska potřeby posunů a navrhnout možná řešení těchto problémů se specifikací výhod a nevýhod těchto jednotlivých řešení.

2. Stručná charakteristika problému

Mezi klíčové znaky ETCS L3 se uvádí možnost redukce technických prostředků v infrastruktuře [1], jako jsou návěstidla a detekční prostředky (zj. kolejové obvody a počítače náprav).

ⁱ Ing. Petr Koutecký, ČVUT FD, Ústav dopravní telematiky, Konviktská 20, 110 00 Praha 1, koutepe1@fd.cvut.cz

Nahrazení návěstidel je pochopitelné – oprávnění k jízdě (MA) je přenášeno v datové zprávě přímo na hnací vozidlo přes rádiovou síť GSM-R. Otázkou zůstává, jakým způsobem budou předávány návěsti pro řízení posunu, jelikož v současné verzi specifikací systému ERTMS [1] je OBU v režimu posun (shunting) odpojena od RBC a datová komunikace tedy není dostupná.

Ještě zajímavější je situace u detekčních prostředků. Princip určení volnosti jednotlivých částí (sekcí) infrastruktury vychází ze znalosti polohy všech vlaků v oblasti, jejich délky a celistvosti soupravy. Určení polohy probíhá obdobně jako v ostatních úrovních systému ETCS pomocí pevných eurobalíz, které slouží jako referenční body v infrastruktuře a systému odometrie (odměřování vzdálenosti od poslední referenční balízy).

Obecně to může vést k závěru, že detekční prostředky již nejsou potřeba. Toto tvrzení může být majoritně pravdivé, ale pouze ve velmi specifických případech – při provozu ucelených souprav, bez potřeby posunů a odstavení kolejových vozidel přímo v oblasti s ETCS L3. Při potřebě posunů s kolejovými vozidly – ať už přestavení soupravy vlaku či její části, odvěšování a přivěšování vozů vede k tomu, že dochází ke změnám parametrů soupravy a zneplatnění informace o celistvosti vlaku, která je ovšem (jak bylo zmíněno dříve) nutným předpokladem pro bezpečné určení volnosti částí infrastruktury v RBC. Po ukončení posunu tak není zřejmé, které části infrastruktury jsou volné a které naopak jsou obsazené odstavenými kolejovými vozidly po skončení posunu.

3. Možná řešení

V následujícím textu se budeme zabývat některými možnými řešeními popsaného problému.

3.1. Změna úrovně ETCS

První možné řešení problematiky posunů by se dalo označit jako „triviální“ – a sice v problematické dopravně nasadit systém ETCS v nižší aplikační úrovni, tzn. ETCS L2 potažmo ETCS L1. Obě uvedené úrovně obsahují konvenční detekční prostředky pro zjištění volnosti infrastruktury ve vlakových cestách při vydávání MA a řeší tak uvedený problém. Nicméně každá mince má dvě strany – diskutované řešení má i své nevýhody.

Mezi první nevýhodou lze zařadit změnu úrovně ETCS při jízdě do/ze stanice. Požadavek na každou takovou změnu úrovně musí být obsažen v telegramu balíz v dostatečné vzdálenosti před stanicí tak, aby bylo i při započtení maximálních časů trvání celé procedury přechodu mezi úrovněmi a jízdou maximální dovolenou rychlostí byl dostatek času na uskutečnění celé změny úrovně. To zesložituje návrh telegramů balíz, zvláště při složitější konfiguraci kolejíště.

Druhou nevýhodou je nemožnost využití výhod třetí úrovně ETCS, jako je „virtual block“ nebo dokonce „moving block“ přes takovouto dopravnu. Jako výhodu pak lze uvést použití v praxi běžně nasazované úrovně 1 nebo 2 systému ETCS.

3.2. Samostatná oddělená část kolejíště

Při vhodné konfiguraci kolejíště lze provádět posuny s kolejovými vozidly na oddělené části kolejíště (oddělené ve smyslu přímé boční ochrany, kdy poloha výhybek nebo výkolejek zabraňuje vyjetí posunujícího dílu z dané oblasti). Typickým příkladem takového uspořádání může vlečkové kolejíště či seřaďovací nádraží, kde probíhá rozřezování nákladních vlaků po jejich

příjezdu na jiné výchozí vlaky. Výstup z oblasti L3 pak probíhá při jízdě vlaku do oddělené části na odvrtné výhybce, analogická je situace při jízdě zpět.

Výhodou je úplné oddělení části kolejiště s posuny, kdy ani nedovolenou jízdou posunového dílu nedojde k ohrožení provozu v oblasti L3. Mezi nevýhody lze řadit potřebu vhodné konfigurace kolejiště a potřebu zabezpečení oddělené části kolejiště pro vjezd/odjezd vlaků provádějících posun.

3.3. L3 doplněné o detekční prostředky

Pro odstranění většiny nevýhod předchozích řešení se nabízí dovybavení vybraných částí kolejiště detekčními prostředky. Při využití decentralizovaného ovládání a zabezpečení výhybek ve formě tzv. object controllerů by bylo možné doplnit u vybraných výhybek tyto object controllery počítačím bodem počítačů náprav. To by umožnilo jednak zjištění volnosti dané části infrastruktury po skončení posunu a zrychlilo i detekci uvolnění zadního námezníku při jízdě vlaku. Jistou nevýhodou je pochopitelně další technické zařízení v infrastruktuře, i když jeho investiční náročnost je nižší, než v případě čist centralizovaného konvenčního stavědla.

3.4. Spoluúčast dopravních zaměstnanců

Další možné řešení spočívá v zapojení lidského činitele do procesu kontroly volnosti vybraných částí infrastruktury. Tento princip se využívá dle [2] např. v systému ERTMS Regional ve Švédsku. Po potvrzení volnosti úseku lidským činitelem je možná jízda přes daný úsek pouze v režimu Staff Responsible s omezením rychlosti podle národních hodnot. Po projetí prvního vlaku je již úsek považován z hlediska předchozích manipulací za volný a jízda dalších vlaků již není omežována.

Nevýhody tohoto řešení jsou zřejmé – potřeba spoluúčasti lidského faktoru, přičemž riziko fatálních následků při selhání lidského faktoru je do značné míry omezeno sníženou rychlostí pro další vlak. Dochází tak ale ke snížení výkonnostního parametru propustnosti, nicméně toto řešení může být vhodné především pro stanice na tratích s nižší dovolenou rychlostí a spíše sporadickým posunem.

4. Závěr

Jak je zřejmé ze stručného nastínění možného řešení problematiky, škála je poměrně pestrá, každé řešení má své výhody a nevýhody. Proto bude potřeba v budoucnu při výběru vhodného řešení uvažovat několik parametrů (jako je velikost dopravní, četnost posunů, traťová rychlost, konfigurace kolejiště, investiční náklady, míra rizika) a podle toho zvolit nejvhodnější alternativu v souladu s těmito parametry.

Použité zkratky

ERTMS	European Railway Traffic Management System
ETCS	European Train Control System
MA	movement authority
OBU	on-board unit
RBC	radio block centre



Literatura

- [1] System Requirements Specification (SUBSET-026). European Railway Agency. 2014-05-12.
- [2] ERTMS REGIONAL Functional Requirements Specification version 03.08, European Railway Agency, 89 stran.

Design of Additional Locomotive Service in the Vysočina Area

Jan Růžička, Michal Drábek, Zdeněk Michlⁱ

Abstrakt: Příspěvek shrnuje výsledky bakalářské práce, zabývající se nákladní železniční dopravou v České republice. Konkrétně je obsahem práce návrh postrkové služby na železniční trati Brno – Havlíčkův Brod – Kolín. Trať je podrobně analyzována, je proveden odhad poptávky po postrkové službě, navržena technologie a vytvořen návrh grafikonu vlakové dopravy. Na závěr je vytvořený návrh zhodnocen.

Klíčová slova: železniční doprava, nákladní doprava, postrková služba, sklonové poměry, železniční trať 230, 250

Abstract: This paper briefly presents results of the bachelor thesis which deals with freight railway transport in the Czech Republic, specifically with the layout of the additional locomotive service on the railway line Brno – Havlíčkův Brod – Kolín. The line has been analyzed in detail, then the estimation of the demand for additional locomotive service has been done, operational concept has been designed, and at the same time the layout of the graphical timetable has been created. In the end this layout has been assessed.

Keywords: freight railway, Additional Locomotive Service, inclination rate, railway lines 230, 250

1. Introduction

This paper deals with solution of one of the problems that the freight railway in the Czech Republic has to cope with. It is the lack of available capacity for freight trains on Czech mainlines. It occurs particularly during daytime, as passenger trains are strongly preferred. Thus, freight trains have to wait long on overtaking tracks at stations, and, as a result, average speed goes down. The impact of such hold-up on competitiveness of freight railway is obvious – both haulage time and operating costs increase.

In this paper, solution of this problem is proposed, namely between Kolín and Brno-Maloměřice freight railway nodes. There are two, both approximately 200 km long, mainlines which connect these stations. The first one, marked 010 and 260 (or 501), runs via Česká Třebová. This line is very busy, as it links Prague and Ostrava agglomerations (the largest ones in the Czech Republic), central Moravia and regional centres Pardubice and Hradec Králové. The second mainline, marked 230 and 250 (or 502 and 324), is far less utilized, because of high inclination rates, which require higher traction power for equal train mass [6]. This paper briefly describes design of additional locomotive service that aims to enable rerouting freight trains from the busy 010 mainline to another one.

ⁱ Bc. Jan Růžička, Ing. Michal Drábek, Ph.D., Ing. Zdeněk Michl, Czech Technical University in Prague, Faculty of Transportation Sciences, Department of Logistics and Management of Transport, Horská 3, 128 03 Praha 2, Czech Republic, [ruzicj25, xdrabek, michlzdej]@fd.cvut.cz

The design includes detailed analysis of the 230/250 mainline, qualified estimate of demand for this service, timetabling and traffic layout, train path construction, rolling stock scheduling and evaluation of the design.

2. Legislation

Considering SŽDC (Czech Railway Infrastructure Administration) infrastructure manager of the whole solved area [5], Traffic and Signalling Regulation (Dopravní a návěštní předpis) D1 [4] has to be observed. This regulation includes detailed rules for operation, coupling/joining and uncoupling/leaving of additional locomotive(s) to/from a train. The additional locomotives are either coupled or uncoupled ones. For technical and operational reasons, only coupled additional locomotives are used in the presented proposal. Then, maximum speeds (100 km/h for a train with coupled additional locomotives) are ordered. Further, unchanging signals (tables) for additional locomotives are introduced. Operational and technical processes linked with coupling and uncoupling of additional locomotives to/from a train are included in regulations of railway undertakings. For this design, regulation ČD V15/1 [2], used by state-owned ČD Cargo company, has been used.

3. Analysis of the 230/250 Mainline, Choice of Sections for Additional Locomotive Service

For determination of sections for additional locomotive service, the relevant mainline had to be analyzed in a detailed way [6].

At first, all stations relevant for the additional locomotive service, i.e. all stations on 230/250 line had to be analyzed: node and marshalling yard Kolín, Kutná Hora hl. n. (main station), Čáslav, Golčův Jeníkov, Vlkaneč, Leština u Světlé, Světlá nad Sázavou, Okrouhlice, node and marshalling yard Havlíčkův Brod, Pohled, Příbyslav, Sázava u Žďáru, Žďár nad Sázavou, Ostrov nad Oslavou, Sklené nad Oslavou, Křižanov, Vlkov u Tišnova, Říkonín, Tišnov, Kuřim, Brno-Královo pole, and marshalling yard Brno-Maloměřice. Each station was described in terms of location, number and length of overtaking tracks, and presence of overhead line above them. Shunting tracks were analyzed as well, in terms of their usability for turning additional locomotives around. Some shunting tracks have no overhead line, which reduces their usability considerably. Adjoining railway lines were listed as well, distinguishing mainlines from regional lines. Further, platforms were described. As low-level platforms are accessible only by crossing tracks from the station building, they complicate scheduling of freight train paths. If the stop of a passenger train at such station is scheduled, and the train runs on a track further from station building, no train running must be scheduled on any nearer track. Minimum time between arrival of the passenger train and passing through of the second train is calculated in minimum platform headway, which has to be considered in the timetabling process. Stations with such low-level platforms were all stations between Kutná Hora hl. n. and Havlíčkův Brod, including part of Kutná Hora hl. n. station next to the station building. Luckily, no stop on this line has a platform accessible through another track (only via automatic barrier-equipped level crossings with roads).

Analysis of electrification systems was necessary as well. These systems are not unified on the considered line. The border between 3 kV DC system in the north and 25 kV 50 Hz AC system

in the south is the station Kutná hora hl. n. (next to Kolín). All seven electrified train tracks are divided between two electrification systems and equipped with neutral section in between. Thus, any train either has to be equipped with multi-system electric or diesel locomotive. Otherwise the locomotives have to be changed there, with the assistance of diesel shunting locomotive.

The considered line has many steep sections. The total vertical distance to cope is 480 metres. The end stations are situated in lowland, contrary to central sections of the line. The absolute peak of the line is the station Žďár nad Sázavou, with the altitude about 585 metres above sea level. The steepest section is between stations Tišnov and Vlkov u Tišnova (ascent to Vlkov, in the direction to Kolín), with the inclination rates up to 17.4 ‰.

Standard permissible hauled mass for particular section is closely linked to the inclination rate. Standard permissible hauled mass is calculated for particular section, type of running resistance (U, S, T, and T4) and locomotive class. Besides, quality of railway superstructure is considered in the calculation as well. If this mass is not exceeded, the train can keep particular calculated section runtime. These standard runtimes are used in the timetabling process. In many sections of the considered line, standard permissible hauled mass is very low due to inclination rates, and one or even more additional locomotives are necessary for hauling such train mass that is in lowland hauled by one locomotive only. That is the reason for design of additional locomotive service.

For timetabling purposes it was necessary to analyze current passenger timetable on the considered and adjoining railway lines. Then, considering minimum departure headways and another minimum headways, resulting available capacity for additional locomotive service could be estimated. Subsequently, freight train paths could be scheduled. The bottleneck section is between Tišnov and Brno-Maloměřice stations, due to 15 min peak period of suburban trains and 60 min peak period of fast trains. As a result, three train paths per hour and direction are theoretically available for freight trains. Scheduling of more than one freight train path between two suburban trains would very likely lead to unstable operation with complicated reduction of delays. Analysis of the timetable on adjoining lines (especially mainlines) was necessary due to correct linking up of freight train paths further. Because of busy operation on the line 010 from Prague to Kolín, higher delays of freight trains particularly from this direction have to be taken into account.

Based on the analysis, above all the analysis of inclination rates and standard permissible hauled mass, appropriate sections for additional locomotive service could be defined. There are proposed two categories of service: Minor Service is proposed to serve from Brno-Maloměřice to Vlkov u Tišnova. Then, the locomotive would run backwards as a locomotive train. Major Service is proposed to serve in both directions between Brno-Maloměřice and Kutná Hora hl. n. Between Kutná Hora and Kolín, no regular service is proposed, but the un/coupling of “Major Service“ locomotive can take place in Kolín if the station Kutná Hora hl. n. would be overfull by trains.

4. Analysis of Present Demand and Estimation of Prospective Demand

Before freight timetabling, the demand for additional locomotive service had to be estimated. The aim of the presented proposal is to design additional locomotive service for both trains

from 230/250 and 010/260 lines. Thus, timetables of all trains which run the whole section between Kolín and Brno on any of these lines, were analyzed.

Up to 22 such trains daily are scheduled to run through the 230/250 mainline via Havlíčkův Brod. On the 010/260 mainline via Česká Třebová, up to 47 such trains daily are scheduled to run (in 2017/18 railway timetable [6]).

5. Freight Train Categories

All trains that could represent demand for additional locomotive service were divided into six categories, according to methodology explained below.

There are only two categories for the trains in the direction from Kolín to Brno-Maloměřice: no additional locomotive needed (Zv), and one additional locomotive needed from Kutná Hora hl. n. to Brno-Maloměřice (Vv).

In the opposite direction, from Brno-Maloměřice to Kolín, freight trains were divided into four categories. If they needed no additional locomotive, they were marked Zz. If they needed exactly one additional locomotive for the whole section, they were marked Vz. If they needed only one additional locomotive only from Brno-Maloměřice to Vlkov u Tišnova, i.e. the Minor Service (there is the steepest inclination rate of the mainline), they were marked Mz. If the trains needed an additional locomotive from Brno-Maloměřice to Kutná Hora and, moreover, another additional locomotive from Brno-Maloměřice to Vlkov u Tišnova (i.e. two additional locomotives for this section), they were marked Oz.

6. Method of Classification of Freight Trains

6.1. Trains, scheduled via the 230/250 mainline

Trains with two scheduled locomotives in the whole section were classified as Vv or Vz (according to direction). Trains with additional locomotive scheduled only from Brno-Maloměřice to Vlkov u Tišnova were classified as Mz. The rest of the trains were classified as Zv or Zz. The second or additional locomotives were proposed to be replaced by additional locomotive service.

6.2. Trains, scheduled via the 010/260 mainline

First of all, standard permissible hauled mass was analyzed for every scheduled train and locomotive class, since real gross hauled mass of a train is not stated in the timetable. Thus, it was assumed that real gross hauled mass of a train was equal to its standard permissible hauled mass (for particular locomotive class) in the most restrictive, i.e. the steepest, section. Should rerouting of the train via Havlíčkův Brod be enabled, the total standard permissible hauled mass for the train must be always greater than or equal to its real hauled mass via Česká Třebová. Total standard permissible hauled mass for the train locomotive and additional locomotive(s) of the class 386 was calculated as a sum of standard permissible hauled masses, reduced by 100 t. Maximum total standard permissible hauled mass for a train (in the most restrictive section) was defined as high as 3,000 t.

Based on the method presented above, freight trains were divided into six categories (see Table 1).

Tab. 1 Categorization of freight trains

Category	Number of trains
Zv	6
Zz	0
Vv	29
Vz	5
Mz	5
Oz	24
Total	69

7. Traffic Layout

Traffic layout was designed in accordance with legislation in force. Coupled additional multi-system electric locomotive of class 386 was always considered. Maximum gross hauled mass of the train was considered as high as 3,000 t.

At Kutná Hora hl. n., the presence of two electrification systems complicates the traffic. Thus, for smoother shunting of additional locomotives, deployment of a diesel locomotive was proposed. Coupling or uncoupling of an additional locomotive requires some obligatory technical processes, e.g. brake test. Thus, a timespan of 10 min was allocated for this process. There are suitable overtaking and shunting tracks at this station – including dead-end tracks for putting additional locomotives aside. As a reserve, suitable overtaking tracks that can be used for waiting of trains before Kutná Hora were selected at Kolín node station as well.

At the station Vlkov u Tišnova, only Oz and Mz trains would stop. Due to low number and low length of overtaking tracks, stopping of a train on a through track was scheduled as a variant. However, this stopping must not disturb passenger traffic. For both categories, one additional locomotive would be uncoupled. After necessary technical processes (a timespan of 10 min was considered sufficient), it could return to Brno-Maloměřice station as a locomotive train.

There is plenty of train tracks at Brno-Maloměřice freight station. One was allocated for putting additional locomotives aside. Another two tracks were scheduled for coupling and uncoupling of additional locomotives. In the case of Oz train category, two locomotives would be coupled. All necessary processes were designed in accordance with legislation in force, resulting in 10 min timespan.

8. Timetabling

Before construction of train paths, boundary conditions had to be defined. It was actual passenger timetable [6] (mostly Integrated Periodic Timetable – see e.g. [1]), minimum headways, especially minimum platform headways at relevant stations, inclination rates and a requirement for periodicity of additional locomotive service if possible.

The designed timetable aimed to intervene in present passenger timetable as little as possible. Attention was paid particularly to periodic passenger train paths. Minimum departure headways have to be maintained along the whole train paths. If the slower train runs before the faster one, their minimum departure headway is consequently very high. Minimum platform headways had to be taken into account for regional trains running from Havlíčkův Brod to Kutná Hora at following stations: Okrouhlice, Světlá nad Sázavou, Leština u Světlé, Vlkaněč, Golčův Jeníkov and Čáslav. The freight train paths were designed so that the steepest sections would be passed through without any stop scheduled before and in these sections. Thanks to 60 min period of the train paths, systematic (i.e. periodic) and efficient scheduling of majority of additional locomotives could be provided.

Based on designed traffic layout and boundary conditions mentioned above, freight timetable for the 230/250 mainline was constructed in timetabling software FBS [3]. Freight train paths were constructed with following model (pattern) freight trains. As a train locomotive, multi-system electric locomotive class 363 was chosen. Wagons were chosen according to timetable category of particular freight train. The hauled mass was distinguished according to need for additional locomotive. Gross hauled mass of Oz and Vv trains was set on 2,500 t. Gross hauled mass of Mz and Vz was set on 1,600 t. All trains got timetable stability surcharge as high as 10% of technical (theoretical) runtime, calculated by train dynamics module of FBS software. For additional locomotives, class 386 was always chosen.

All Oz train paths and 24 Vv train paths were constructed in hourly period. For the rest of the freight trains, non-periodic train paths were constructed, so that interference in passenger timetable would be as low as possible. Unfortunately, due to strict boundary conditions, some cases of shift of regional train paths could not be avoided – mostly by non-periodic regional trains between Kutná Hora and Havlíčkův Brod.

The cut-out of the graphical timetable is displayed in Figure 1.

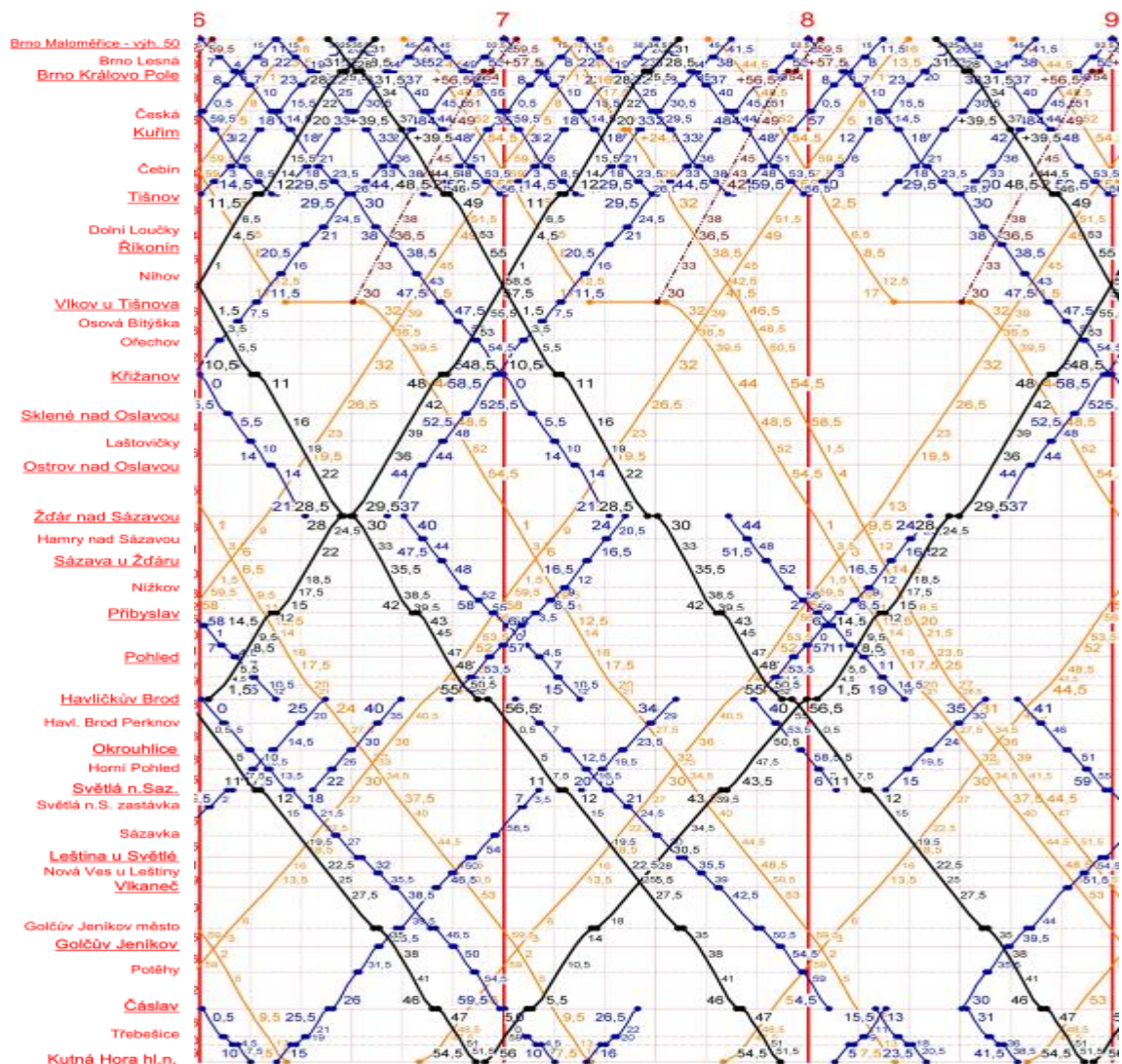


Fig. 1 Cut-out of graphical timetable. Freight trains are marked in orange and locomotive trains in violet.

9. Rolling Stock Scheduling

The schedules of locomotives for additional locomotive service were designed in accordance with proposed timetable and traffic layout. Thanks to systematic (i.e. periodic) schedule of 8 locomotives, only 11 electric locomotives and one diesel locomotive (for shunting in Kutná Hora hl. n. between two electrification systems) are necessary at one time for operation of the proposed additional locomotive service. Three locomotives outside systematic schedules are used to satisfy peak demand according to actual railway timetable [6]. As they are not scheduled to be fully utilized, these three locomotives can satisfy some unexpected demand or serve as a reserve.

10. Evaluation and Conclusion

The proposed additional locomotive service on the 230/250 mainline can be used every day by all 63 relevant freight trains, scheduled between Kolín and Brno. This service can reroute all 47 scheduled freight trains from busy 010/260 mainline if fully utilized.

Most freight train paths were constructed as periodic and as symmetric as possible. However, to achieve purely periodic additional locomotive service, it is necessary to completely reorganize passenger timetable. It is also necessary to modernize obsolete railway infrastructure, which slows down and complicates railway operation on the 230/250 mainline.

If the additional locomotive service would be launched, the majority of costs would be necessary to be allocated on rolling stock and locomotive drivers. The price of 11 new electric and 1 new diesel locomotive was estimated as high as 1,120,000,000 CZK (approximately 44,000,000 EUR). Monthly labour costs of drivers of twelve locomotives were estimated as high as 2,572,800 CZK (approximately 100,000 EUR).

The aim of this work was a contribution to development and support of freight railway in the Czech Republic. The authors hope that some results will be used in practice, and that they will help to achieve the mentioned aim.

References

- [1] Borza, V., Janoš, V., Neumann, I. 'More is less': Regular interval timetable in central Eastern Europe. In: Roth, R., Jacolin, H.: Eastern European railways in transition: Nineteenth to twenty-first centuries. UK: Ashgate Publishing Limited, 2013, pp. 327-342. ISBN 978-1-4094-2782-7.
- [2] České dráhy. ČD V15/I. Předpis pro provoz a obsluhu brzdových zařízení železničních kolejových vozidel. Praha, 2002. Unpublished.
- [3] iRFP. Fahrplanbearbeitungssystem FBS - <http://www.en.irfp.de/the-timetable-construction-system-fbs.html> [cit. 2018-09-30]
- [4] SŽDC, s.o. SŽDC D1 – Dopravní a návěštní předpis. Praha, 2018. Available online: <http://provoz.szdc.cz/portal/ViewDirective.aspx?oid=870001> [cit. 2018-07-22]
- [5] SŽDC, s.o. Prohlášení o dráze celostátní a regionální pro jízdní řád 2018. Praha, 2017. Available online: <https://www.szdc.cz/provozovani-drahy/pristup-na-zdc/prohlaseni-2018.html> [cit. 2018-07-28]
- [6] SŽDC, s.o. Sbirka služebních pomůcek pro jízdní řád 2017/18. Praha, 2017. Unpublished.

Instrumentace dělené Hopkinsonovy tyče a jejích modifikací pro testování materiálů za nárazového zatížení

Jan Faltaⁱ

Abstrakt: Tato práce řeší problematiku instrumentace dělené Hopkinsonovy tyče a jejích modifikací pro dynamická měření materiálů s nízkou mechanickou impedancí (např. kovové pěny a struktury). Zaměřuje se na návrh a realizaci součástí souvisejících se samotným záznamem deformačních pulzů z tenzometrických snímačů tak součástí pro měření průběhu deformace pomocí digitální korelace obrazu (DIC). Součástí práce je také návrh softwarového řešení, poskytující vhodný datový soubor pro předzpracování signálu a následné vyhodnocení experimentu. Použitelnost a spolehlivost implementovaného řešení je potvrzena provedenými experimenty se vzorky auxetických struktur.

Klíčová slova: SHPB, instrumentace, tenzometrie, LabView

Abstract: This paper presents custom design instrumentation of a Split Hopkinson Pressure Bar (SHPB) and its modification for testing materials with low mechanical impedance (e. g. metal foams, laser sintered structures) under shock loading. Design and implementation of the components related to the strain wave measurement based on strain gauges and displacements measurement using digital image correlation (DIC) technique are summarized in the paper. Aside from the design of the hardware components, the contribution deals also with development of a control software providing suitable data file for signal pre-processing procedure and subsequent evaluation of the experimental data. The applicability and reliability of the implemented solutions is assessed by SHPB experiments with samples of auxetic structures.

Keywords: SHPB, instrumentation, strain-gauge measurement, LabView

1. Úvod

1.1. Motivace

Mechanické vlastnosti určitých kovových struktur vykazující odlišné chování za různých rychlostí deformace mohou přitáhnout pozornost některých vědců a inženýrů. Z hlediska mechanického namáhání byla pozorována blízká vazba závislosti napětí-deformace na rozdílných zatěžovacích rychlostech. Vzhledem k tomuto pozorování je nutné popsat chování materiálu pro odpovídající zatěžovací rychlosti očekávané v praxi [1][2]. Dělená Hopkinsonova tyč (dále jen SHPB, z angl. *Split Hopkinson Pressure Bar*) se rychle stala široce využívaným zařízením, pro testování materiálů za vysokých rychlostí deformace [3]. Jeden ze směrů současného výzkumu pomocí SHPB je testování porézních struktur s pravidelnou nebo nepravidelnou vnitřní strukturou [4-6]. Na problematiku testování porézních struktur a popis mechanismů jejich deformace, se zaměřuje řada autorů. Přehled výsledků těchto publikací lze nalézt v práci G.W. Ma, Z.Q. Ye et al. [7].

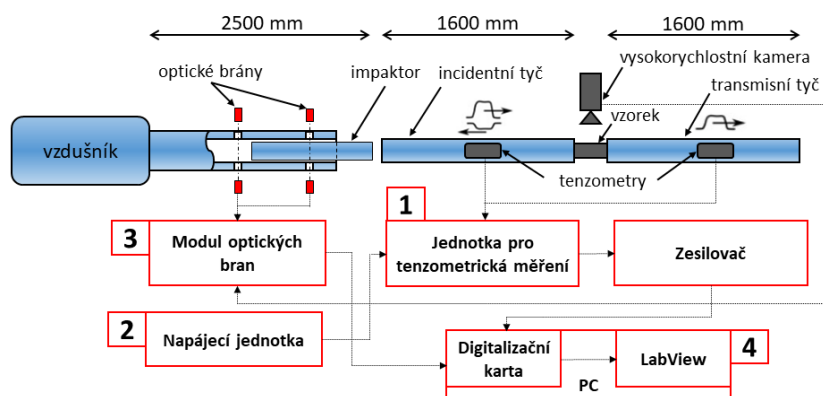
ⁱ Ing. Jan Falta, ČVUT FD, Ústav mechaniky a materiálů, Na Florenci 25, 110 00 Praha 1, faltaja2@fd.cvut.cz

1.2. Úvod

Zařízení SHPB umístěné na Ústavu mechaniky a materiálů Fakulty dopravní, je primárně navrženo pro testování materiálů s nízkou mechanickou impedancí. Vzhledem k očekávaným změnám a modifikacím měřicího zařízení (materiál měřicích tyčí, počet a typ tenzometrických snímačů), bylo nutné navrhnout vlastní řešení instrumentovaných komponent. Hlavní výhodou realizované instrumentace je plná kontrola nad zpracováním signálu, před samotným záznamem pomocí digitalizační karty v PC. Nedochozí tak k žádnému nechtěnému zkreslení měřeného signálu, jak tomu může být u komerčních komplexněji řešených zařízení. Realizované řešení také umožňuje rozšíření počtu měřicích bodů nezávisle na typu použitého tenzometru a možnost cílené redukce šumu ve zvoleném frekvenčním rozsahu. Také byla implementována možnost synchronizace externích zařízení jako je například vysokorychlostní kamera na principu signálové spouště TTL (*Transistor-Transistor Logic*). Cílem realizovaného řešení bylo zvýšení kvality a spolehlivosti pořizovaných dat a také komfort obsluhy instrumentovaného SHPB zařízení.

2. Sestava SHPB

Instrumentace byla provedena na modifikované dělené Hopkinsonovy tyči dle H. Kolskyho. Průměr impaktoru, incidentní i transmisní tyče je v současné konfiguraci 20 mm. Materiál tyčí (zpravidla hliníková slitina EN-AW-7075 nebo PMMA) se liší dle testovaného materiálu, což ovšem nemá vliv na realizovanou instrumentaci. Incidentní i transmisní tyč jsou délky 1600 mm a jejich souosý pohyb s přesností 1 mm m⁻¹ zajišťuje osm polymerních kluzných pouzder, uložených v domkách z hliníkové slitiny. Vzduchové dělo pro urychlení impaktoru je realizováno na maximální provozní tlak 16 barů. Uvolnění natlakovaného vzduchu obstarává magnetický ventil s krátkým časem otevření, navazující na ocelovou hlaveň délky 2500 mm. Incidentní i transmisní tyč je osazena tenzometry pro měření deformačních vln. Součástí zařízení je obvykle i rychloběžná kamera, zaznamenávající průběh deformace vzorku. Schematicky je celá soustava znázorněna na *obr. 1*, kde jsou označeny realizované funkční celky ({1} jednotka pro tenzometrická měření, {2} napájecí jednotka, {3} modul optických bran a {4} grafické uživatelské rozhraní v prostředí LabView) i jednotlivé funkční prvky.

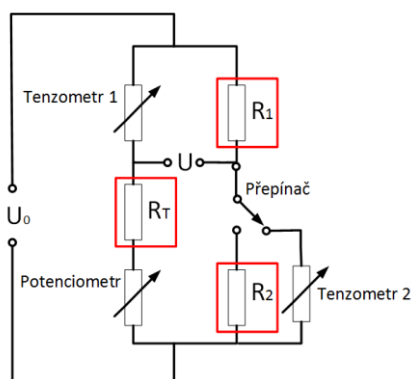


Obr. 1 Schéma sestavy SHPB s popisem funkčních částí

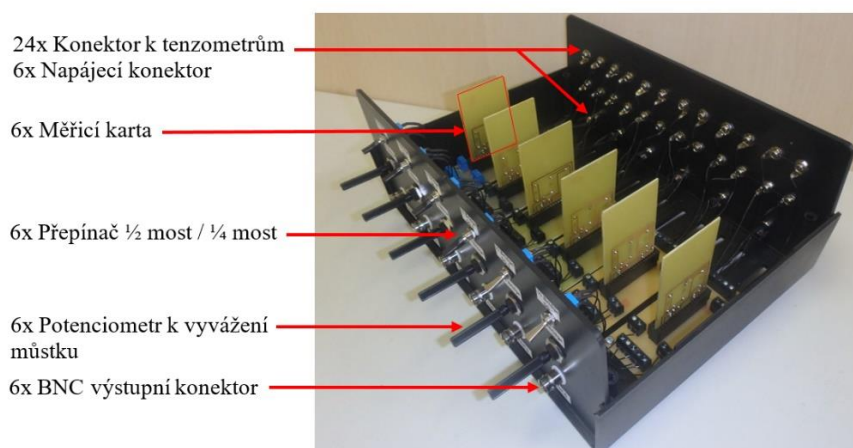
3. Instrumentace

3.1. Jednotka pro tenzometrická měření

Základní myšlenkou realizovaného řešení je vytvoření samostatných měřících karet, pevně osazených rezistory o elektrickém odporu shodném s daným typem tenzometru. Schéma zapojení pro jeden měřící bod je na obr. 2. Červeně orámované součásti se nachází na kartě, ostatní prvky jsou součástí šasi jednotky. Vyvážení můstku je řešeno přidáním potenciometru do jedné z větví můstku. Karty se nachází v patičkách s možností výměny pouze vysunutím a vložením karty jiné. Ukázka technického řešení umístění šesti karet do slotů uvnitř měřící jednotky je na obr. 3. Modul také obsahuje přepínač pro volbu mezi zapojením do polovičního můstku nebo čtvrt-můstku.



Obr. 2 Schéma zapojení měřícího obvodu



Obr. 3 Vnitřní část tenzometrické jednotky s označením funkčních částí.

3.2. Napájecí jednotka

Pro účely napájení obvodů pro tenzometrická měření byla navržena vlastní napájecí jednotka, založená na principu bateriových zdrojů. Důvodem realizace této jednotky jsou nevyhovující parametry běžně používaných laboratorních zdrojů, které vykazují vyšší zvlnění a šum výstupního signálu spolu s omezeným počtem výstupních svorek. Po sérii kalibračních testů „tyče v kontaktu“ a „tyče odděleně“ bylo ověřeno snížení šumu a zvlnění měřeného signálu při použití realizovaného bateriového zdroje. Konstrukce napájecí jednotky umožňuje umístění šesti nezávislých napěťových zdrojů pro jednotlivá měřící místa do kompaktního boxu spolu

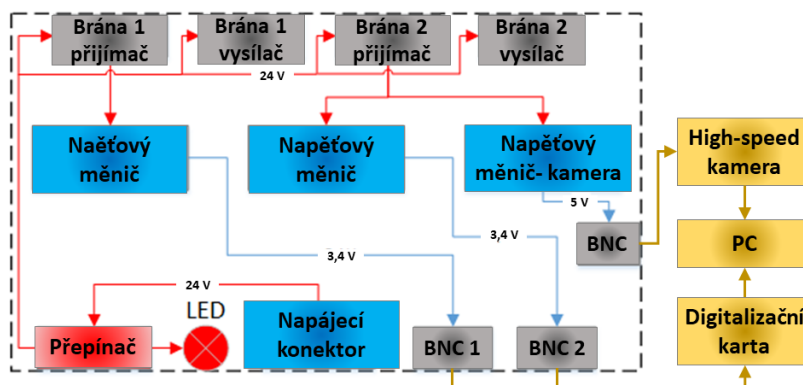
s nabíjecím obvodem a indikací plného nabití. Jako zdroj napětí byly zvoleny lithiové články s kapacitou 2600 mAh a deklarovaným výstupním napětím 4 V. U těchto článků se nepředpokládá pokles napětí během série měření, což je žádoucí. Redukce šumu výstupního signálu po realizaci napájecí jednotky činila až 80 %. Sestava napájecí jednotky a schématické znázornění elektrického obvodu je na obr. 4.



Obr. 4 Čelní strana napájecího modulu (vlevo), schéma řešení napájecího bloku (vpravo)

3.3. Modul optických bran a spouště kamery

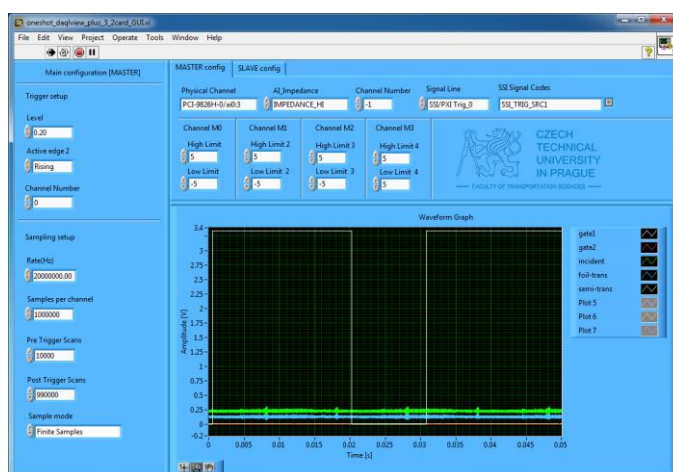
Data získaná z tenzometrických snímačů poskytují informaci o průběhu deformační vlny, nelze z nich ovšem přesně stanovit chování materiálu s komplexní vnitřní strukturou. Za tímto účelem je průběh deformace vzorku sledován vysokorychlostní kamerou (FASTCAM SA5, Photron, Japan). Pořízený obrazový záznam je vyhodnocen pomocí techniky DIC pro získání informace o posunutí v podélném směru a příčné deformaci struktury [8]. Synchronizace obrazového záznamu zajišťuje signál z optických bran ve formě TTL pulzu na vstupu kamery. Modul dále upravuje hladinu výstupního signálu z optických bran před přivedením na digitalizační kartu, kde dále slouží jako spoušť záznamu měření a pro vyhodnocení dopadové rychlosti impaktoru. Blokové schéma modulu je na obr. 5.



Obr. 5 Blokové schéma jednotky optických bran a připojených zařízení

3.4. Softwarové řešení pro záznam sledovaných veličin

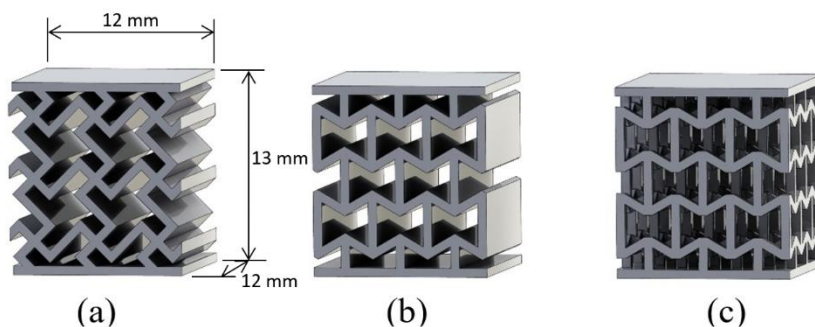
Pro realizaci softwarového řešení a uživatelského rozhraní bylo zvoleno programovací prostředí LabView (*National Instruments, USA*). Hlavním důvodem volby tohoto prostředí je široká podpora měřicích zařízení různých výrobců (třetích stran) a jejich snadná implementace [9]. V případě vytvořeného řešení pro SHPB slouží LabView pro řízení dvou čtyř kanálových digitalizačních karet vyhodnocujících jak signály z optických bran, tak z tenzometrických snímačů. Responzivní uživatelské rozhraní na *obr. 6* je pro lepší orientaci členěno do funkčních oddílů. Při ukládání záznamu experimentu je k naměřeným datům přidána datová hlavička, obsahující parametry provedeného měření pro následné vyhodnocení v prostředí Matlab (*Mathworks Inc.*). Výsledný soubor je uložen ve formátu *.ini (z angl. *Initialization file*).



Obr. 6 Grafické uživatelské rozhraní v prostředí LabView

4. Ověřovací experiment

Ověření správné funkce všech dílčích částí realizované instrumentace jako celku bylo provedeno v rámci testování deformačního chování auxetických struktur pro rozdílné rychlosti deformace. Auxetické struktury jsou materiály se záporným Poissonovým číslem, vykazující vlastnosti vhodné pro aplikace vyžadující vysokou absorpci energie [10]. Testovány byly tři typy auxetických struktur: *2D cut missing-rib*, *2D inverted honeycomb* a *3D inverted honeycomb*. Tyto struktury byly vyrobeny metodou SLS ze slitiny austenitické nerezové oceli 316L - 0407. Vizualizace jednotlivých struktur je na *obr. 7*.

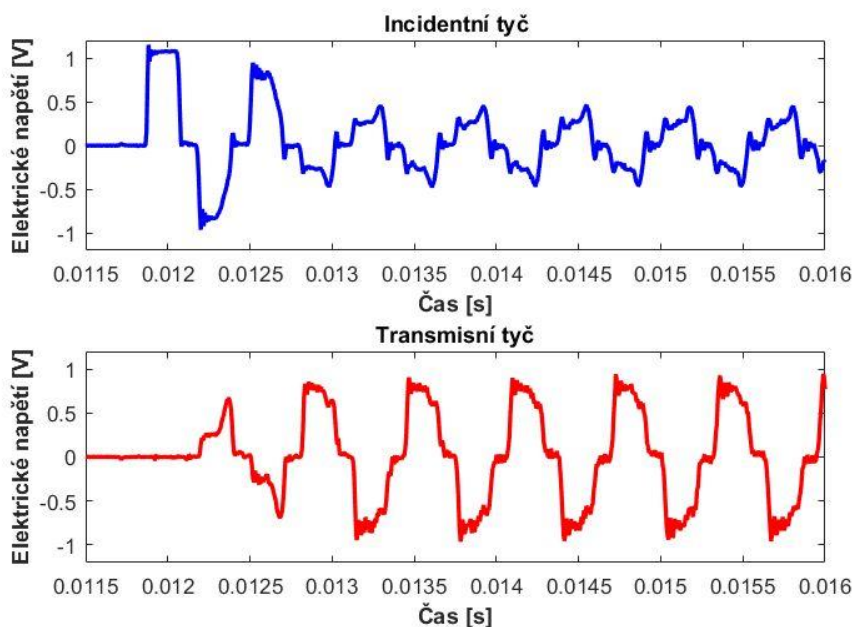


Obr. 7 Testované auxetické struktury, (a) 2D cut missing-rib, (b) 2D inverted honeycomb, (3) 3D inverted honeycomb

Vzorek byl vložen mezi čela incidentní a transmisní tyče tak, aby došlo k co nejpřesnějšímu kontaktu se vzorkem a eliminovalo se tak zkreslení deformační vlny. Konce tyčí přilehlé ke vzorku byly označeny černobílým vzorem pro následnou DIC analýzu. Incidentní vlna byla generována impaktorem délky 500 mm urychleným vzduchovým dělem při tlaku 5 bar na dopadovou rychlost 33 ms^{-1} . Proces deformace vzorku byl zaznamenán digitální rychloběžnou kamerou při 100 000 fps a rozlišení 320×192 pixelů [11].

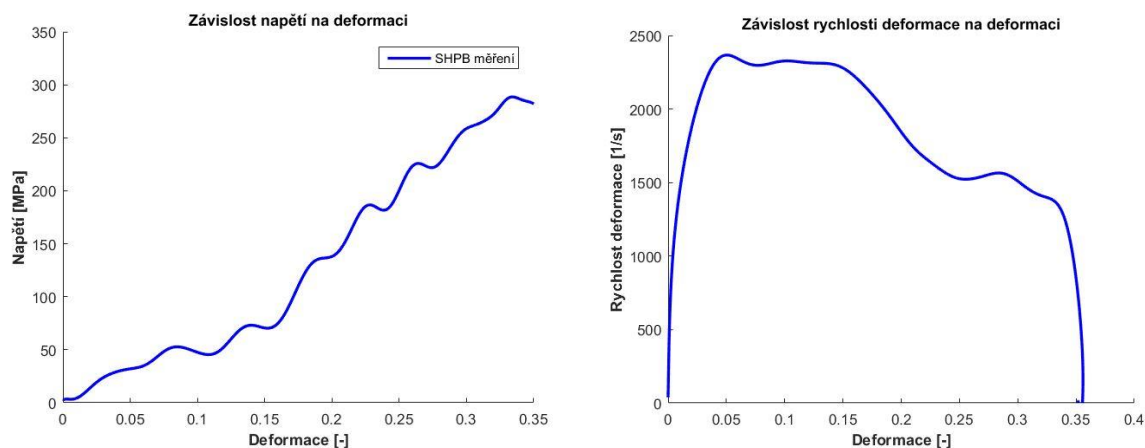
5. Výsledky měření

Jednotka optických bran spolehlivě zaznamenala průchod impaktoru první i druhou optickou branou a synchronně spustila záznam rychloběžné kamery se záznamem signálu z tenzometrických snímačů. Záznam z tenzometrických snímačů splnil všechna stanovená kritéria na kvalitu signálu. U všech vzorků byl zaznamenán průběh napětí na realizovaném měřícím bodě incidentní a transmisní tyče. Průběh měřeného signálu z tenzometrických snímačů je na *obr. 8*.



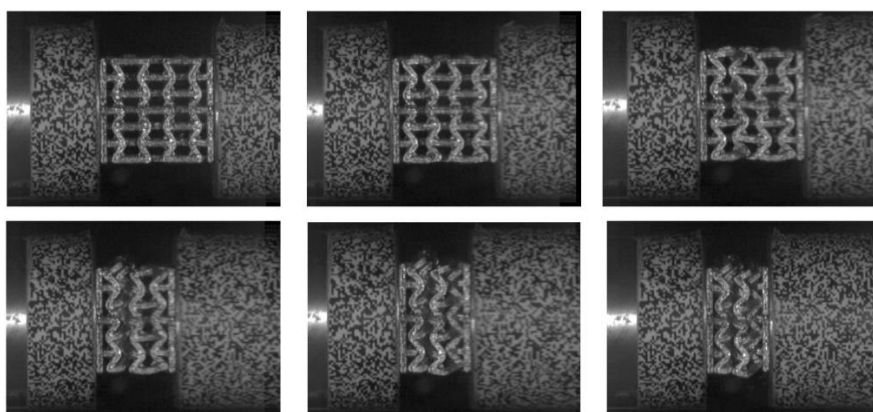
Obr. 8 Průběh měřeného signálu z incidentní a transmisní tyče

Naměřená data byla exportována, spolu s hlavičkou obsahující parametry záznamu, do formátu *.tdms pro následné vyhodnocení. Ukázka diagramu rychlosti deformace na deformaci pro strukturu 2D cut missing-rib, je na *obr. 9*.



Obr. 9 Vyhodnocená data struktury 2D cut missing-rib, závislost napětí na deformaci (vlevo), závislost poměrné rychlosti deformace na deformaci (vpravo)

Díky funkci realizované spouště kamery synchronizované jednotkou optických bran, byl pořízen obrazový záznam celého deformačního děje s dostatečným předstihem začátku deformace. Vysoce svítivá LED světla zajistila dostatečnou světelnost scény pro následné vyhodnocení pomocí DIC. Ukázka vybraných snímků zaznamenaného deformačního děje vzorku 3D inverted honeycomb je zobrazena na obr. 10.



Obr. 10 Průběh deformace vzorku 3D inverted honeycomb

6. Závěr

V tomto článku jsou popsána technická a softwarová řešení pro instrumentaci zařízení SHPB pro testování měkkých struktur a materiálů za vysokých rychlostí deformace. Všechny realizované prvky byly průběžně testovány před nasazením v ověřovacím experimentu, kde byly testovány různé auxetické struktury. Všechny instrumentované části vykazovaly požadované vlastnosti a naměřená data byla následně úspěšně vyhodnocena. Experiment také prokázal, že provedená instrumentace zvýšila kvalitu a spolehlivost pořizovaných dat a také komfort obsluhy instrumentovaného SHPB zařízení.

Literatura

- [1] A. T. Owens. Development of a Split Hopkinson Tension Bar for Testing Stress-Strain Response of Particulate Composites under High Rates of Loading. M.sc. thesis, Faculty of Auburn University, 2007.
- [2] K. Evans, A. Alderson. Auxetic materials: Functional materials and structures from lateral thinking! *Advanced Materials* 12(9):617–628, 2000. Cited By 406, doi:10.1002/(SICI)1521-4095(200005)12:9<617::AIDADMA617>3.0.CO;2-3.
- [3] P. Wang, S. Xu, Z. Li, et al. Experimental investigation on the strain-rate effect and inertia effect of closed-cell aluminum foam subjected to dynamic loading. *Materials Science and Engineering A* 620:253–261, 2014. Cited By 36, doi:10.1016/j.msea.2014.10.026.
- [4] O. Duncan, L. Foster, T. Senior, et al. Quasi-static characterisation and impact testing of auxetic foam for sports safety applications. *Smart Materials and Structures* 25(5), 2016. Cited By 9, doi:10.1088/0964-1726/25/5/054014.
- [5] B. Yang, L. Tang, Y. Liu, et al. Localized deformation in aluminium foam during middle speed hopkinson bar impact tests. *Materials Science and Engineering A* 560:734–743, 2013. Cited By 18, doi:10.1016/j.msea.2012.10.027.
- [6] B. Hou, H. Zhao, S. Pattofatto, et al. Inertia effects on the progressive crushing of aluminium honeycombs under impact loading. *International Journal of Solids and Structures* 49(19-20):2754–2762, 2012. Cited By 44, doi:10.1016/j.ijsolstr.2012.05.005.
- [7] G. Ma, Z. Ye, Z. Shao. Modelling loading rate effect on crushing stress of metallic cellular materials. *International Journal of Impact Engineering* 36(6):775–782, 2009. Cited By 60, doi:10.1016/j.ijimpeng.2008.11.013.
- [8] S.-W. Khoo, S. Karuppanan, C.-S. Tan. A review of surface deformation and strain measurement using two-dimensional digital image correlation. *Metrology and Measurement Systems* 23(3):461–480, 2016. Cited By 9, doi:10.1515/mms-2016-0028.
- [9] C. Elliott, V. Vijayakumar, W. Zink, R. Hansen. National instruments labview: A programming environment for laboratory automation and measurement. *Journal of Laboratory Automation* 12(1):17–24, 2007. Cited By 124, doi:10.1016/j.jala.2006.07.012.
- [10] H. Wan, H. Ohtaki, S. Kotosaka, G. Hu. A study of negative poisson's ratios in auxetic honeycombs based on a large deflection model. *European Journal of Mechanics, A/Solids* 23(1):95–106, 2004. Cited By 71, doi:10.1016/j.euromechsol.2003.10.006.
- [11] T. Fíla, P. Zlámal, O. Jiroušek, et al. Impact testing of polymer-filled auxetics using split hopkinson pressure bar. *Advanced Engineering Materials* 19(10), 2017. Cited By 2, doi:10.1002/adem.201700076.

Numerická analýza mechanických vlastností auxetických struktur

Michaela Neuhäuserováⁱ, Petr Koudelkaⁱⁱ

Abstrakt: Tento příspěvek se zabývá numerickými simulacemi deformačního chování auxetických struktur s elementární buňkou tvaru re-entrantního tetrakaidekaedru při jednoosém tlakovém kvazi-statickém zatěžování. Z realizovaných simulací jsou inverzně vyhodnocovány vybrané mechanické vlastnosti – Youngův modul pružnosti a charakteristiky závislosti Poissonova čísla na deformaci. Hodnoceny byly především vztahy mezi těmito vlastnostmi a geometrií elementárních buněk struktur, konkrétně velikostí re-entrantního úhlu a relativní hustoty struktury. Vybrané závislosti byly analyzovány ve dvou různých módech zatížení. Numerická analýza byla provedena s využitím metody konečných prvků. Práce prezentuje výsledky pro jednotkovou buňku ve tvaru re-entrantního tetrakaidekaedru a též pro reprezentativní element objemu (RVE) jejího trojrozměrného periodického uspořádání.

Klíčová slova: auxetické struktury, re-entrantní tetrakaidekaedr, metoda konečných prvků, jednoosé zatěžování, kvazi-statická komprese

Abstract: The paper is aimed at numerical simulations of deformation behaviour of auxetic structures with re-entrant tetrakaidecahedral unit cell subjected to uni-axial quasi-static compression. Mechanical properties such as Young's modulus and the characteristics of the Poisson's ratio function of the structures were inversely estimated. The relations between these properties and the geometry of the unit cell, particularly the re-entrant angle and the relative density were evaluated. The dependencies were evaluated in two different loading modes. Finite element method was used for the numerical analysis of the problem. The results for the unit cell in the shape of re-entrant tetrakaidecahedron and also the representative volume element of its three-dimensional periodic assembly are presented.

Keywords: auxetic structures, re-entrant tetrakaidecahedron, finite element method, uni-axial loading, quasi-static compression

1. Úvod

Porézní materiály, zejména kovové pěny, jsou v dnešní době často využívány v mnoha různých technických aplikacích kvůli jejich výhodným mechanickým vlastnostem. Jejich poměrně nízká hmotnost a přitom relativně vysoká tuhost a pevnost je například předurčuje k použití v lehkých konstrukčních prvcích určených k pohlcování deformační energie [1]. Nicméně, pro konstrukce vystavené extrémním způsobům zatěžování (jako jsou nárazy vysokou rychlostí či výbuchy) nejsou tlakové charakteristiky běžných kovových pěn dostačující [2]. Proto jsou zkoumány a vyvíjeny alternativní materiály. Jedním z možných přístupů je vývoj optimalizovaných auxetických struktur [3].

ⁱ Ing. Michaela Neuhäuserová, ČVUT FD, Ústav mechaniky a materiálu, Konviktská 20, 110 00 Praha 1, neuhauserova@fd.cvut.cz

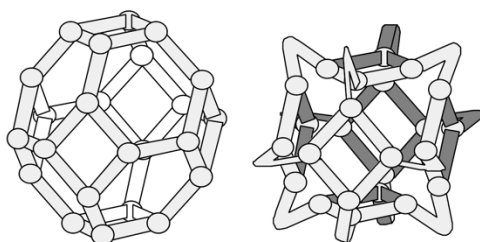
ⁱⁱ Ing. Petr Koudelka, ČVUT FD, Ústav mechaniky a materiálu, Konviktská 20, 110 00 Praha 1, koudelka@fd.cvut.cz

1.1. Auxetické struktury

Auxetické struktury jsou materiály se záporným Poissonovým číslem. Pokud se vzorek takového materiálu podélně natáhne, lze v reakci na toto namáhání pozorovat jeho příčné roztažení a naopak, pokud materiál podrobíme tlakovému zatížení, lze pozorovat příčné zúžení vzorku. Vzhledem k tomuto unikátnímu deformačnímu chování mají auxetické materiály jedinečné mechanické vlastnosti včetně schopnosti pohltit relativně velké množství deformační energie [4]. Přirozeně se auxetické materiály vyskytují jen velmi omezeně, drtivá většina z nich je vyvíjena a vyráběna uměle na základě známých geometrických modelů se známým analytickým popisem deformačního chování [5]. Moderní metody aditivní výroby umožňují přesnou produkci struktur s kontrolovanou geometrií. Proto jsou právě tyto metody využívány pro výrobu auxetických struktur a základě známých geometrických modelů [6].

1.2. Re-entrantní tetrakaidekaedr

Auxetickou strukturu s jednotkovou buňkou ve tvaru re-entrantního tetrakaidekaedru poprvé představili J.B. Choi a R.S. Lakes roku 1995 [7]. Ve své studii uvedli numerický model mechanického chování jednotkové buňky stejně jako základní ověřující experiment pro strukturu tvořenou nepravidelným uspořádáním jednotkových buněk. Data získaná na základě analytického popisu i experimentálně získaná data indikovala potenciální auxetický charakter vybrané struktury. Geometrie auxetické buňky tvaru re-entrantního tetrakaidekaedru vychází z běžného tetrakaidekaedru, tedy pravidelného čtrnáctistěnu sestávajícího se ze šesti čtvercových stěn a osmi šestiúhelníkových stěn. Modifikace běžné buňky, spočívající v posunutí čtvercových stěn do vnitřního prostoru buňky a současného ohybu spojovacích žebor těchto stěn dává za vznik právě re-entrantní buňce. Pro lepší představu, schémata geometrií běžného a re-entrantního tetrakaidekaedru jsou na Obrázku 1.



Obr. 1: Geometrie běžného tetrakaidekaedru (vlevo) a re-entrantního tetrakaidekaedru (vpravo) [7]

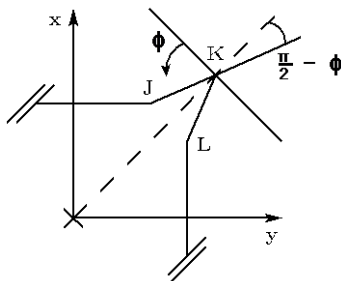
Tato geometrie jednotkové buňky byla pro numerickou analýzu vybrána zejména kvůli své prostorové symetrii, v důsledku které má auxetická struktura vytvořená na její bázi potenciál být mechanicky ortotropní [8]. Taková struktura tedy může vykazovat auxetický charakter ve třech ortogonálních směrech na rozdíl od jiných auxetik, která mají ve většině případů záporné Poissonovo číslo pouze v jednom či dvou ortogonálních směrech [5].

Jak již bylo výše zmíněno, mechanické chování elementární buňky tvaru re-entrantního tetrakaidekaedru bylo analyticky popsáno v [7]. Uvedený analytický model přitom vychází z geometrických aspektů deformací, jež nastávají ve struktuře, pokud je zatížení aplikováno na čtvercové stěny buňky. Vztahy (1) a (2) popisují analytický průběh závislosti Poissonova čísla na deformaci v elastické a plastické oblasti deformace [7]. Úhel φ odpovídá velikosti re-entrantního úhlu a je schematicky znázorněn na Obrázku 2. Úhel θ je dále odvozen z téhož schématu, jelikož odpovídá úhlu, o který se pootočí část žebra JK kolem bodu K při velkých

deformacích. Z uvedených vztahů je zřejmé, že tento model je založený na úhlech, které svírají žebra zalomená směrem do vnitřního prostoru buňky.

$$v_{el} = -\frac{\sin(\varphi - \pi/4)}{\cos(\varphi - \pi/4)} \quad (1)$$

$$v_{pl} = -\frac{\cos(\varphi - \pi/4 - \theta) - \cos(\varphi - \pi/4)}{\sin(\varphi - \pi/4 - \theta) - \sin(\varphi - \pi/4)} \quad (2)$$



Obr. 2: Průřezové schéma čtvrtinou re-entrantní buňky

1.3. Cíle

Cílem této studie je provedení numerické analýzy mikrostrukturálních charakteristik pro inverzní vyhodnocení efektivních mechanických vlastností auxetických struktur s re-entrantně tetrakaidedrální elementární buňkou. Za tímto účelem bylo provedeno simulované jednoosé kvazi-statické tlakové testování struktur s využitím metody konečných prvků implementované v prostředí Ansys.

2. Numerická analýza

Pro provedení numerické analýzy byla vytvořena sada parametrických skriptů, které umožnily automatizované spuštění a vyhodnocování virtuálních experimentů.

2.1. Geometrické modely

Numerické simulace byly provedeny s využitím dvou různých geometrických modelů struktury. Byly zkoumány modely jednotkové buňky jako takové a dále též modely reprezentativního elementu objemu (*Representative Volume Element* - RVE) struktury vzniklé pravidelným trojrozměrným umístěním elementární buňky do prostoru. Analýza elementární buňky byla provedena zejména pro účely numerické verifikace analytického modelu. Její analýza je též důležitá pro získání znalosti deformačních procesů na elementární úrovni struktury. Nicméně data získaná z analýzy deformační odezvy modelu RVE jsou spíše vypovídající vzhledem k potenciálnímu reálnému využití takové struktury.

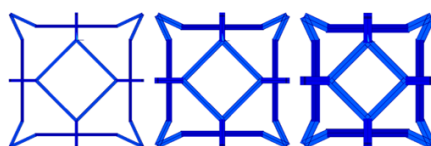
Rozměry jednotkové buňky jsou $2,3 \times 2,3 \times 2,3$ mm, jelikož délka základního nosníku struktury (jedna strana čtvercové stěny buňky) byla rovna 1 mm. Velikost RVE byla stanovena na základě analýzy Youngova modulu pružnosti struktur tvořených narůstajícím počtem jednotkových buněk. Pro nižší počet buněk se hodnota Youngova modulu pružnosti struktury velmi odlišovala, nicméně s narůstajícím počtem buněk hodnota této charakteristiky konvergovala k asymptotické hodnotě. Nejmenším počtem buněk, u kterého byla pozorována tato

konvergence, je dvanáct podél jedné souřadné osy. Proto byl i tento počet zvolen jako reprezentativní element objemu struktury, který obsahuje dvanáct buněk podél jedné souřadné osy a celkem tedy 1728 elementárních buněk. Konkrétní rozměry RVE jsou $27,6 \times 27,6 \times 27,6$ mm.

Geometrické modely byly generovány s proměnnými parametry, konkrétně velikostí re-entrantního úhlu a relativní hustoty struktury. Význam re-entrantního úhlu je schematicky znázorněn na Obrázku 2 a jeho velikost určuje míru uzavření vnitřního prostoru buňky jejím povrchem (čím větší je re-entrantní úhel, tím více je buňka uzavřená a naopak). Relativní hustota struktury je dána objemovým poměrem pevné fáze ve struktuře a v modelech je měněna prostřednictvím tloušťky nosníků tvořících strukturu. Na Obrázku 3, resp. 4, je znázorněn vliv těchto parametrů na výslednou geometrii elementární buňky.



Obr. 3: Vliv zvětšující se velikosti re-entrantního úhlu na geometrii elementární buňky (zleva doprava)



Obr. 4: Vliv zvyšující se relativní hustoty na geometrii elementární buňky (zleva doprava)

2.2. Materiálový model

Konstrukční materiál struktury byl simulován s využitím lineárně-elastického isotropního materiálového modelu. Jeho parametry, konkrétně Youngův modul pružnosti a Poissonovo číslo, byly nastaveny na hodnoty, jež odpovídají práškové nerezové oceli SS 316L-0407 od firmy Renishaw. Konkrétní hodnoty jsou uvedeny v Tabulce 1. Tento materiál byl zvolen, jelikož je běžně používán pro aditivní výrobu metodou SLS (tzv. selektivní laserové spékání, *Selective Laser Sintering*). V návaznosti na tuto numerickou studii budou s využitím tohoto materiálu vyrobeny reálné vzorky struktur pro realizaci validačních experimentů.

Tab. 1: Parametry materiálového modelu

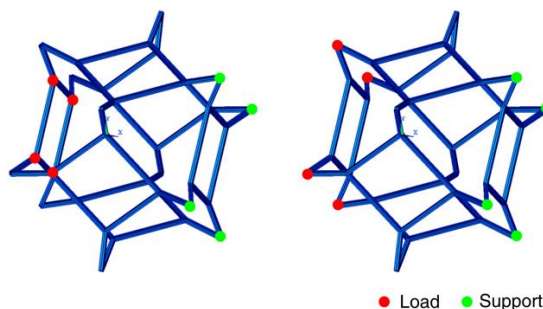
Parametr	Hodnota
Youngův modul pružnosti	190 GPa
Poissonovo číslo	0,27

2.3. Síť konečných prvků a numerické okrajové podmínky

Za účelem provedení numerických analýz byly vytvořené geometrické modely převedeny na síť konečných prvků. Použity byly trojrozměrné nosníkové elementy s lineární tvarovou funkcí se šesti stupni volnosti v každém uzlu.

Okrajové podmínky byly definovány ve vybraných uzlech modelů. Všechny stupně volnosti byly odebrány ve všech uzlech s maximální souřadnicí ve vybraném směru, čímž byla

vytvořena jedna podpora při virtuální tlakové zkoušce. Co se týče zatížení, byly analyzovány dva různé módy. V prvním módu bylo zatížení aplikováno na uzly ve vrcholech čtvercových stěn elementárních buněk. V druhém módu bylo zatížení definováno ve vrcholech trojúhelníkových stěn. Na Obrázku 5 jsou schémata se zvýrazněnými uzly, ve kterých byly definovány okrajové podmínky pro oba módy zatížení. První z popsáných zatěžovacích módů byl analyzován zejména proto, že takto je definuje zatížení i zmíněný analytický model re-entrantního tetrakaidekaedru [7]. Nicméně, druhý z analyzovaných módů spíše odpovídá způsobu, jakým by se zatížení přenášelo do struktury při reálném kompresním experimentu.



Obr. 5: Okrajové podmínky v prvním zatěžovacím módu (vlevo) a ve druhém zatěžovacím módu (vpravo)

Zatěžování bylo vždy řízeno předepsaným posunutím. Pokud bylo účelem simulace vyhodnocení Youngova modulu pružnosti, pak byly modely zatíženy v jednom zatěžovacím kroku do 2% deformace. Charakteristiky Poissonova čísla v závislosti na deformaci byly pak vyhodnocovány ze simulací se zatížením ve více zatěžovacích krocích. Model RVE byl kvůli časové náročnosti výpočtů zatěžován v pěti krocích do 5% deformace, model jednotkové buňky byl vzhledem k výrazně menší časové náročnosti výpočtů zatěžován ve 30 zatěžovacích krocích do celkové deformace 10 %.

3. Výsledky

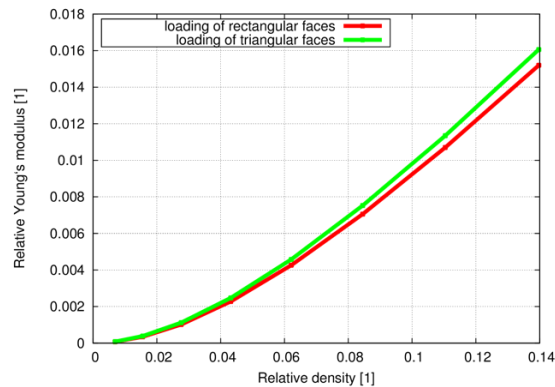
Z výsledků numerických simulací byly inverzně stanoveny vybrané materiálové charakteristiky struktur. Konkrétně se jedná o Youngův modul pružnosti, respektive poměrný Youngův modul pružnosti (poměr Youngova modulu pružnosti struktury a Youngova modulu pružnosti použitého konstrukčního materiálu) a Poissonovo číslo struktury. Byl analyzován zejména vztah těchto charakteristik a geometrických parametrů modelovaných struktur – velikostí re-entrantního úhlu a relativní hustoty struktury. Mechanická odezva vybrané auxetické struktury byla též hodnocena v závislosti na dvou různých způsobech zatížení. Vybraným výsledkům provedené numerické studie jsou věnovány následující podkapitoly.

3.1. Poměrný Youngův modul pružnosti v závislosti na relativní hustotě struktury

Závislost poměrného Youngova modulu pružnosti struktury na její relativní hustotě byla analyzována na RVE struktury s elementární buňkou s re-penetrantním úhlem 70° a v obou zatěžovacích módech. Jak lze pozorovat na diagramech na Obrázku 6, hodnota poměrného Youngova modulu pružnosti struktury se zvyšuje se zvyšující se relativní hustotou. Získané závislosti mají též v obou zatěžovacích módech velmi podobný průběh.

Obdobný trend jako získané závislosti lze pozorovat obecně i u běžných porézních materiálů [2]. Nicméně, konkrétní hodnoty jsou v tomto případě nižší než pro běžné pěny s otevřenými buňkami, například Gibson-Ashbyho buňky analyzované v [9]. Tento fenomén odpovídá

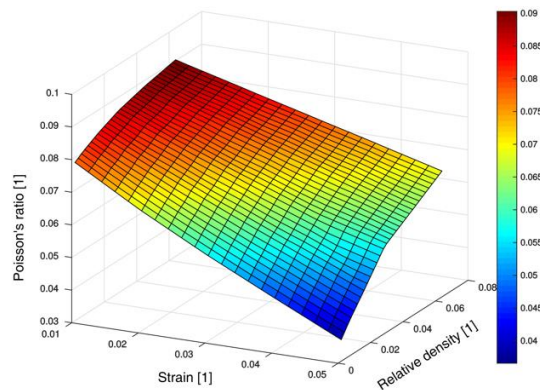
předpokladu, že auxetické struktury mají nižší tuhost a proto nižší Youngův modul pružnosti, resp. poměrný Youngův modul pružnosti než běžné porézní materiály [10].



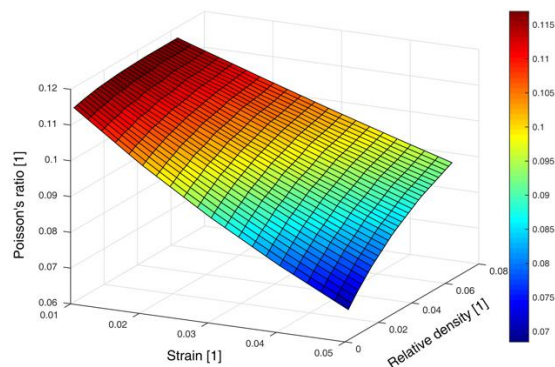
Obr. 6: Závislost poměrného Youngova modulu pružnosti na relativní hustotě struktury

3.2. Poissonovo číslo struktury v závislosti na její relativní hustotě

Dále byla též na modelu RVE struktury s re-penetrantním úhlem o velikosti 70° analyzována závislost Poissonova čísla této struktury na její relativní hustotě. Na Obrázku 7 a 8 jsou vyobrazeny získané závislosti pro oba zatěžovací módy.



Obr. 7: Závislost průběhu Poissonova čísla struktury na její relativní hustotě v prvním zatěžovacím módu



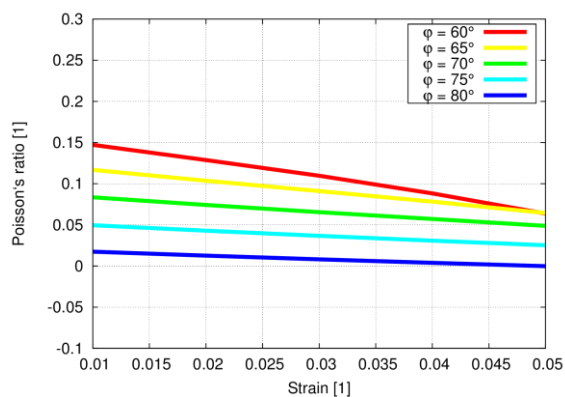
Obr. 8: Závislost průběhu Poissonova čísla struktury na její relativní hustotě ve druhém zatěžovacím módu

Ze získaných závislostí je zřejmé, že v obou případech se při zvyšující se relativní hustotě struktury zvyšují i hodnoty jejího Poissonova čísla. Tento fenomén nastává jako výsledek

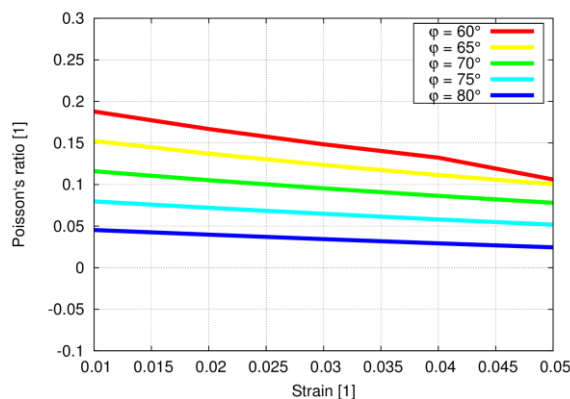
zaplňování celkového objemu modelu konstrukčním materiálem při vyšší relativní hustotě. Z toho důvodu je omezený rozsah deformací ve struktuře. Poissonovo číslo též vždy klesá se zvyšující se deformací, což je obecnou charakteristikou auxetických struktur, jejichž Poissonovo číslo je závislé na deformaci.

3.3. Poissonovo číslo struktury v závislosti na velikosti re-entrantního úhlu

Dále byla též analyzována závislost Poissonova čísla v závislosti na velikosti re-entrantního úhlu na modelu RVE struktury s relativní hustotou 0,02. Jak lze pozorovat na získaných závislostech na Obrázku 9, resp. 10, hodnoty Poissonova čísla klesají se zvětšujícím se re-entrantním úhlem v obou zatěžovacích módech. Dále si lze povšimnout, že v analyzovaném rozsahu deformací Poissonovo číslo nenabývá záporných hodnot pro většinu zkoumaných struktur. Nicméně, průběhy získaných závislostí Poissonova čísla na deformaci jsou ve všech případech klesající, a proto je pravděpodobné, že záporných hodnot této charakteristiky by mohlo být dosaženo při větších deformacích. V rámci této studie nebylo ovšem možné realizovat analýzu v takovém rozsahu deformace vzhledem k výpočtové náročnosti aktuální podoby numerického modelu. Tento model také nedefinuje kontakty částí struktur při vyšších deformacích. Za účelem analýzy většího rozsahu deformací je tedy nutné aktuální model dále modifikovat.



Obr. 9: Závislost průběhu Poissonova čísla na velikosti re-entrantního úhlu v prvním zatěžovacím módu



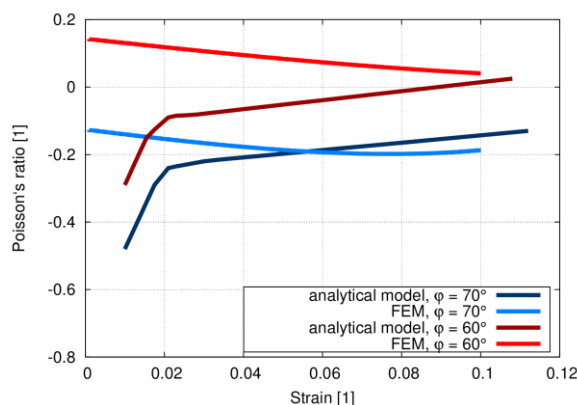
Obr. 10: Závislost průběhu Poissonova čísla na velikosti re-entrantního úhlu ve druhém zatěžovacím módu

3.4. Ověření analytického modelu

Jak bylo již zmíněno, analytický model mechanické odezvy elementární buňky ve tvaru re-entrantního tetraekaedru byl poprvé představen Choiem a Lakesem v roce 1995 [7].

V dostupné literatuře se od té doby ovšem žádné další studie této auxetické buňky či struktury vycházející z této konkrétní geometrie nenacházejí. V tomto ohledu je tedy tato numerická studie unikátní.

Analyticky stanovené průběhy Poissonova čísla v závislosti na deformaci pro dvě různé auxetické buňky (s re-entrantními úhly o velikosti 60° a 70°) jsou společně s numericky určenými průběhy téže buňky vyobrazeny na Obrázku 11. Analytický model uvažuje zatížení aplikované na čtvercovou stěnu buňky, a proto byly pro porovnání použity výsledky numerické analýzy pro první zatěžovací mód.



Obr. 11: Srovnání analyticky a numericky určených průběhů Poissonova čísla

Z uvedených průběhů – analytického i numerického – je zřejmé, že získané hodnoty Poissonova čísla jsou nižší pro buňky s větším re-entrantním úhlem. Dále je možné si povšimnout, že numerické výsledky se od těch analytických výrazněji odlišují zejména v počáteční oblasti deformací do přibližně 4% deformace. Nicméně pro větší deformace se pak numericky stanovené hodnoty Poissonova čísla již přibližují hodnotám určeným dle analytického modelu. Zmíněné počáteční rozdíly průběhů analyzovaných závislostí mohou být dány nedokonalostí analytického modelu, který je založen v podstatě pouze na velikosti re-entrantního úhlu a neuvažuje další parametry, které mohou ovlivnit deformační chování této struktury, jako například vlastní deformace jednotlivých nosníků ve struktuře atd. Nicméně tento předpoklad je nutné dále analyzovat například na komplexnějším numerickém modelu či verifikačním experimentem na reálné struktuře.

4. Závěr

Tato studie byla zaměřena na numerickou analýzu simulované mechanické odezvy struktur vycházejících z elementární auxetické buňky tvaru re-entrantního tetrakaidekaedru.

Výsledky získané z analýzy jednotkové buňky jako takové byly využity zejména pro ověření analytického modelu průběhu Poissonova čísla. Numericky stanovené hodnoty této materiálové charakteristiky byly pro deformace větší než 4 % velmi podobné těm, jež byly určeny analyticky. Tím byl numericky ověřen auxetický potenciál studované geometrie elementární buňky. Nicméně, další analýzy této struktury jsou nezbytné k tomu, aby byl plně ověřen a modifikován zmíněný analytický model, vzhledem k odchylkám v hodnotách získaných na základě popsaného numerického modelu od hodnot stanovených analyticky. Je nezbytné provést například verifikační experimenty či realizovat komplexnější numerické analýzy.

Analýza reprezentativního elementu objemu byla realizována za účelem zhodnocení efektivních mechanických vlastností periodického uspořádání jednotkových buněk. Získané znalosti vztahů mezi vybranými mechanickými charakteristikami struktur a jejich geometrických parametrů mohou být dále využity ve vývoji optimalizačních procedur [11]. V rámci takových procesů lze navrhnout optimální geometrii struktury, která bude vykazovat požadované mechanické vlastnosti.

Na závěry této studie tedy dále naváže proces optimalizace mikro-strukturálních modelů, jež budou použity pro výrobu reálných vzorků pro experimentální ověření numerických modelů při validačních experimentech. Jak bylo již nastíněno, pro výrobu reálných vzorků optimalizovaných struktur bude využito nejmodernějších technik aditivní výroby.

Literatura

- [1] Y. Sugimura, J. Meyer, M. Y. He, et al. On the mechanical performance of closed cell al alloy foams. *Acta Materialia* 1997.
- [2] P. Koudelka, O. Jiroušek, T. Fíla, T. Doktor. Compressive properties of auxetic structures produced with direct 3d printing. *Materiali in tehnologije* 2016.
- [3] T. Doktor, P. Koudelka, T. Fíla, O. Jiroušek. Finite element based structural optimization of auxetic structures. *Civil-Comp Proceedings* 2015.
- [4] R. S. Lakes. Foam structures with a negative poisson's ratio. *Science* 1987.
- [5] K. K. Saxena, R. Das, E. P. Calius. Three decades of auxetics research – materials with negative poisson's ratio: A review. *Advanced Engineering Materials* 2016.
- [6] R. Critchley, I. Corni, J. Wharton, et al. The preparation of auxetic foams by three-dimensional printing and their characteristics. *Advanced Engineering Materials* 2013.
- [7] J. B. Choi, R. S. Lakes. Nonlinear analysis of the Poisson's ratio of negative Poisson's ratio foams. *Journal of Composite Materials* 1995.
- [8] X. Hou, V. V. Silberschmidt. *Metamaterials with Negative Poisson's Ratio: A Review of Mechanical Properties and Deformation Mechanism*. Springer, Cham, 2015.
- [9] P. Koudelka, O. Jiroušek, J. Valach. Determination of mechanical properties of metal foams using microstructural models. 2011.
- [10] X.-T. Wang, B. Wang, Z.-H. Wen, L. Ma. Fabrication and mechanical properties of cfrp composite three-dimensional double-arrow-head auxetic structures. *Composites Science and Technology* 2018.
- [11] P. Koudelka, P. Zlámal, D. Kytýr, et al. On the modelling of the compressive behaviour of metal foams: A comparison of discretization schemes. *Proceedings of the Fourteenth International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing* 2013.

Situation Analysis of Roadside Advertising in Czech Republic

Karel Kociánⁱ, Josef Kocourekⁱⁱ, Luboš Nouzovskýⁱⁱⁱ, Zuzana Radová^{iv}, Zdeněk Svatý^v

Abstrakt: Článek představuje zajímavé fragmenty části projektu zaměřeného na možnost ovlivnění bezpečnosti silničního provozu reklamními zařízeními. Řešení obsahovala mimo jiné lokalizaci a klasifikaci výskytu reklamních zařízení podél páteřní sítě pozemních komunikací ČR, statistické vyhodnocení a analýzu dopravních nehod či sledování dopravních konfliktů, psychologickou analýzu dopadu přítomnosti reklamního vybavení, analýzu počtu a délky a bodu pohledu řidiče s využitím techniky sledování očí. V rámci posuzování přímého vlivu na řidiče byly realizovány testovací jízdy zaměřené na testy distrakce pozornosti v reálném provozu s využitím metody strukturovaného pozorování Wiener Fahrprobe i principu eyetrackingu.

Klíčová slova: analýza bezpečnosti, reklamní zařízení, dopravní nehody, dopravní konflikty

Abstract: The article introduces interesting fragments of a part of the project focusing on the possibility of affecting the traffic safety by advertising equipment. The solution included, among other things, the localization and the presence classification of advertising equipment along the backbone network of roads in the Czech Republic, statistical evaluation and analysis of traffic accidents or traffic conflicts monitoring, psychological analysis of impact of the presence of advertising equipment, analysis of the number and length and the driver's gaze using an eye tracking method. In the framework of the assessment of the direct influence on the driver was realized a test drive focused on distraction tests in real operation using the Wiener Fahrprobe structured observation method and the eye tracking technique.

Keywords: safety analysis, advertisement, traffic accident, traffic conflicts

1. Introduction

Driving is often perceived as a combination of three main tasks: control, guidance and navigation [1]. To handle these tasks drivers have to:

- process various information which is related to the horizontal and vertical alignment, lane and shoulder width, channelization, traffic signs etc.;
- understand and consider traffic rules (mandatory stop, turn restriction, etc.) and interact with other road users, who may change their speed, merge, overtake a slower vehicle, etc.;
- take into account his vehicle characteristics: dimensions, acceleration and deceleration performance, stability, etc.

ⁱ Ing. Bc. Karel Kocián, CTU in Prague. Horská 2040/3, 128 03 Praha 2, kocian@fd.cvut.cz

ⁱⁱ doc. Ing. Josef Kocourek, Ph.D., CTU in Prague. Horská 2040/3, 128 03 Praha 2, kocourek@fd.cvut.cz

ⁱⁱⁱ Ing. Luboš Nouzovský, CTU in Prague. Horská 2040/3, 128 03 Praha 2, nouzovsky@fd.cvut.cz

^{iv} doc. Ing. Zuzana Radová, Ph.D., CTU in Prague. Horská 2040/3, 128 03 Praha 2, radova@fd.cvut.cz

^v Ing. Zdeněk Svatý, CTU in Prague. Horská 2040/3, 128 03 Praha 2, svaty@fd.cvut.cz

If these conditions are not met, the driver can quickly lose the ability to manage the traffic situation. At first, the driver tends to limit the attention to activities that are not directly related to the driving and if that is not enough, the driver performance becomes susceptible to misjudgements and driving errors. Part of the driver's attention may also be diverted by the presence of stimuli that are not relevant to the driving task, such as eye-catching advertisement, panoramic view or roadside activities [2]. The number of possible distractions, especially in urban areas, is relatively high. Therefore, very often the amount of information in the road area exceeds the human ability to perceive and process at the normal driving speed.

As mentioned above, one of the elements that use the driver's brain capacity and to some extent loads the processing of information are the advertising messages [3]. Particularly, the advertisements located in the immediate vicinity of the road. This paper aims to presents in detail the main outcomes of a research project whose main objective was to determine the influence of advertising equipment (AE) on road traffic safety. Proposed solutions are based on combination and synthesis of various methodological approaches, including statistical evaluation and analysis of traffic accidents, monitoring of traffic conflicts, psychological analysis of impact of the presence of AE on the driver in real and simulated scenarios, analysis of the number and length and the point of driver's gaze utilizing Eye-tracking techniques and assessment of the AE as a light emitting object.

2. Analysis of the Situation on the Selected Road Network in Terms of Advertisement

In the first phase of the project was realized the monitoring of the current situation on the selected road network. The situation was documented by an image record which provided the basis for analysis of the current state on motorways, first class roads and selected roads of large urban agglomerations in terms of advertisement and especially LED billboards with variable screen. The method used is also used for the road safety inspection [4], i.e. the execution of the inspection using an inspection vehicle. The crew is the inspection team with the road safety auditor (one-off inspection of the selected road network) to identify all the shortcomings and risk factors that may contribute to the occurrence of accidents or aggravate their consequences.

Identification of traffic-safety deficiencies was carried out based on driving through the road network and subsequent additional visual assessment of the intelligibility and safety of the road from the driver's point of view. The passage was implemented by the "back and forth" passes. Both the driver and the pedestrian perceive the environment of the road in each direction differently, so what can be safe in one direction, in the opposite may not.

During this phase, individual AE was categorized and recorded in the form. The property categorization of AE (sorting into individual groups) took into account the following attributes:

- Photograph of AE object
- GPS coordinates
- Number of AE of the same character
- Way of AE execution
- Background of AE at night

- Presence of AE near traffic signs
- AE area
- Position relative to the direction of the AE's chainage
- Perpendicular distance of AE from horizontal road marking
- The elevation level of AE in relation to the vertical alignment of the road
- Position of AE relative to the road axis
- Position of AE by section of the road
- Position of AE according to cadastral territory
- Influencing of lane directions
- Traffic flow parameters

The basic categories listed above generally include 38 subcategories that clearly specify the nature and character of localized AE. These subcategories can be assigned to the above-mentioned basic groups to outline the scope.

MK 5. května - P uzel 4016 - 4015 TSK Praha Riziko nedefinováno ID 22787 [1]		Autor: Vozcar Vytvořeno: 2016-08-12 18:17:12 Aktualizoval: Vozcar Aktualizováno: 2016-08-12 18:23:28
	Lokalizace:	
	<p>GPS: N: 50° 02' 34.621" E: 14° 27' 40.063"</p> <p>Katastrálního území: Intravilan - Praha</p> <p>Najvyšší dovolená rychlost: 50 km/h</p> <p>Intenzita na hlavní PK: 40009 voz/24h</p> <p>Intenzita na vedlejší PK: voz/24h</p> <p>Poloha RZ vůči směrovému vedení PK: V přímé nebo téměř v přímé</p> <p>Poloha RZ dle úseku: Mezikřížovatkový úsek</p>	
Parametry reklamního zařízení		
<p>Pozadí v noci: Osvětlená scéna</p> <p>Plocha: Velká</p> <p>Poloha RZ vůči jízdnímu směru: Vlevo</p> <p>Počet ovlivněných jízdních směrů: Jeden</p>	<p>Kolmá vzdálenost RZ od VDZ V 4: 70 m</p> <p>Výšková úroveň RZ ve vztahu k niveletě PK: Standard</p> <p>Provedení zobrazení RZ: Aktivní</p> <p>Dynamická - Poměr plochy vyznačující světlo nad 75% (téměř celá)</p>	<p>Vyskyt RZ v okolí dopravního značení: Ne</p> <p>Poznámka:</p>

Fig. 1 Illustrative sample of form for registration of monitored parameters

The main purpose of the inspection was to identify all the traffic accidents risks and recommendations for their removal or mitigation with a focus on advertising equipment and especially LED billboards with variable screen. A camera record, GPS localization and the chainage of the road were used in parallel to locate the advertising equipment. In total, all motorway sections in the Czech Republic (approximately 1,120 km), selected first class roads (about 950 km) and local roads in the capital city Prague (about 75 km) were analysed. The total length of the road network is approximately 2,145 km, where almost 4,700 advertising equipment was located. The following charts show the representation of AE in the municipality and outside the municipality on the different types of roads.

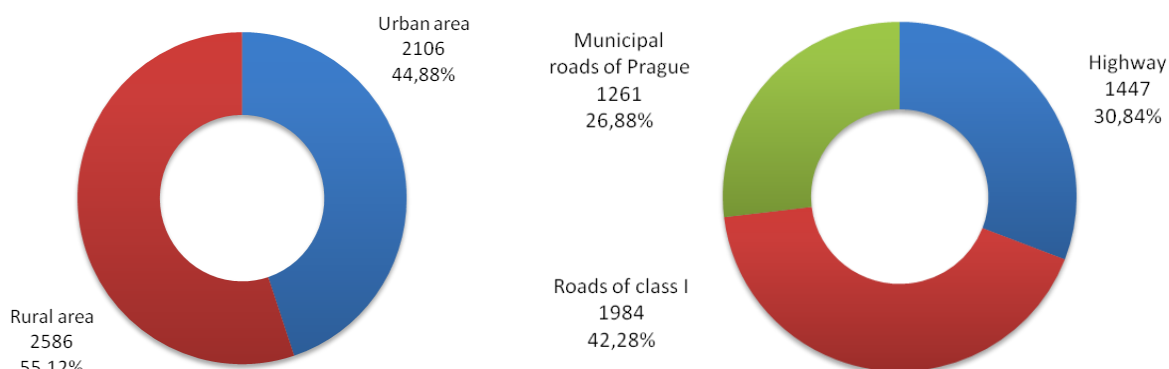


Fig. 2 Amount of AE according to location

3. The Statistical Evaluation and Analysis of Traffic Accidents and Monitoring of Traffic Conflicts

In terms of the accident analysis on selected road networks, the baseline data obtained from the JDVM, where a subset of traffic accidents has been identified for the period from January 1, 2013 to December 31, 2015 (the accident statistics mentioned are within 24 hours of the accident). These data are from “Road Accident Data Collection Form”, which do not contain a more detailed description of the place, process or beginning of the accident and it serve mainly for statistical purposes. However, those data are valuable enough for this research. Based on experience from expert practice and other basis, some traffic accident data were checked, expanded or repaired (e.g. chainage – value and direction).

The road accident database does not have direct information about the influence of the accident participants by the advertising equipment, so the application of the empirical knowledge and experience of the road safety auditors was necessary. The main object was to correctly identify all the parameters in the registered accident database, which serve to the subset of accidents selection that primarily involve accidents resulting from a disturbing effect from the advertising equipment located along the selected road network. According to the long-term experience of the research team was effective to create a subset of accident incidents caused by vehicle drivers unaffected by the use of alcohol, with the main cause of the “non-observance of safe distance” and “not paying attention to driving” accident.

One of the tasks of this part of the project was to identify 30 sections that are subject to further investigation (traffic conflict tracking, measuring the brightness of the advertising equipment, attracting of attention, etc.) in relation to the influence of AE on transport safety. Due to the placement of individual types of AE and the characteristics of the monitored road network was determined that the number of locations would be almost equally distributed to include sections influenced by LED billboards containing both – the network of urban roads (the roads in area of Prague were chosen) and the network of extravilan roads (TEN-T network).

The first group are areas where the variable AE is located. Those are with the exception of one case found only in area of Prague – it is 11 locations. The rest is located near the Austria border, behind the Dolní Dvořiště village. Their placement shows the following picture.

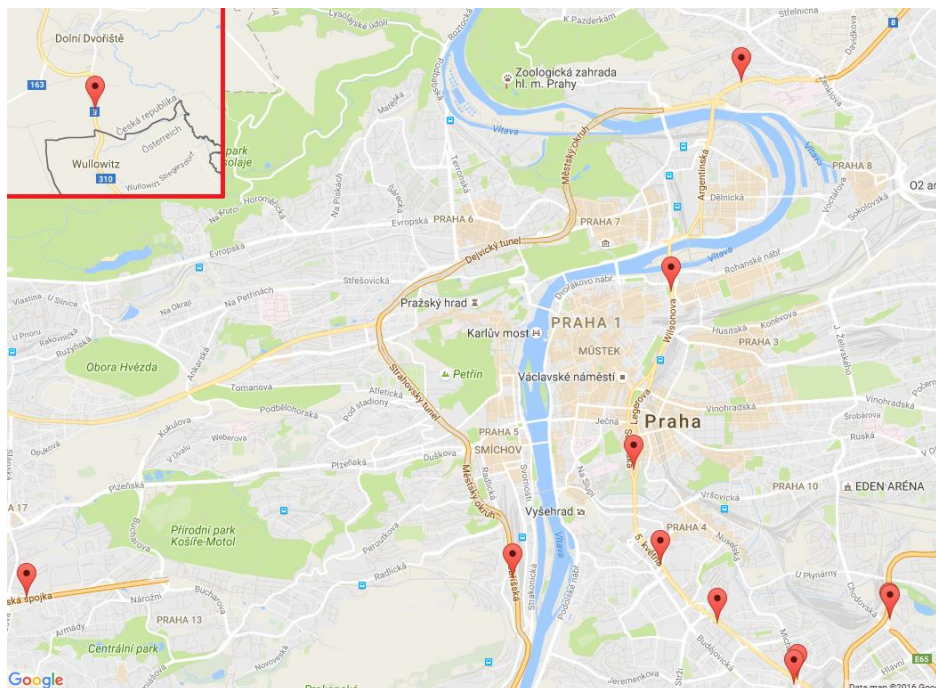


Fig. 3 Locations of LED AE (google.com/maps)

For closer localization in Prague, the numbering of sections and transport nodes of roads was used by their administrator – Technická správa komunikací hl. m. Prahy, a.s. Sections containing AE are situated on following roads:

- 5. Května (between nodes 4014 – 4013, 4014 – 4015, 2x 4016 – 4015)
- Jižní spojka (between nodes 10065 – 4096, 4016 – 4096)
- Legerova (between nodes 2011 – 2010)
- Rozvadovská spojka (between nodes 5029 – 5091)
- Dobříšská (between nodes 5126 – 5120)
- V Holešovičkách (between nodes 8027 – 7019)
- Wilsonova (between nodes 1043 – 1055)

The twelfth section is located on the I/3 road in 151 – 150 km.

These sections were complemented by two other groups of sections mentioned above. There are nine of accident sections located in Prague, selected on the basis of an integral indicator of traffic accidents. Selected sections are shown in the next figure. These are sections located on following roads:

- K Barrandovu (between nodes 5100 – 5101)
- Jižní spojka (between nodes 4101 – 4100, 4034 – 4094, 4034 – 4016, 4016 – 4015)
- Strakonická (between nodes 5033 – 5120)
- Most Barikádníků (2x between nodes 7018 – 7019)
- Průmyslová (between nodes 9054 – 10068)



Fig. 4 Localities in area of Prague

Addition to the 30 target localities was made by selecting locations on the roads belonging to or replacing the TEN-T network. Preference was given to the locations with a higher value of the integral indicator of traffic accidents and the relevance of AE. The locations are shown in the image and listed in the following list.

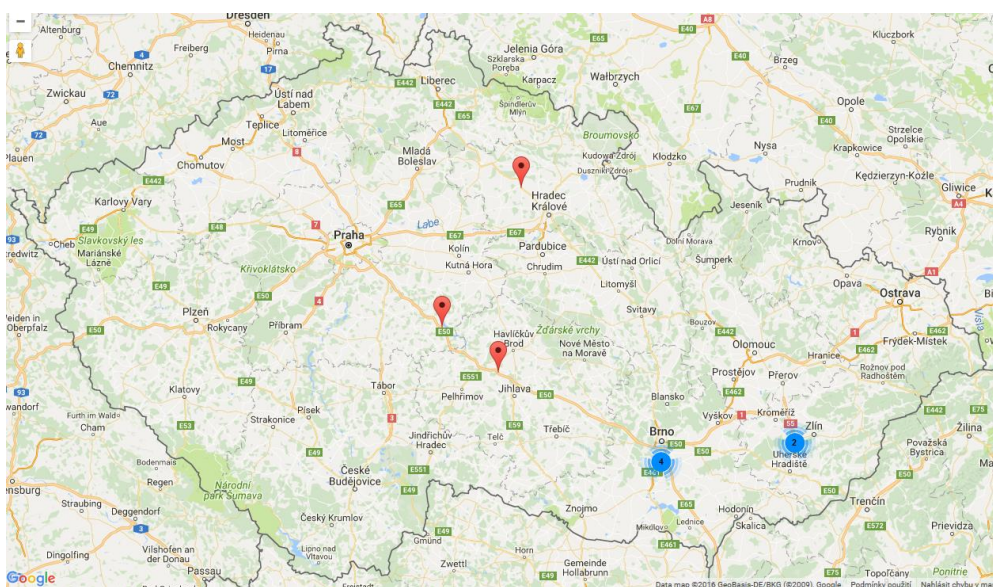


Fig. 5 Localities on TEN-T network (google.com/maps)

List of locations:

- D1 (in chainage km 59 – 60 and km 101 – 100)
- D52 (in chainage km 9 – 10)
- I/35 (in chainage km 88 – 87)
- I/52 (3x in chainage km 5 – 4)
- I/55 (in chainage km 54 – 55 and km 55 – 54)

For the purpose of monitoring traffic conflicts in terms of conducted research Traffic conflict technique was used [5]. It includes division into a total of five degrees of severity. The research

was implemented in a defined set of locations that were based on the previous methodological phase in the accident analysis. The subject measurements ran from August to September in 2016. The length of the individual research was always fixed for one hour, between 8:00 a.m. and 5:00 p.m. of the working week. The research used a recording device (digital camera) to record the movement of road users in the traffic flow. Filmed camera records were evaluated then. The methodological approach in question has an advantage in the form of a possible repetition of observed interactions and the evaluator is able to define the severity of individual conflicts.

The way the traffic survey was conducted had a significant influence whether the location was defined on the basis of the type of AE or a location defined on the basis of accident. In case of AE that affects only one traffic lane, measuring was focused only on vehicles in that lane. If it was possible to affect both traffic lanes, measuring was made for both lanes. In sections defined by accidents were considered both traffic lanes when calculating the relative conflict.

To further examine this issue, 15 of identified locations, defined by the traffic conflict evaluation, were inspected in greater detail. Evaluated parameters were not only the road characteristics (spatial layout, traffic arrangement, equipment, speed limit) but also the advertising device itself (display method, specific parameters, location in relation to the road). The result of this approach showed a correlation between the character of the monitored area and the behaviour of individual road users.

- When identified dependencies were defined, the research team also took into account that the observed interactions between participants in the traffic flow are not only caused by the negative impact of advertising equipment. Other by default occurring disturbances, such as situations where the driver is using a mobile phone, eating, smoking or is affected by additional distracting influences, may also lead to an adverse situation.
- Nevertheless, a conclusion can be made on the base of frequency and severity of identified traffic conflicts. In terms of road safety, it is risky, respectively problematic, to place the AE in the following situations:
- At the proximity of locations where increased attention is required from the driver, such as
 - intersections,
 - sites with high traffic loads,
 - crossings with vulnerable road users (pedestrian crossings, cycling crossings),
 - vertical traffic signs (primarily signs governing the right of way, warnings, prohibitions and directional guidance) and facilities connected with traffic.
- If it generates a visual discomfort to drivers.

4. Psychological Analysis of the Impact of Advertising Equipment Presence on the Driving Quality in the Real Operation

The aim was to verify the potential impact of advertising equipment, especially the advertising equipment with Light-Emitting Diodes (AE LED) on the driver behaviour. While actual extend

of tests was limited, the results were sufficient for confirmation and evaluation of the applicability of foreign studies onto the Czech environment. The underlying assumption was that the AE LED will significantly impact the perception and attention of the driver and subsequently driver behaviour in terms of an increase of risky manoeuvres (especially of the type of "errors", "slips" and "omissions"). The evaluation was carried out using the "Wiener Fahrprobe" methodology and Eye-tracking techniques.

Firstly, a standardized driving route was identified in the city of Prague with a length of about 22 km. Each of 20 participating drivers underwent two test rides - one during a day and second at night. The route was divided into sections according to the presence of advertising messages and demands on driver's mental capacity:

- section without advertisements,
- section with "classical AE" (without LED elements),
- AE section with LED elements,
- section with dense traffic signs (including information signs above the ground),
- section with low mental load,
- section with increased mental load (merging, lane change, junctions, narrowing, etc.).

From the perspective of registered driving errors were not found significant differences between individual sections, furthermore, the differences between sections with LED AE and without LED AE were not proven. More often, the drivers made mistakes in sections with conventional AE, however, these segments were also more frequent along the route. In total, only two drivers made higher number of mistakes in sections with LED AE. Another three drivers made mistakes evenly in almost the same number of sections with LED AE and conventional AE. As the worst section was rated the area near Nusle Bridge in Prague with LED AE.

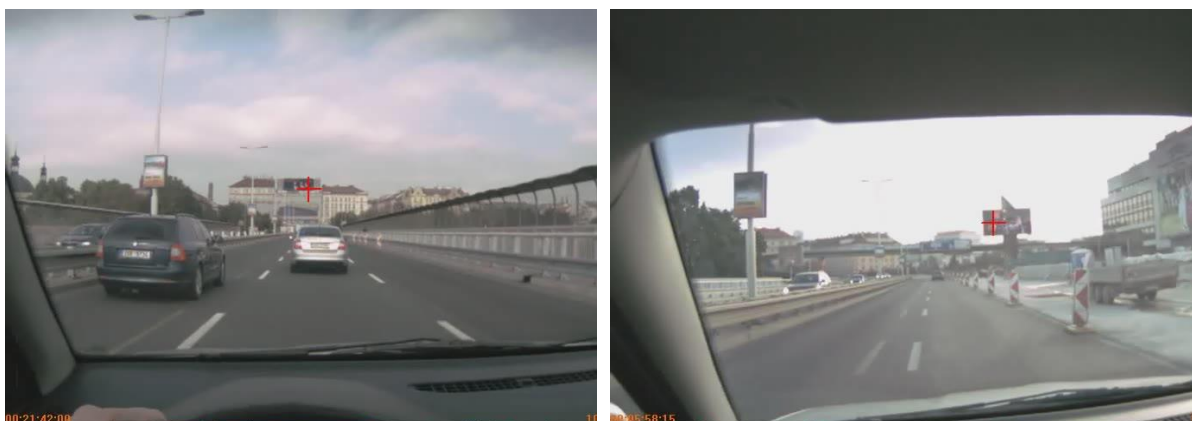


Fig. 6 The most distracting LED AEs located at the Nusle bridge from/to the city centre (concentrated look is represented by red cross)

On the basis of the number and length of views on various types of AE obtained by Eyetracking in real traffic and simulated environment, it can be said that the LED AE are more intrusive (and hence are more dangerous for the traffic) than the other types of advertisement. This conclusion is in accordance with other studies [6]. Out of 20, 15 drivers paid their attention to more than 50% of all LED AE along the road while the average driver looked only at every fourth large-sized passively illuminated advertisement. From the perspective of subjective

perceiving of the presence of LED AE, drivers expressed that LED AE affects them significantly and negatively. As the most often reason of distraction was mentioned the switching of colours, sharp lighting, dynamic change causing a dazzling and believes that the LED AE have a significant and negative impact on the traffic safety.

5. Assessment of the Advertising Equipment

Based on a synthesis of objective data obtained throughout the research together with professional audit reviews, the risk presented by the AE was categorized into four groups. The assessment of presented risks is considering not only the type of advertising devices (static x dynamic message) or location of the AE (grade intersection x multi-level intersection x section between intersections) but also other exact parameters, such as surroundings (rural x urban area), lighting conditions, distance from the road, proximity to traffic signs etc. Furthermore, the driver's subjective perception of various types of advertisement, his behaviour in sections containing different types of AE or eye movements were also considered. Thus, each group describe the level of severity (hazard) presented by individual advertising equipment with regards to their location, design and traffic situation.

Suggested categories of advertisement are namely: *risky*; *problematic*; *inappropriate* and *without risk*. Risky AE are characterised as advertisement that have a significant negative effect on the driver's attention or safety. In this category belong especially variable or moving advertisements. When such AE is perceived by the driver's peripheral field of vision. His vision is then immediately focused on the central vision. Thus, the driver's attention is distracted and the road gets into the driver's peripheral vision, i.e. into the blurred and inaccurate part of the vision. This kind of distraction is therefore very dangerous. In addition to dynamic (changing) advertisements, this category also includes AE that present a fixed obstacle, in terms of safety inspections methodology.

Problematic AE are placed close to the road and are therefore near driver's central vision and reduce his external attention. This fact can negatively affect the perception and may exceed the driver's information processing abilities. This can lead to situations where the driver have seen / registered the objects / vehicles in its vicinity, but has not perceived them (recognize what he saw). Therefore, it is recommended to remove the AE because it can lead to traffic conflicts and potentially to accidents. This category includes mainly the AE near intersections or bridge structures.

Inappropriate AE affects the driver's attention in a way greater than negligible. Furthermore, in the case of improper form or content might pose a risk. This group does not accurately quantify the specific level of risk in the system of road safety but in principle defies the idea of forgiving and easily understandable roads. AE without risks are acknowledged as normal and expected part of public space, roadside or local roads and can be perceived as something that shape the character of the surroundings. Their influence may pose a slight risk, however, not a greater than any other object placed in the immediate vicinity of the road.

According to the authors, the outcomes of this study clearly show that it is desirable to remove immediately AE identified as being risky, because they can lead to accidents or worsen the accident consequences.

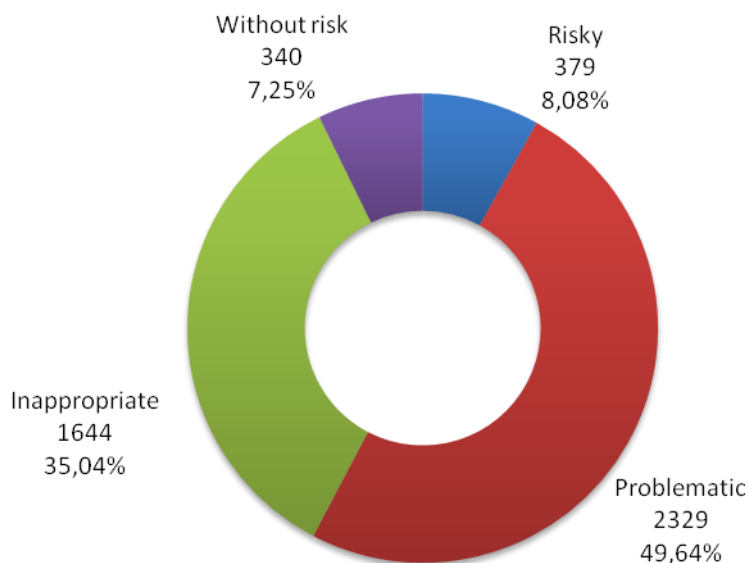


Fig. 7 Severity categories of advertisement and their quantity

6. Conclusion

Although the advertisement is not the only element that distracts the driver's attention, it has an ability to highly influence the driver's perception of the road and its surroundings, even if it is for a short period of time. Furthermore, the density of advertising equipment along roads is several times higher in the Czech Republic than in countries that have a higher level of road safety. The negative impact of advertising equipment was studied and proven within the study with several approaches. The main outcomes are proposed recommendations:

- prevention of solid obstacles formed by the structure of advertising equipment
- elimination or banning of advertising equipment in places where an increased attention from the road user (intersection, merging sections, etc.) is required
- a change in the approach towards the illuminated advertising equipment
- the ban of dynamic advertising messages.

Acknowledgment

The contribution was supported by The Ministry of the Interior of the Czech Republic – project VH20162017003 “Vliv reklamních zařízení na bezpečnost silničního provozu”.

References

- [1] World Road Association PIARC; Road Safety Manual. 2003.
- [2] Kountouriotis et al. Leading to distraction: Driver distraction, lead car, and road environment. *Accid Anal Prev.* 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2015.12.027>.
- [3] Beijer et al. Observed driver glance behavior at roadside advertising signs. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, 1899 (1) (2004), pp. 96–103 <http://dx.doi.org/10.3141/1899-13>.

- [4] CDV, v. v. i., 2013. Bezpečnostní inspekce pozemních komunikací – metodika provádění. Brno. 42 s. ISBN 978-80-86502-49-6.
- [5] Ambros, J., Kocourek, J., Kočárková, D., Padělek, T. Metodika sledování a vyhodnocování dopravních konfliktů. CDV & ČVUT v Praze, 2013.
- [6] Farby, J., Wochinger, K., Shafer, T., Owens, N., Nedzesky, A., 2001. Research Review of Potential Safety Effects of Electronic Billboards on Driver Attention and Distraction. Federal Highway Administration, Washington, DC.

Faktory působící na dynamiku soustavy jezdec - jízdní kolo

Luboš Nouzovskýⁱ

Abstrakt: Pohyb cyklisty jedoucího na jízdním kole je ovlivňován, stejně jako ostatní předměty a činnosti, fyzikálními a biomechanickými zákonitostmi. Právě zkrácenému popisu pohybu soustavy cyklista - jízdní kolo a faktorům na něj působícím je věnován předkládaný článek. Důkladné seznámení s pravidly pohybu je potřebné jednak pro správný popis pohybu, ale také pro výběr vhodných měřicích zařízení a postupů pro kvantifikaci vlivu jednotlivých faktorů.

Klíčová slova: dynamika, bezpečnost, soustava cyklista - jízdní kolo

Abstract: The movement of a rider on a bicycle is influenced, like other objects and activities, by physical and biomechanical rules. The present article is dedicated to the brief description of the movement of the cyclist - bicycle system and the factors acting on it. A thorough understanding of the rules of movement is necessary both for the proper description of the movement, but also for the selection of suitable measuring devices and procedures for quantification of the influence of individual factors.

Keywords: dynamics, safety, cyclist - bicycle system

1. Úvod

Pohyb jízdního kola lze označit za pohyb hmotného bodu. Obecně lze jízdní pohyb zatřídit do několika skupin z hlediska směru i rychlosti jízdy:

- Pohyb přímočarý - jízda v přímém směru
- Pohyb křivočarý - jízda v nepřímém směru (obloukem apod.)
- Pohyb rovnoměrný - při konstantní rychlosti
- Pohyb nerovnoměrný - zrychlený či zpomalený

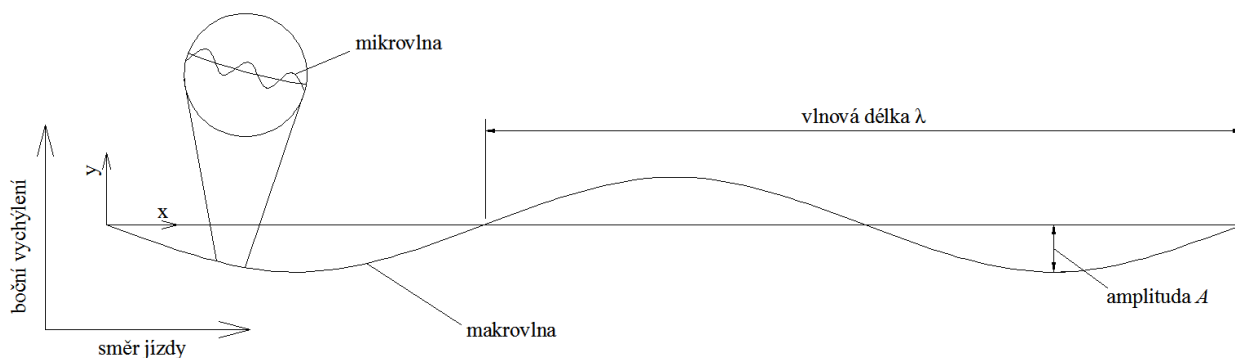
Ačkoliv mluvíme o jízdě přímočaré, v přímém směru, ve skutečnosti trajektorie cyklisty a jeho kola není přímá, nýbrž podobná sinusoidě.

1.1. Pohyb přímočarý

Z měření, která provedl Ing. Krejsa [6], bylo vyvozeno, že pohyb probíhá ve tvaru nepravidelné vlnovky. Tato trajektorie byla označena za makrovlnu. Její amplitudu i vlnovou délku může cyklista ovlivnit vlastní vůlí, koncentruje-li se plně na jízdu samotnou. Totéž ovšem nelze říci o tzv. mikrovlně. Mikrovlnou bylo nazváno kmitání jízdního kola kolem trajektorie pohybu. Mikrovlny mohou být způsobeny či ovlivněny stylem jízdy, frekvencí šlapání, profilem trati, povětrnostními podmínkami či nerovnostmi povrchu.

ⁱ Ing. Luboš Nouzovský, ČVUT FD, Ústav soudního znaleství v dopravě, Horská 2040/3, 128 03 Praha 2, Prague, nouzovsky@fd.cvut.cz

Z provedeného výzkumu [6] z 80. let 20. stol. vyplývá, že délka makrovlny se pohybuje mezi 10 m a 40 m, maxima mikrovlny se opakují po ujetí 2 m až 5 m. Nižší hodnoty platí pro děti a méně zkušené cyklisty, naproti tomu vyšších hodnot dosahují zkušení cyklisté. Velikost příčného vychýlení jako součtu amplitud mikrovln a makrovln byla určena v rozmezí 0,5 m až 1,5 m na obě strany od osy pohybu při sledování pohybu před sebou a v závislosti na kvalitách jezdce. K dalšímu zvětšení dochází při sledování provozu za cyklistou, tedy při otočení hlavy zpět. U zkušených cyklistů může dojít k navýšení o 1 m, u méně zkušených jezdců a dětí až o 2 metry. Avšak jak dodává autor výzkumu, aby vybočení nabývalo maximálních hodnot, muselo by dojít k náhodnému sčítání kladných amplitud souhlasného směru. Dalším faktorem, který ovlivňuje velikost amplitudy mikrovln, je cyklistova rychlost. Byl vysloven názor, že čím je rychlost vyšší, tím je velikost amplitud nižší. Při jízdách z kopce za rychlosti vyšší než 25 km/h a bez šlapání mikrovýchylky téměř zmizí a trajektorie pohybu cyklisty se vyznačuje táhlou makrovlnou. [6]



Obr. 1 Znárodnění přímočarého pohybu

Obecnou rovnicí popisující kmitání a vlnění je

$$y = A \sin(\omega t + \rho) \quad (1)$$

kde y je okamžitá výchylka, A je amplituda, ω je úhlová frekvence, t je čas a ρ je fázový posun. Cyklistův pohyb lze tedy po aproximaci a matematických úpravách výhodně popsat rovnicí

$$y = A \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} x + \rho\right) \quad (2)$$

kde y je boční vychýlení, A je amplituda, λ je vlnová délka, x je ujetá přímá vzdálenost a ρ je fázový posun.

1.2. Pohyb křivočarý

Lze předpokládat, že podobně jako u pohybu přímočarého je trajektorie podobná sinusoidě a je složena z makrovln a mikrovln. Protože neproběhla měření při pohybu cyklisty obloukem, nejsou známy konkrétní hodnoty amplitudy A ani vlnové délky λ . Při jízdě obloukem se jejich výše zmíněná velikost změní, ale nebylo dosud žádným výzkumem určeno, zda se zvýší nebo naopak sníží.

2. Zhodnocení působení jednotlivých vlivů na cyklistu

Aby bylo možno vytvořit relevantní a přijatelnou analýzu pohybu cyklisty, je třeba popsat všechny vlivy působící na jezdce. Faktory je možno rozdělit ze dvou hledisek, a sice dle místa jejich působení nebo dle toho, na jakou ze zkoumaných oblastí mají vliv. Faktory lze tedy rozčlenit na vnitřní (cyklista a jeho vědomí) a vnější (prostředí, v němž se cyklista pohybuje) a na faktory, které ovlivňují způsob a trajektorii jízdy nebo bezpečnost jízdy. Většina faktorů ovlivňuje jak oblast tvaru trajektorie, tak bezpečnost.

Je zároveň vhodné konstatovat, že trajektorie, tedy konkrétně vychýlení, hraje částečně roli v bezpečnosti jízdy. Jede-li cyklista například společně s motorovou dopravou v jednom jízdním pruhu, zvyšuje se nebezpečí vzniku nehody právě s rostoucí velikostí výchylky. Avšak využívá-li komunikaci, kde nebezpečí střetu nehrozí, vliv výchylky na bezpečnost lze zanedbat. Z těchto důvodů je vliv jednotlivých faktorů na bezpečnost i změnu trajektorie vždy posuzován odděleně.

Velikost vlivu jednotlivých faktorů je posuzována ve velké většině případů pouze kvalitativně, neboť nejsou známy žádné ověřené hodnoty ovlivnění. To je mimo jiné náplní projektu Studentské grantové soutěže ČVUT č. SGS16/255/OHK2/3T/16 „Jednostopá vozidla a osobní přepravník – měření dynamiky a vlivu různých faktorů“. Rekonstrukce trajektorie jízdy je v tomto případě pouze prostředkem pro stanovení významu jednotlivých vlivů, neboť ten bude posuzován dle změny parametrů trajektorie.

Pro plné pochopení je třeba zdůraznit, že soustava jezdec - jízdní kolo se pohybuje po nepravidelné vlnovce. Tento tvar trajektorie jízdy lze po aproximaci prohlásit za shodný se sinusovým průběhem. Při jízdě ovšem vzniká i mikrovlna, což je kmitání jízdního kola kolem trajektorie pohybu (makrovlny). Velikost mikrovlny cyklista ovlivnit nemůže. Ze zřejmých důvodů je tedy využíváno matematicko-fyzikálního názvosloví. Nejvyšší hodnota, která se objevuje a opakuje po ujetí dané vzdálenosti, se nazývá amplituda A . Vzdálenost mezi dvěma amplitudami výkmitu na totožnou stranu je vlnovou délkou λ .

2.1. Povrchové vlastnosti jízdní dráhy

Na vliv povrchu trati lze pohlížet ze dvou hledisek. Jednak lze hovořit o adhezi, tedy o interakci materiálů, z nichž je tvořen pojížděný povrch, a pneumatiky bicyklu. Další možnou variantou vlivu jsou nerovnosti na pojížděné ploše (výmoly, hrboly apod.). V obou případech se jedná o faktory, které mají vliv především na bezpečnost.

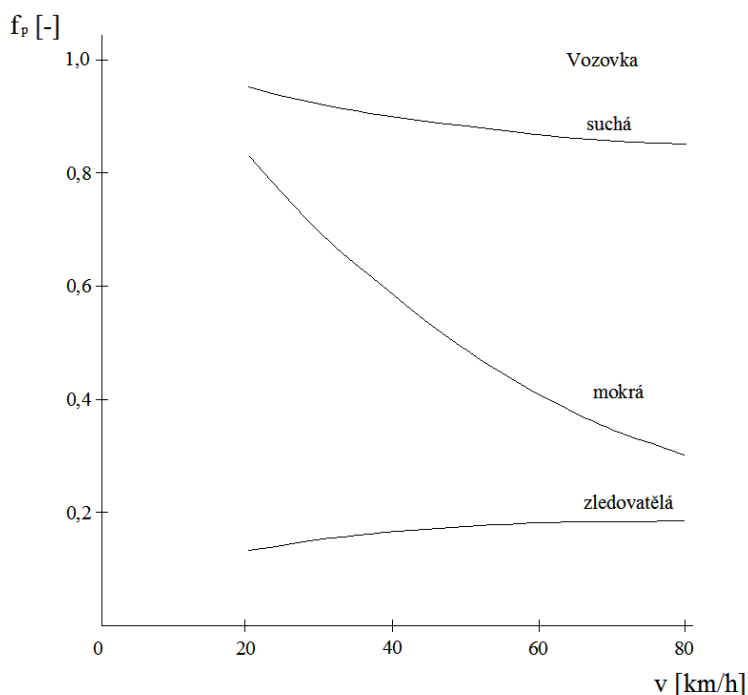
Různorodé nerovnosti na dráze vedou k jednorázovému či násobnému, ale nikoliv systematickému vybočení - nejde o změnu parametrů sinusové trajektorie. Lze tedy konstatovat, že nemají dlouhodobý vliv na parametry trajektorie. Ovšem mohou být příčinou vzniku nehodového děje - jejich vliv je patrný v oblasti bezpečnosti. Takovéto překážky lze rozdělit na pevné (výtluk, kanál), občasné, proměnlivé a nepohyblivé (kaluže). Je možno zařadit i překážky pohyblivé (chodci, vozidla), ty ale nejsou součástí povrchu jízdní dráhy.

Třením nebo adhezí se nazývá poměr mezi třecí silou působící v tečném směru ve stykové ploše pneumatiky s vozovkou a normálovou silou působící ve směru normály, tedy kolmo k stykové ploše pneumatiky s vozovkou.

Tření patří k faktorům ovlivňujícím bezpečnost. Na suchých vozovkách je součinitel tření vysoký a dovoluje tak bezpečné manévrování v podélném i příčném směru. Na zledovatělých nebo zasněžených vozovkách nabývá koeficient tření nízkých hodnot. Na mokřích vozovkách

je velikost tření závislá na mnoha faktorech, mezi nejvýznamnější patří vlastnosti jízdniho povrchu, tloušťka vodního filmu a rychlost jízdy. [7]

Obecně lze konstatovat, že vozovky, jejichž povrch je zcela hladký, jsou za mokra kluzké. Existují rovněž vozovky drsné. Na každém druhu povrchu (beton, živice, dlažba) však hodnoty součinitele adheze pneumatik za mokra klesají se vzrůstající rychlostí jízdy. [8]



Obr. 2 Závislost součinitele podélného tření na stavu vozovky [8]

Druh a stav pneumatiky (ojetí) má rovněž velký vliv na velikost adheze a bezpečnost jízdy. Typ pláště ovlivňuje adhezní vlastnosti pneumatiky zvláště za mokra. Na náledí nemá konstrukce pláště žádný významný vliv na adhezi. Opotřebenění dezénu pneumatiky snižuje hodnoty součinitele adheze na mokré vozovce. Na suché vozovce je situace opačná - největší adhezi poskytuje pneumatika hladká. [8]

Vliv adheze na trajektorii lze uvažovat pouze za situací, kdy součinitel tření nabývá nízkých hodnot a dochází ke smýkání jízdniho kola. Jezdec se za takových okolností snaží udržet stabilitu, což vyžaduje větší natočení řídicích prvků. Obecně platí, že čím lepší jsou adhezní poměry na stykové ploše mezi vozovkou a pneumatikou, tím lepší kontrolu má jezdec nad jízdním kolem.

2.2. Profil trati

Pojmem profil trati je myšlena charakteristika jízdni dráhy z pohledu jejího výškového vedení, čili stoupání, rovina a klesání. Vliv profilu jako takového jak na trajektorii, tak bezpečnost je nízký. Tento vliv lze totiž do jisté míry označit za kombinace vlivů, které jsou uvedeny v následujících odstavcích.

Jen jízda ve stoupání se částečně vymyká. Zde lze uvažovat, v závislosti na velikosti stoupání, o tom, že cyklista zaujme jinou pozici, například tzv. půjde ze sedla. V takovém případě se

změní silové a momentové poměry, čímž dojde i ke změnám v podmínkách rovnováhy. Zároveň se změní i cyklistovo úsilí. Lze tedy připustit, že dojde ke zvýšení amplitudy.

Pro klesání je typická zvýšená rychlost, čímž se eliminuje vliv profilu a ten lze nahradit vlivem rychlosti a dalších faktorů. Při jízdě po rovině lze plně hovořit o tom, že vliv profilu trati je vlastně souhrnem všech vnějších činitelů, které jsou popsány.

2.3. Rychlost a styl jízdy

Faktor rychlosti má význam v bezpečnosti jízdy, ale má také velký vliv na její trajektorii, přičemž se její působení promítá do velikosti mikrovlny. Ač se na první pohled může zdát, že rychlost velikost výchylky neovlivňuje, opak je pravdou. Tato skutečnost má několik důvodů. Prvním z nich je stabilita soustavy cyklista - jízdní kolo, dalším pak skutečnost, že při různých rychlostech se mění způsob šlapání.

Jízdní kolo se nachází v oblasti nestabilní při rychlostech spadajících do rozmezí nulové rychlosti až rychlosti, kdy se dostává do oblasti stabilní. V praxi to znamená nutnost většího natočení řídítek jezdce nebo působení většího zrychlení, při čemž dochází k větším otáčkám kol. Při vyšším počtu otáček je dosahováno většího gyroskopického momentu, který působí proti vychýlení jízdního kola a napomáhá tak ke stabilitě jízdy. [9]

Obecně lze tedy říci, že čím je rychlost vyšší, tím je velikost amplitud nižší. Ukázkou může být specifický případ, kterým je například jízda v klesání rychlostí vyšší než 25 km/h a bez šlapání do pedálů. V takovém případě mikrovlna téměř zmizí a trajektorie pohybu cyklisty se vyznačuje táhlou makrovlnou. [6]

Dalším důvodem zvýšení hodnoty vychýlení je změna frekvence a stylu šlapání. Při rozjezdu používá mnoho cyklistů jiný způsob šlapání než při jízdě za konstantních, především vyšších, rychlostí. Při rozjezdu nebo akceleraci dochází také k většímu naklopení soustavy cyklista - jízdní kolo, čímž se zvyšuje i hodnota bočního vychýlení. Důvodem je mimo jiné to, že na pedály střídavě přenáší zatížení větší silou než při jízdě konstantní rychlostí. Tato situace je dobře pozorovatelná na cyklistických závodech při souboji spurtérů.

Opačným případem je decelerace, kdy cyklista na pedály žádnou sílu nepřenáší. Změna vychýlení je kromě dalších faktorů způsobena intenzitou brzdění a adhezí mezi pneumatikou a vozovkou, kdy dochází ke kmitání předního kola.

2.4. Povětrnostní podmínky

Do této oblasti jsou zahrnuty dva meteorologické činitele, a sice vliv proudění vzduchu (vítr) a vlhkost vozovky. Konkrétně se jedná o bezvětří nebo větrné podmínky, které je třeba rozlišovat na vítr v/protí směru jízdy a vítr boční, a mokrou či suchou pojížděnou plochu. Oba dva tyto okruhy jsou důležité pro bezpečnost jízdy, avšak jen vítr má zásadní vliv na trajektorii, jsou-li uvažovány přirozené adhezí podmínky (adheze mezi vozovkou a pneumatikou není blízka nule). Tento vliv působí jak na makrovlnu, tak i mikrovlnu.

Co se proudění vzduchu týče, hlavními faktory, na nichž závisí velikost ovlivnění, jsou rychlost a směr větru vůči cyklistovi a velikost ploch soustavy cyklista - jízdní kolo, na které proudění vzduchu působí. Tyto faktory společně s hustotou vzduchu a tvarovým součinitelem lze nazvat odporem prostředí.

Kromě objektivních vlivů lze připočítat i vliv subjektivní, kterým je psychická nebo i fyzická odolnost jezdce. Pro některé, především méně zkušené jezdce, může být jízda za větru

namáhává nejen po stránce fyzické, ale i psychické. Může dojít k narušení soustředěnosti a vůle cyklisty.

Je-li jezdec ovlivněn větrem ve směru jízdy, zvyšuje se jeho rychlost a tím i stabilita jízdy a dochází ke snížení amplitudy. Tento teoretický případ je ovšem možný pouze při kolmém působení větru k rovině zad cyklisty. Vane-li vítr pod jiným úhlem, což je pravděpodobnější, dochází k vychýlování cyklisty. Obdobně je tomu samozřejmě i v případě větru, který vane proti směru pohybu cyklisty.

Největší vliv má, dle předpokladů, proudění větru kolmé k cyklistovi a jeho kolu (tedy tzv. z boku). Velikost čelní plochy je závislá na zvoleném posazu cyklisty. [1] Zvolí-li cyklista napřímenou polohu, je jeho čelní plocha větší než plocha boční. Naopak v případě co nejaerodynamičtější polohy - cyklista se přikrčí - je celková velikost čelní plochy nižší. Při bočním proudění větru se ovšem maximalizuje „účinnost“ vyvozené síly proudění na vychýlení, neboť soustava jezdec - jízdní kolo je při působení sil zřepředu stabilnější než při bočním působení.

Jinou okolností jízdy je vlhkost, čímž je myšlena přítomnost vody na jízdním povrchu či na pneumatikách. Jak bylo uvedeno v začátku této podkapitoly, je třeba uvažovat abnormální adhezní podmínky, aby bylo možno mluvit o jiném než minimálním vlivu vlhkosti na změnu vychýlení. V tomto kontextu je třeba zmínit, že se vlastně jedná především o kombinaci vlivu povrchu jízdní dráhy, typu pneumatiky bicyklu a hloubky jejího dezénu a účinku vody. Při nižší adhezi dochází ke smýkání jízdního kola, cyklista se snaží udržet stabilitu, což vede k nárůstu vychýlení.

2.5. Viditelnost

Jedním z hlavních hesel bezpečnosti v dopravě je „Vidět a být viděn“. Viditelnost má vliv především na bezpečnost jízdy. Lze uvažovat o tom, že zhoršená viditelnost má spíše nepřímý účinek na trajektorii tím, že ovlivňuje jezdce a jeho schopnost vnímání okolí a jízdní dráhy.

Z hlediska bezpečnosti je viditelnost důležitým parametrem. Počet nehod, které se stanou dle policejních statistik v noci či za svítání a soumraku, za posledních šest let kolísá okolo dvaceti procent, přičemž dle závěru některých výzkumů [5] na tyto podmínky připadá okolo šesti procent celkové denní variace cyklistické dopravy. Při předpokladu, že přímou či nepřímou příčinou větší části z nich je i osvětlení a tedy viditelnost, lze zjistit, že je třeba se danou problematikou zabývat.

K dokreslení situace uvádím informace [3], které byly získány v rámci předmětu Úvod do nehod přednášeném na FD ČVUT, který zajišťuje Ústav soudního znaleství v dopravě a který je vyučován v prvním ročníku. Během dvou let bylo přijato a schváleno více než 700 prací, ve kterých studenti uváděli jednotlivé údaje o kole svém či o jízdním kole ze svého blízkého okolí. O každém jízdním kole bylo zjištěno více než 70 údajů. Bylo zjištěno, že vybavení odrazkami odpovídá vyhlášce č. 341/2002 pouze u zhruba 20 % kol. Relativně nízké číslo je dáno povětšinou chybějící odrazkou na jednom či dvou místech, objevují se však, nikoli výjimečně, i kola, kterým odrazky chyběly zcela. Co se světlometů týče, většina kol (cca 2/3) jimi vybavena není. V tomto případě se ovšem nejedná o obligatorní část výbavy. Světlometry a zdroj elektrické energie jsou vyžadovány pouze pro jízdu za snížené viditelnosti, ovšem tento výsledek koresponduje s argumenty výše uvedenými.

2.6. Stav jezdce

Společně s následujícími vlivy, tedy zkušenostmi a soustředěním cyklisty, jde o důležitý faktor, který má zásadní vliv na velikost makrovlny. Zároveň se ale též jedná o činitele, u nichž se špatně posuzuje míra ovlivnění, neboť jen těžko lze nalézt přesné hranice mezi jednotlivými hodnotami, kterých mohou nabývat.

Pojem stav jezdce je souhrnem několika jevů, a to únavy, vlivu omamných látek, zdravotního stavu a psychosociální situace jedince. Částečně lze do této oblasti zahrnout i věk jezdce. Všechny tyto okolnosti mají vliv na bezpečnost i trajektorii jízdy.

Ideální situací pro bezpečnost i pro nevýrazné zvlnění trajektorie jízdy je stav, kdy cyklista není ovlivněn žádným z uvedených faktorů. V takovém případě může hrát roli pouze specifický ukazatel, kterým je věk.

2.6.1. Věk

Podle policejních statistik [2] je počet usmrcených cyklistů výrazně vyšší u lidí starších 45 let. V roce 2012 byl dokonce nejvyšší počet úmrtí ve věkové skupině 65 až 70 let. Protože lze předpokládat, že cyklistů v tomto věku je výrazně méně, je relativní úmrtnost vyšší než u jiných věkových skupin. Co se zavinění týče, je počet nehod mezi všemi věkovými skupinami srovnatelný. Jedním z možných vysvětlení je, že ačkoli se u cyklistů seniorů mohou projevat některé negativní důsledky jejich věku, na bezpečnost jejich jízdy to nemá podstatný vliv. Některá negativa jsou schopni nahradit zkušenostmi. V porovnání s provozem motorových vozidel je provoz cyklistický specifický a některé neduhy starších jedinců jsou zde eliminovány. Na bicykl usedají na rozdíl od automobilu jen jedinci v dobrém fyzickém stavu. Jediným rizikem, které zde vzniká, je větší pravděpodobnost fyzické indispozice či vyčerpání.

Je tedy možno taktéž vyslovit hypotézu, že u seniorů mají ostatní vlivy na tvar trajektorie stejnou váhu jako u mladších věkových skupin a amplituda i vlnová délka by se měla pohybovat ve stejných relacích.

2.6.2. Únava

Vliv únavy, podobně jako psychické situace, je na rozdíl od např. vlivu alkoholu těžko kvantifikovatelný. Nelze ji nijak objektivně změřit, jako například obsah alkoholu v těle. A přesto se v odborných kruzích, ale i na veřejnosti hovoří o tom, že únava stojí za vznikem až 15 % dopravních nehod.[10]

Únava u řidičů motorových vozidel je dána předchozím chováním jedince nebo vzniká nutností být neustále ve střehu, být schopen reagovat a také kvůli dlouhodobému sezení. Sezení lze považovat za formu statické zátěže, která je doprovázena statickou svalovou aktivitou, což zapříčiňuje nedostatečné prokrvení svalů, jejich přetěžování a únavu. Lidské tělo potřebuje pohyb a změny. [11]

Je zřejmé, že únava při jízdě na bicyklu vzniká neustálým pohybem dolních končetin. Únava a bolesti ale také mohou vzniknout z důvodu strnulosti horních partií těla. V tomto případě se jedná především o oblast zad a šíje. A bolesti společně s celkovým zdravotním stavem jak fyzickým, tak psychickým jsou dalším faktorem ovlivňujícím jízdu. Únava a zdravotní rozpoložení jezdce vedou k nižší soustředěnosti na jízdu, což značně ovlivňuje obě popisované oblasti - bezpečnost i trajektorii.

2.6.3. Alkohol

Jedním z nejdiskutovanějších témat bezpečnosti dopravy je v posledních letech téma alkoholu. Ten negativně řidiče ovlivňuje a je příčinou velkého množství nehod s tragickými následky. I v cyklistické dopravě je alkohol přítomen. Podíl nehod zaviněných cyklisty pod vlivem alkoholu dokonce stoupá. Podle jednoho z průzkumů [4] pije alkohol (z dotázaných 303 osob) při vyjíždkách na kole až polovina mužů a třetina žen. Mezi dotázanými muži převažuje ve většině názor, že alkohol za říditky není velkým rizikem.

Alkohol, přesněji etylalkohol, je návyková látka ovlivňující psychické i fyzické schopnosti jedince. Její účinek na mozkové synapse (spojení) je tlumivý, přestože po požití nastává u některých jedinců přechodná euforie. Tento stav se vysvětluje tím, že útlum probíhá nejprve na inhibičních (tlumivých) synapsích, a proto excitační (vzrušivé) synapse na přechodnou dobu získávají převahu (nepoměr mezi inhibicí a excitací). Hladina alkoholu v krvi je ovlivňována celou řadou faktorů, z nichž mezi nejdůležitější patří hmotnost, rychlost požití, pohlaví, věk, zkušenosti s požíváním a v neposlední řadě přidružené choroby. [12]

Požití alkoholu obvykle ovlivňuje výkonnost základních psychických funkcí, zejména soustředění a distribuce pozornosti, příjem a zpracování informací, chybné a zpožděné rozhodování a jednání. Dochází k výraznému zhoršení zrakového vnímání, dlouhému ulpívání zraku na pozorovaném objektu, zúžení zorného pole a také ke zkreslenému vnímání reality, zvýšenému sebevědomí a ochotě riskovat. [13]

Tab. 1 Vliv obsahu alkoholu v těle na lidské schopnosti

Hladina alkoholu v krvi	Projevy ovlivnění ve vztahu k řízení motorového vozidla
0,2 až 0,5 promile	Prokazatelné zhoršení schopnosti řídit. Tendence riskovat, nepřiměřená sebedůvěra a přeceňování se, zhoršená schopnost rozeznat pohybující se světla. Horší odhad vzdálenosti.
0,5 až 0,8 promile	Viz výše, navíc pronikavě prodloužený reakční čas (zhoršený postřeh). Dále roste přeceňování vlastních schopností, oči se obtížně přizpůsobují přechodu ze světla do tmy a naopak, horší vnímání barev. Zhoršená schopnost soustředění. Poruchy rovnováhy. Dále se zhoršuje odhad vzdálenosti.
0,8 až 1,2 promile	Viz výše, navíc se zhoršuje schopnost vnímat okraje zorného pole (tzv. tunelové vidění), další zhoršování soustředění, je ještě více prodloužen reakční čas, roste bezohlednost při řízení.
Přes 1,2 promile	Viz výše. Nadále se zhoršují poruchy soustředění, reakční čas, rovnováha i nekritičnost. Často i špatná orientace. I velmi zkušený řidič se v tomto stavu může dopustit hrubých chyb, jako je zašlápnutí plynu místo brzdy.

Z uvedeného vyplývá, že alkohol má i při malém množství v těle vliv na jeho fungování. Z toho lze jednoduše odvodit, že má vysoký vliv nejen na bezpečnost v cyklistice, ale také na trajektorii a její tvar. Podobně je tomu i u dalších omamných a psychotropních látek, které nebudou dále více rozebírány.

2.7. Soustředění a vůle cyklisty

Jak bylo řečeno, u vlivu, jenž nazývám soustředění a vůle cyklisty, nelze vytyčit přesné hranice, ačkoliv hraje významnou roli v oblasti bezpečnosti, ale i tvaru trajektorie. Faktorem, od kterého se koncentrace na řízení odvíjí, je aktuální stav - fyzický, který přímo ovlivňuje stav psychický. Bylo by tedy možno zahrnout soustředění a vůli pod faktor stavu jezdce? Nikoliv úplně, neboť

je zde ještě cyklistovo okolí, vnější prostředí, v jakém se právě nachází a které jej ovlivňuje. Využijí-li znovu matematicko-fyzikální názvosloví, lze přirovnat vnitřní stav jezdce k počáteční podmínce a prostředí jako spojitou proměnnou v každém čase odlišnou.

Na cyklistu působí po celou dobu jeho jízdy řada podnětů, které jej rozptylují a způsobují ztrátu koncentrace. V oblasti koncentrace řidiče motorového vozidla vzniklo několik výzkumů. Jejich výsledky lze zobecnit i pro cyklistu. Reklamy okolo dopravních cest, neobvyklé situace na dopravní cestě nebo v její blízkosti či vyhláškou zakázané činnosti jako telefonování a kouření. Namátkou vybrané podněty nebo činnosti, které zaměstnávají řidiče i cyklistu tak, že schopnost vnímání provozu a čtení komunikace se snižuje. To má zřejmý vliv na bezpečnost jízdy, ale také tvar trajektorie.

2.8. Zkušenosti

Jedním z nejpodstatnějších faktorů majících vliv na jízdu i její bezpečnost jsou zkušenosti. Co se trajektorie jízdy týče, má zásadní vliv na velikost makrovlny. Uvádí se, že délka makrovlny je až 4 krát nižší, tedy že maximum vlny se opakuje 4 krát častěji u dětí či cyklistů - začátečníků než u jezdců zkušených. Další hodnotou, jejíž velikost závisí na zkušenostech, je vychýlení při sledování provozu za cyklistou, tedy otočení hlavy. U zkušených cyklistů může dojít k vychýlení až o 1 m, naproti tomu u cyklistů nezkušených může velikost bočního vychýlení vzrůst až o 2 m. [6]

Otázkou je, jak takovýto pojem, který každý z lidí intuitivně chápe a dokáže vysvětlit, uchopit a kvantifikovat. Lze jen těžko určit při jakém počtu ujetých kilometrů nebo za jakých okolností se z nezkušeného cyklisty stává cyklista zkušený.

Je možno odpovědně prohlásit, že nelze přesně určit hranici mezi zkušenými a nezkušenými. Zkušenost lze popsat jako nabytou dovednost nebo jako výsledek prožitku či pozorování. V oblasti cyklistiky jde tedy především o počet ujetých kilometrů a prožitých situací na kole, ovšem každý jedinec vnímá a vstřebává zážitky jinak. Tím pádem se každý stává zkušenějším při různém počtu prožitků a kilometrů v sedle.

Pro hrubou představu lze za zkušeného cyklistu prohlásit jezdce, který jezdí pravidelně několik let. Každým rokem ujede vzdálenost blížící se 1000 km. Prožil krizové situace a ví, jak se na kole chovat za daných specifických podmínek. Důležitou roli hraje také samotné jízdni kolo, se kterým se cyklista sžívá, tedy jízda na jiném kole než na dlouhodobě užívaném má jiné parametry.

3. Závěr

Na závěr je nutno dodat, že ačkoli byly všechny podstatné faktory, ať vnitřní či vnější, uváděny samostatně, ve skutečnosti nikdy samostatně nepůsobí. V každém reálném případě se jedná o kombinaci vlivů, kdy se může stát, že některé z nich je možno zanedbat. Snahou taktéž bylo uvést vliv činitelů jak na bezpečnost, tak na tvar trajektorie jízdy. Často se ale také jedná o jejich vzájemné ovlivňování a spolupůsobení. Nabývá-li totiž amplituda A vysokých hodnot, může dojít k ohrožení cyklisty například motorovou dopravou. A naopak je-li si cyklista vědom nebezpečí, soustředí se více na jízdu samotnou, volí patřičný jízdni styl, čímž působí na velikost amplitudy A a vlnové délky λ .

Vlivy působící na jízdu cyklisty byly zhodnoceny pouze slovně, neboť je většina z nich nepostižitelná nebo jen velmi složitě exaktními vztahy. Kvantitativní posouzení a stanovení či zpřesnění hranic jejich vlivu na bezpečnost jízdy i tvar trajektorie bude možno provést až po naměření a zpracování relevantních dat jak z pohledu kvality, tak objemu. Současnou deskripci lze vnímat jako vstupní studii faktorů, která slouží mimo jiné pro výběr vhodné technologie měření tvaru trajektorie.

Poděkování

Tato práce byla podpořena grantem Studentské grantové soutěže ČVUT č. SGS16/255/OHK2/3T/16 „Jednostopá vozidla a osobní přepravník – měření dynamiky a vlivu různých faktorů“.

Literatura

- [1] Nouzovský, L. *Chování cyklistů v silničním provozu*. Praha, 2012. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní. Ústav soudního znaleství v Praze. Vedoucí práce Tomáš Mičunek. 56 s.
- [2] Ředitelství služby dopravní policie Policejního prezidia ČR.
- [3] Semestrální práce předmětu 22UN. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní.
- [4] Fórum PSR. *Více než polovina cyklistů pije během vyjížděk na kole alkohol*. Praha, 2012. Interní materiály sdružení.
- [5] Martolos, J., Rozsypal, V. *Variace intenzit cyklistické dopravy*. Konference národní strategie rozvoje cyklistické dopravy ČR, 15. – 19. května 2007, Velké Karlovice a Slovácko. [online]. [cit. 2013-11-11]. Dostupné z: <http://www.cyklodoprava.cz/file/6-2-4-martolos-edip-variace-intenzit-cyklisticke-dopravy/>
- [6] Krejsa, I. *Problematika nehod s účastí cyklistů*. Soudní inženýrství č. 5/6, 1997, ročník 8. Str. 28-30.
- [7] Šachl, J. *Problematika měření protismykových kvalit povrchu vozovek*. Praha: VÚD - Výzkumná oblast pozemních komunikací 1974. Kandidátská disertace.
- [8] Šachl, J. *Adheze pneumatik ve znalecké analýze silničních nehod*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2008, 55 s.
- [9] Cibula, K. *Mechanika jízdního kola*. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004, 93 s. ISBN 80-01-03016-4.
- [10] Pokorný, P. *Únava v silničním provozu*. Observatoř bezpečnosti silničního provozu - CDV. [online]. 2007 [cit. 2013-11-23]. Dostupné z: <http://www.czrso.cz/clanky/unava-v-silnicnim-provozu/>
- [11] Kračmar, B., Vystřilová, M. *Nové pohledy na pohybové aktivity člověka – VI. Jízda na kole*. Tělesná výchova a sport mládeže, 2007, sv. 73, s. 2–9. ISSN 1210-7689.
- [12] Kotál, R., Rehnová, V., Weinberger, J. *Vliv alkoholu, léků a psychotropních látek na dopravní chování*. [online] [cit. 2013-11-23]. Dostupné z: <http://www.czrso.cz/file/vliv-alkoholu-leku-a-psychotropnich-latek-na-dopravni-chovani-2/>
- [13] Rehnová, V. *Vliv alkoholu, léků a psychotropních látek na dopravní chování*. Observatoř bezpečnosti silničního provozu - CDV. [online]. Brno, 2007 [cit. 2013-11-23]. Dostupné z: <http://www.czrso.cz/clanky/vliv-alkoholu-leku-a-psychotropnich-latek-na-dopravni-chovani/>

Problematika měření trajektorie soustavy jezdec – jízdní kolo

Luboš Nouzovskýⁱ

Abstrakt: *Jedním ze základních úkolů při posuzování a deskripci pohybu soustavy jezdec – jízdní kolo je výběr způsobu měření a měřicích zařízení pro zachycení tvaru trajektorie, především s ohledem na praktičnost a přesnost, ale také na finanční zátěž. V úvahu připadá několik měřicích metod, vzhledem k potřebě zajištění vysoké přesnosti měření (v řádu centimetrů) v rámci výzkumného projektu byla zvolena kombinace tří přístupů - fotogrammetrie, akcelerometrického měření a měření pohybu pomocí satelitních metod.*

Klíčová slova: *dynamika, soustava cyklista - jízdní kolo, měření, měřicí zařízení*

Abstract: *One of the basic tasks in assessing and describing the movement of the system rider - bicycle is the choice of a measuring technology and measuring device to capture the shape of a trajectory, especially with regard to practicality and accuracy, but also to budget. Several measuring methods are considered, due to the need to ensure high accuracy of measurements (in centimetres) in the research project, a combination of three approaches - photogrammetry, accelerometric measurement and motion measurement using satellite methods was chosen.*

Keywords: *dynamics, cyclist - bicycle system, measurement, measuring equipment*

1. Úvod

Problematika využití a propojení akcelerometru a přijímače satelitního polohového systému je ve světě rozšířena a řešena - jedná se o problematiku současné doby. Na toto téma vzniklo mnoho studií, výzkumů či vysokoškolských prací [1] [2] [3] [4], přičemž mnoho aplikací je určeno pro použití v reálném čase. Tyto výzkumy jsou zároveň zpravidla zaměřeny spíše na zpřesňování navigace než na samotný popis pohybu či záznam trajektorie. Celá oblast propojení takovýchto zařízení, vytvoření komunikačních protokolů, automatizování postupů či vytvoření softwarového vybavení je velmi obsáhlá a netriviální. Proto bylo v projektu Studentské grantové soutěže ČVUT č. SGS16/255/OHK2/3T/16 s názvem „Jednostopá vozidla a osobní přepravník – měření dynamiky a vlivu různých faktorů“ přistoupeno k jisté-mu zjednodušení, které ale nemá vliv na závěry a výstupy. Příkladem zjednodušení je to, že data jsou zpracovávána až po proběhnutí samotného měření, tzv. postprocesově, což umožňuje zjednodušení některých výpočtů – např. výpočtů pro stanovení počátečních podmínek. Standardně navrhované výpočetní procesy pro práci v reálném čase zpravidla ke sjednocení dat IMU (inerciální měřicí jednotka) a GNSS jednotek využívají Kalmanovy filtrace, tu v tomto případě nebude nutné využít.

Nalezen nebyl ani výzkum, který by se zabýval uplatněním pro záznam trajektorie cyklisty. Většinou se jednalo o dopravu motoristickou nebo pěší. Je zřejmé, že cyklistická doprava se od

ⁱ Ing. Luboš Nouzovský, ČVUT FD, Ústav soudního znaleství v dopravě, Horská 2040/3, 128 03 Praha 2, Prague, nouzovsky@fd.cvut.cz

těchto dvou odlišuje, ale zároveň je specifická tím, že leží na pomezí mezi nimi. Co se například rychlosti týče, cyklista se v obecném případě pohybuje rychleji než chodec, ale naopak je pomalejší než automobil. To má zejména vliv na to, že je třeba dosáhnout vyšší přesnosti odhadu trajektorie než při podobném měření v konvenční automobilové dopravě. Zároveň vyšší rychlost pohybu oproti chodcům tento úkol znesnadňuje, neboť je třeba používat zařízení s dostatečnou kvalitou (např. vzorkovací frekvencí) pro takováto měření. S rychlostí pohybu je spojena i bezpečnost provozu, s rostoucí rychlostí klesá čas využitelný pro rozhodnutí v krizových situacích, čímž se snižuje bezpečnost.

Z těchto důvodů muselo být přistoupeno k vytvoření nové metodiky měření, která bude splňovat všechny požadavky pro získání odpovídajících dat.

2. Osazení jízdního kola měřicím vybavením

Použitá měřicí aparatura uložená na jízdním kole, konkrétně připevněná na speciálně vytvořené konstrukci, která je připevněna objímkou k sedlovce jízdního kola, se skládá z:

- Xsens MTi-G - je bezpodmínečně nutné, aby toto zařízení bylo upevněno bez možnosti pohybu během měření, neboť by došlo k znehodnocení naměřených dat (viz dále). Zařízení je doplněno anténou pro příjem GNSS signálu a je spojeno s výpočetní technikou (notebook, tablet) USB kabelem.
- Přijímač GNSS Topcon Hiper Pro - rover - přijímač je osazen anténou a přišroubován ke konstrukci.



Obr. 1 Jízdní kolo a měřicí zařízení

Pro validaci výsledků bylo využito nejjednoduššího způsobu záznamu trajektorie - zanechání vodní stopy na vozovce. Využita byla plastová láhev, která byla umístěna z boku jízdního kola, a ze které během jízdy vytékala voda. Jízdní kolo je polepeno na vidlici a řídicích tzv. terčíky, které slouží pro následnou validaci výsledku o velikosti naklopení. Fotografický záznam je pořizován fotoaparátem Nikon D600 s různými objektivy.

Další přijímač GNSS Topcon Hiper Pro - base - je umístěn na stativu dodávaném výrobcem a měří data pro následné zpřesnění výsledků.

3. Údaje využité pro rekonstrukci trajektorie

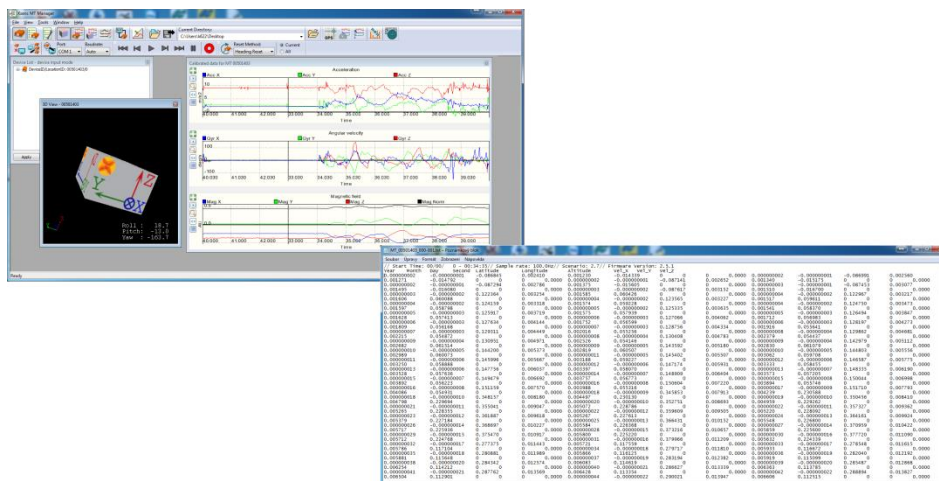
Pozice naměřené GNSS přijímačem Hiper Pro jsou využity pro popsání makrovlny pohybu. Každá z měřicích stanic - rover i base - zaznamenává samostatně svoji polohu s frekvencí 20 Hz. Jedná se o měření pomocí postprocesní diferenciální GPS, která vychází z úvahy, že chyby naměřené referenční stanicí při určování vlastní předem známé polohy jsou stejné, jako u dalšího nepřilíh vzdáleného přijímače. Dochází tedy k výpočtu korekcí, kterými je měření další stanicí zpřesňováno.

Naměřené údaje jsou následně zpracovány v programu Topcon Tools. Ten přepočítává body ze stanice rover dle korekcí stanice base. Kromě toho je možno mimo jiné převést body ze zeměpisných souřadnic do soustavy S-JTSK. Zpracované body jsou dle kvality řešení rozděleny do několika kategorií:

- Fixed - všechny ambiguity jsou vyřešeny na celočíselný počet
- Float - všechny ambiguity jsou vyřešeny pouze jako necelá čísla
- Partial (Částečně) - některé ambiguity jsou vyřešeny celočíselně, některé jsou ovšem vyřešeny pouze jako float
- Code Diff - řešení je spočteno pouze jako pseudovzdálenost
- Failed - bod nemohl být vyřešen, důvodů může být více - mezi ně patří i nedostatečný počet satelitů nebo absence navigační zprávy

Pro další zpracování jsou použity body Fixed, dále jsou také použity body vyřešené jako Float nebo Partial, nejsou-li jednoznačně špatně naměřeny (vysoká vertikální i horizontální nepřesnost). Ostatní body jsou vyřazeny. Jedná-li se o jednotlivé body nebo krátký úsek, který není možno využít k dalšímu zpracování, je možné tyto výpadky nahradit informacemi z inerciální jednotky.

Z naměřených dat inerciální jednotky jsou použity především výstupy akcelerometru a gyroskopu, tedy zrychlení, úhlová rychlost a úhlové prvky otáčení kolem os. Data jsou naměřena s frekvencí 100 Hz a zpracována v programu MT Manager. Exportována pro další využití jsou jako jednoduchý textový soubor.



Obr. 2 Výstupy MT Manageru

Pro analýzu makrovlny (neboli trajektorie) jsou využity údaje o velikosti zrychlení ve směru osy X a úhlové rychlosti stáčení, případně o velikosti zrychlení ve směru osy Y. Co se mikrovlny (kmitání jízdního kola kolem trajektorie pohybu) týče, mají nejvyšší váhu informace o velikosti zrychlení v ose Y a úhlové rychlosti klopení. Zrychlení ve směru osy Y je obecně nutné korigovat - odstranit gravitační zrychlení, které se do tohoto směru promítá v důsledku klopení jízdního kola a tedy i měřicí jednotky.

Snímky vytvořené v rámci fotografické dokumentace jsou používány pro fotogrammetrické zpracování programem Photo Modeler. Konkrétně se jedná o snímky, které jsou nasnímány během jízdy, a snímky zachycující zanechanou vodní stopu na pojezděné ploše. První jmenované fotografie vznikají z fotoaparátu, který je instalován na stativu a snímá přibližující se soustavu cyklista - jízdní kolo. Stativ je umístěn do středu předpokládaného jízdního koridoru. Na kole jsou umístěny terčíky pro přesné zpracování. Výstupem jsou údaje o velikosti úhlu naklopení.

Fotodokumentace vodní stopy je pořizována tzv. z ruky. Podél celé dráhy vzniká několik desítek až stovek snímků. Na těchto snímcích musí být zachyceny pevné neměnné body, které slouží pro slícování v následném výpočetním procesu, ideálně se jedná o terčíky umístěné v širším okolí jízdního koridoru. Výsledkem je pohled shora na vodní stopu, kterou lze použít pro naměření některých rozměrů.

Následující tabulka shrnuje, jaké údaje jsou z daného zařízení použity pro popis makrovln a mikrovln.

Tab. 1 Použité údaje

	Makrovlna	Mikrovlna
GNSS přijímač	Ano	-
IMU	Ano - zrychlení v osách X a Y, úhlová rychlost stáčení	Ano - zrychlení v ose Y, úhlová rychlost klopení
Fotoaparát	Ano - validace	Částečně - validace

4. Postup zpracování dat

V dosavadním textu je dodržen vžitý popis a terminologie pohybu cyklisty. V průběhu zpracování projektu SGS ČVUT č. SGS16/255/OHK2/3T/16 „Jednostopá vozidla a osobní přepravník – měření dynamiky a vlivu různých faktorů“ a jemu předcházejících výzkumech bylo ale na základě průběžných výsledků přistoupeno k jejich úpravě. V novém pojetí se pohyb nesešává z makrovlny a mikrovlny, neboť tato koncepce není technicky zcela korektní. Název makrovlna byl pro usnadnění ponechán, dále je jím ale myšlena celková trajektorie v rovině XY. Druhým kritériem popisu pohybu je úhel naklopení, tedy odklon vertikální osy cyklisty od osy Z. Klopení je měřeno IMU jednotkou, jeho velikost ovlivňuje rozměry prostoru v rovině YZ, který soustava cyklista - jízdní kolo během jízdy vyplňuje.

Naměřená data z měřicích přístrojů jsou předzpracována v příslušných programech - Topcon Tools a MT Manager. Hodnoty naměřené GNSS stanicemi mají vyšší prioritu při rekonstrukci trajektorie za podmínky, že jejich řešení proběhlo ve stavu Fixed, případně je označené jako

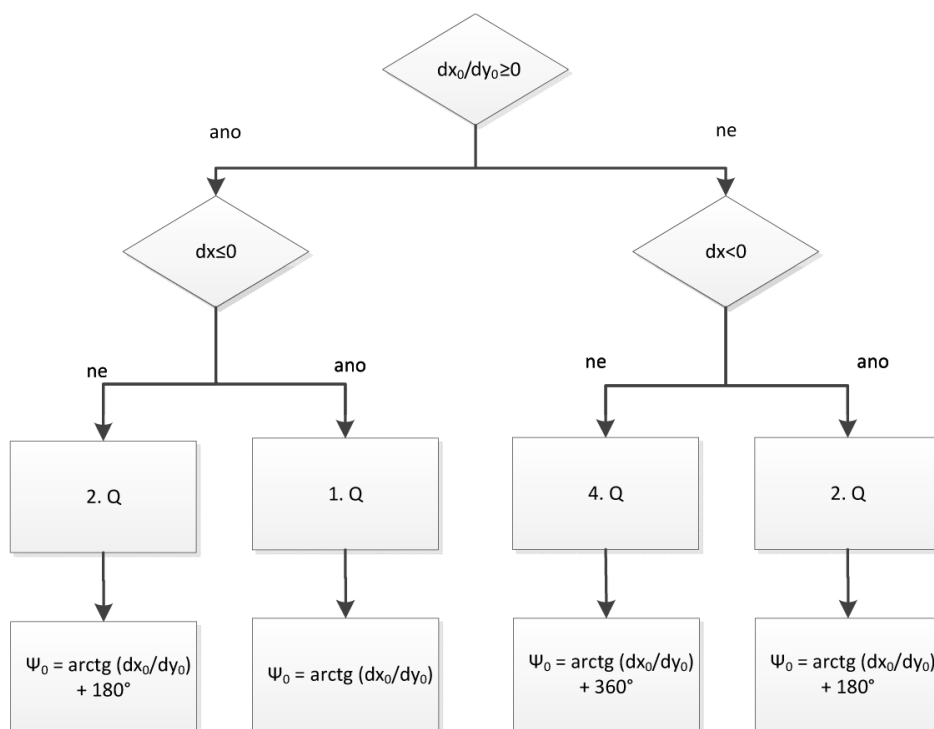
Partial nebo Float, ale to pouze v tom případě, nejedná-li se o body s vysokou hodnotou horizontální i vertikální nepřesnosti.

Z GNSS stanic jsou použita jen data zahrnující reálnou část měření, neboť před jízdou i po ní jsou naměřena data zachycující zapnutí měřicích přístrojů a přípravu jízdy, respektive její dokončení a vypnutí přístrojů, která by ovlivňovala zpracování nežádoucím způsobem. Zároveň ale nesmí dojít k přílišnému „ořezání“ dat, což by také ovlivnilo další práci. Před začátkem jízdy musí být ponecháno několik bodů, které byly zaměřeny v klidovém stavu soustavy cyklista - jízdní kolo.

Musí-li být některé body vyřazeny, jejich řešení je ve stavu Code Diff. nebo Failed, je trajektorie v dané oblasti dopočtena z hodnot získaných z IMU. V takovém případě je z několika posledních akceptovaných bodů (alespoň tři) spočten vektor úhlu natočení v prostoru - obecně

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{\Delta X}{\Delta Y} = \operatorname{arctg} \frac{dx_0}{dy_0} \quad (1)$$

jízdního kola, čímž je získána jedna z počátečních podmínek $\varphi = \psi_0$ využitých v dalších krocích. O tom, jakým konkrétním vztahem je tato podmínka získána, rozhoduje směřování vektoru v kvadrantech souřadného systému, což je zobrazeno na následujícím obrázku. Celý proces výpočtu je zobrazen v rozhodovacím diagramu, podle nějž se postupuje při zpracování dat a který je umístěn jako příloha této práce.

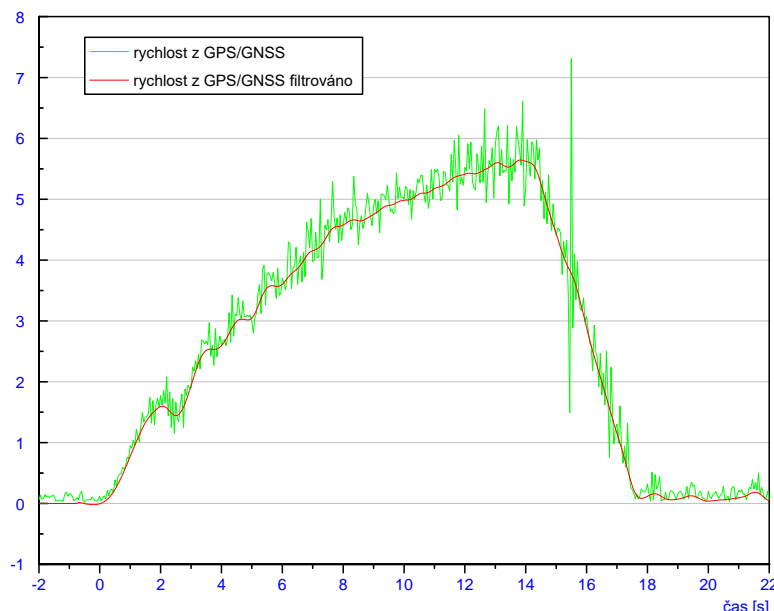


Obr. 3 Určení kvadrantu pro výpočet počáteční podmínky

Druhou počáteční podmínkou je rychlost v_0 v posledním akceptovaném bodě. Rychlost v_0 je extrahována z celkové rychlosti během trasy získané z GNSS měření, kterou lze spočítat při znalosti vzdálenosti bodů a času jejich naměření

$$v = \frac{d\sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}}{dt} \quad (2)$$

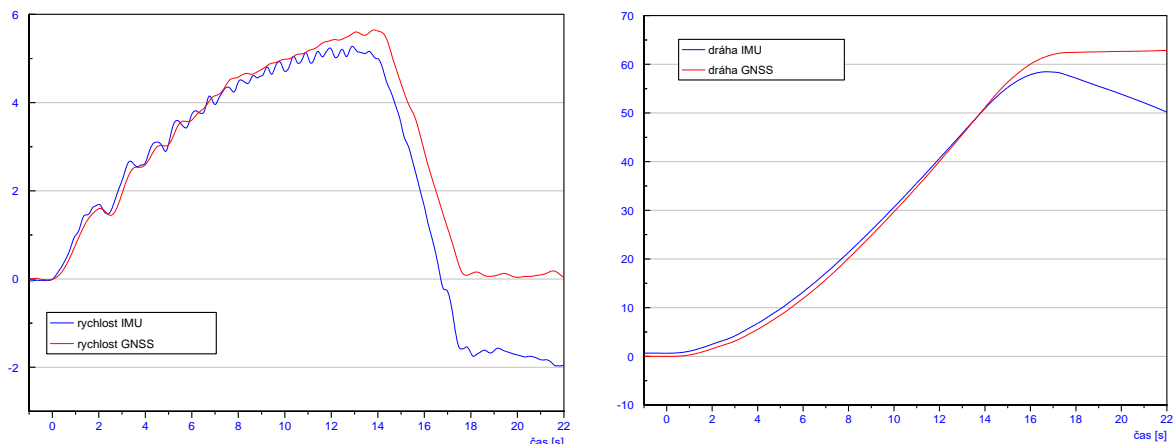
Tato rychlost ovšem musí být nejdříve filtrována z důvodu šumu, jehož velikost se i v klidovém stavu pohybuje okolo 0,1 m/s. Získaná rychlost z derivace dráhy na základě polohy je zatížena šumem o vyšším rozptylu. Následně je nutné upravit záznam rychlosti tak, aby rychlost v čase stání bicyklu byla skutečně rovna nule. Výsledek obou procedur je zobrazen na následujícím obrázku, kde je vidět jak odstranění offsetu, tak odstranění šumu z rychlosti v průběhu času.



Obr. 4 Porovnání zpracované a nezpracované rychlosti z GNSS přijímače

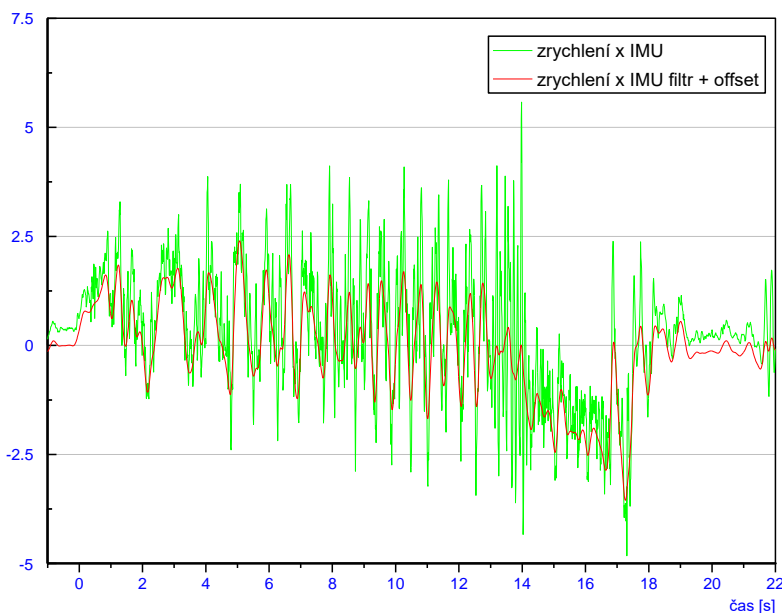
Výpočet rychlosti z polohy GNSS přijímače, tak jak byl uvažován v předcházejícím odstavci, s sebou nese nevýhodu vzniku již zmíněného šumu, který je dán přesností snímání polohy. Tato nevýhoda je zpravidla eliminována další možnou metodou výpočtu rychlosti z GNSS zařízení, a to výpočtem rychlosti pomocí metody Dopplerova jevu ze záznamu přijímané nosné vlny signálu. Ačkoli jsou výsledky této metody obecně lepší (přesnější), tuto metodu není možné ve stávající aplikaci zařadit. Důvodem je omezená možnost nastavení GNSS přijímače, který výpočet rychlosti v tomto režimu nepodporuje. Nicméně díky tomu, že data jsou zpracovávána postprocessingově, lze šum úspěšně filtrovat, a tak eliminovat nevýhodu metody výpočtu rychlosti z polohy přijímače.

Jsou-li známy počáteční podmínky ψ_0 a v_0 , je možno dopočítat body trajektorie z dat získaných akcelerometrem a gyroskopem inerciální jednotky. Nevýhodou tohoto řešení je krátkodobá použitelnost z důvodu rostoucí integrační chyby a spolehlivé stanovení počátečních podmínek. Experimentálně bylo zjištěno, že je možné velmi přesně nahrazovat úseky, jejichž časová délka je v řádu sekund. Ověřena byla vysoká přesnost při délce 1 až 2 sekund. Při vyšších hodnotách se snižuje přesnost kvůli rostoucí integrační chybě. To je také jeden z důvodů, proč není celé měření možné provádět jen jednotkou IMU. V této variantě totiž dochází ke třem integracím, přičemž v případě získání dráhy jde o integraci dvojitou. Velikost integrační chyby je dána mimo jiné vlastním šumem snímače a vibracemi celé měřicí aparatury. Rostoucí velikost integrační chyby ukazují dva grafy, na nichž je porovnávána rychlost, respektive dráha získaná z dat z GNSS přijímače a z dat IMU jednotky. V tomto konkrétním případě se integrační chyba projevuje jako úbytek rychlosti (dráhy).



Obr. 5 Porovnání rychlosti a dráhy z GNSS přijímače a IMU jednotky

Akcelerometr, jak název napovídá, poskytuje hodnoty zrychlení, v tomto případě bude použito zrychlení a_x ve směru osy X. Následující graf představuje rozdíl mezi surovými daty z jednotky IMU a daty zpracovanými - po odstranění offsetu a filtraci. Pro výpočet se ovšem používají data nefiltrovaná, protože se ukázalo, že poskytují lepší výsledky.



Obr. 6 Porovnání naměřeného a upraveného zrychlení z IMU jednotky

Rychlost v_x ve směru osy X je získána integrací zrychlení

$$v = \int (a + w) dt + C \quad (3)$$

kde w je šum, přičemž jako integrační konstantu C musí být dosazena dříve získaná rychlost v_0 . Další integrací

$$s = \int (v + w) dt + C \quad (4)$$

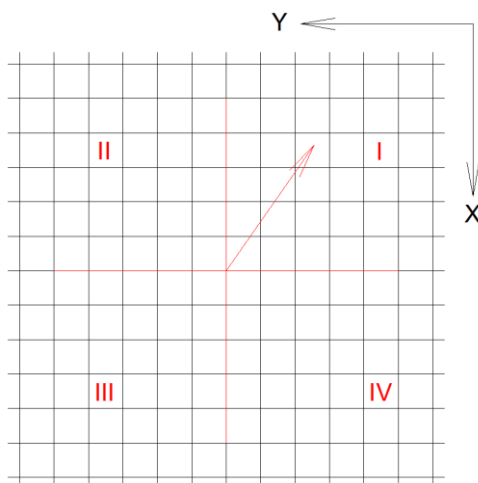
je vypočtena vzdálenost s , zde je možno integrační konstantu položit rovnu nule. Gyroskop poskytuje údaje o velikosti rychlosti stáčení, z níž integrací je možno získat úhel stáčení

$$\psi = \int (\dot{\psi} + w) dt + C \quad (5)$$

V tomto okamžiku bude za integrační konstantu použita druhá dříve vypočtená hodnota, tedy úhel $\varphi = \psi_0$. Jeho úkolem je správně „nasměrovat“ vypočtenou trajektorii. Zda bude přírůstek úhlu stáčení v následujícím kroku výpočtu přičten či odečten k předcházejícímu úhlu směřování soustavy cyklista - jízdní kolo v prostoru φ , znovu rozhoduje kvadrant jeho umístění (viz také rozhodovací diagram). Je totiž nutné správně tento úhel zakomponovat do nadřazeného souřadného systému. Inerciální jednotka měří ve svém souřadném systému a není možné její výsledek pouze převzít a použít jej pro výpočty v surovém stavu. Záleží na tom, zda dochází ke stáčení vpravo či vlevo a v jakém kvadrantu se soustava pohybuje. Následující tabulka shrnuje znaménkovou konvenci využitou při výpočtu dané počáteční podmínky značící, zda je možno znaménko naměřeného úhlu zachovat nebo je nutné jej převrátit.

Tab. 2 Znaménková konvence

Kvadrant	I	II	III	IV
Znaménko	souhlasně	nesouhlasně	souhlasně	nesouhlasně
	+	-	+	-



Obr. 7 Rozložení kvadrantů a směřování os souřadného systému

Šum w vyskytující se v rovnicích (3) až (5), který je dán nejen vlastním šumem zařízení a vibracemi aparatury, ale také dalšími vnějšími podmínkami, což vede k tomu, že nelze systematicky určit jeho velikost. Může být redukován vzhledem k tomu, že se jedná o postprocesní zpracování.

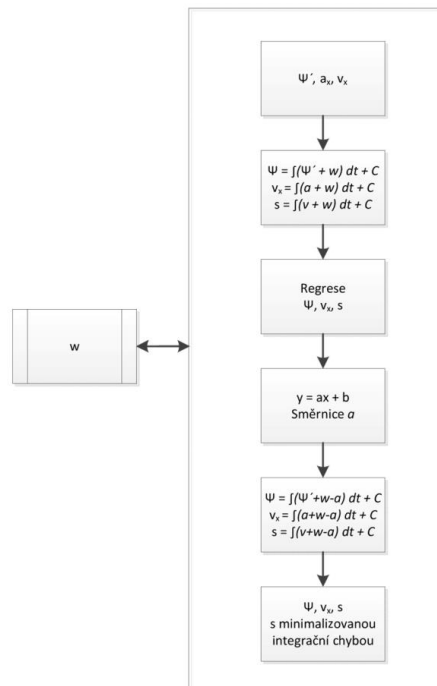
Předpokladem je, že se hlavní složka integrační chyby projevuje jako lineární přírůstek či úbytek integrovaného signálu. Rizikem využití tohoto přístupu je fakt, že může dojít k odstranění konstantní složky reálného naměřeného integrovaného signálu. Proto musí být zvolený časový interval dostatečně dlouhý tak, aby bylo nebezpečí konstantního přírůstku minimalizováno. Proti tomuto požadavku vyvstává potřeba krátkého časového intervalu integrace z důvodu kvality dat gyroskopu (hodnoty šumu a krátkodobá stabilita použitého MEMS gyroskopu, která se projevuje změnou offsetu snímače v řádu jednotek sekund).

Příkladem může být výpočet úhlu stáčení, prvním krokem je integrace rychlosti stáčení $\dot{\psi}$, čímž získáme úhel stáčení ψ . Stáčení je proloženo regresní přímkou, z níž je získána směrnice a . Tato směrnice je použita k redukci šumu v (5).

Z rovnice

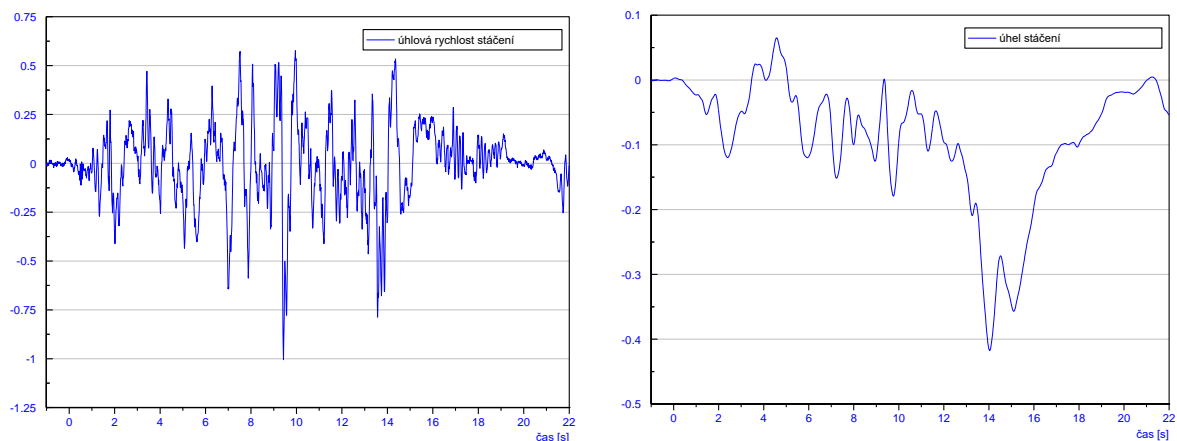
$$\psi = \int (\dot{\psi} + w - a) dt + C \quad (6)$$

je získán úhel stáčení s minimalizovanou integrační chybou, avšak nedojde k jejímu úplnému odstranění. Popsaný postup je graficky znázorněn na následujícím výřezu z vývojového diagramu.



Obr. 8 Postup minimalizování integrační chyby

Závislosti průběhu úhlové rychlosti stáčení a úhlu stáčení na čase potřebné pro výpočty doplňujících bodů trajektorie jsou zobrazeny na následujících grafech.



Obr. 9 Úhlová rychlost stáčení a úhel stáčení z IMU jednotky

Aby bylo možné body správně umístit v Křovákově globálním souřadném systému, je třeba vypočtenou ujetou vzdálenost mezi dvěma naměřenými body Δs promítnout do os X a Y pomocí funkcí sinus a kosinus

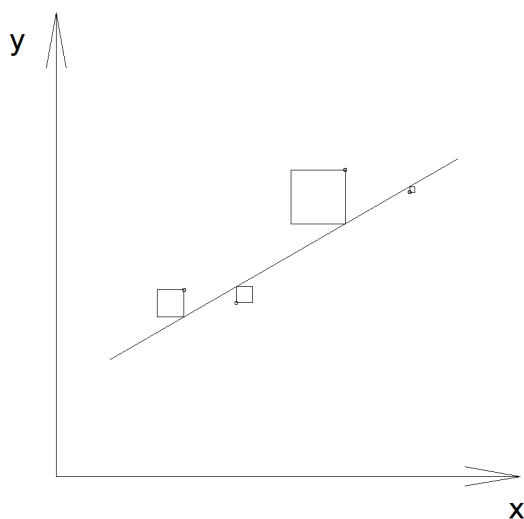
$$ds_x = \Delta s \cdot \sin \psi \quad (7)$$

$$ds_y = \Delta s \cdot \cos \psi \quad (8)$$

Tím jsou získány jejich souřadnice pro další zpracování - vypočtení parametrů trajektorie.

Pokud jsou připraveny body o známých souřadnicích charakterizující tvar trajektorie, je možno přistoupit k dalšímu kroku zpracování, kterým je samotné vyhodnocení tvaru trajektorie. To je prováděno proložením získané křivky přímkou. Přímkou jsou prokládány body, které charakterizují jízdu v přímém směru, která je v této práci ukázána a rozebrána. Jízdu obloukem by bylo nutno proložit křivkou alespoň druhého stupně.

Makrovlna pohybu cyklisty je v celé práci popisována jako křivka mající přibližný tvar sinusové funkce. Přestože bylo během celého vývoje metodiky a zkušebních jízd zjištěno, že maximum vlny může nabývat na jedné z polorovin osy X vyšších hodnot, což způsobuje zdání „uhýbání“ k jedné straně jízdního koridoru, je trajektorie proložena právě křivkou prvního stupně, neboť se předpokládá a pro účely výzkumu byla požadována jízda přímá. V souladu s tímto je také řešeno představené zkušební měření, ve kterém se tento vliv objevuje a v němž se jezdec subjektivně pohyboval po přímé trajektorii.



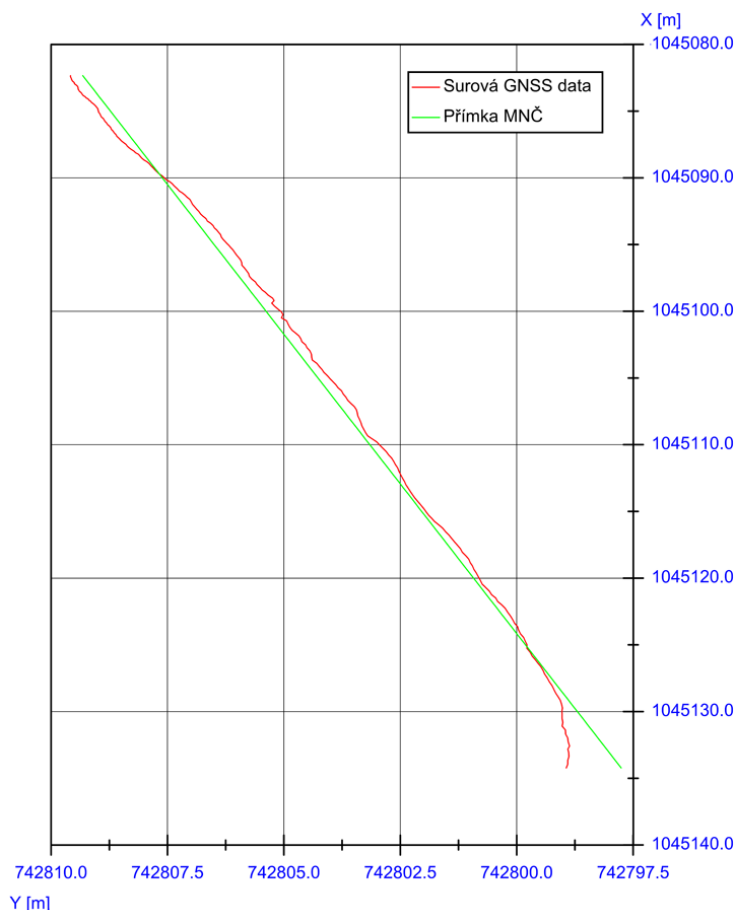
Obr. 10 Metoda nejmenších čtverců

Zvolena byla matematicko-statistická metoda nejmenších čtverců. Jedná se o výpočet polohy prokládané funkce, během kterého dochází k výpočtu kvadrátů odchylek od proložené funkce, přičemž součet kvadratických odchylek – čtverců – musí být minimální. Jsou-li proloženy body přímkou, která je dána rovnicí $y = a \cdot x + b$ (9), lze koeficienty a , b vypočítat jako:

$$a = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \quad (10)$$

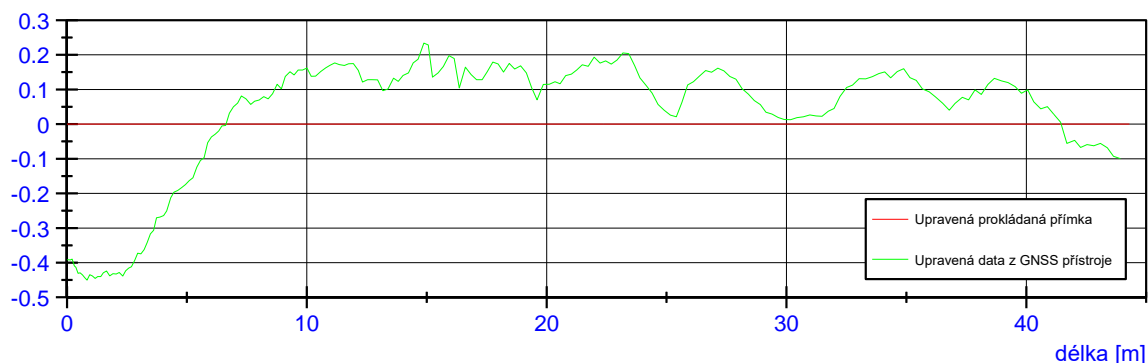
$$b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 \sum_{i=1}^n y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n x_i y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \quad (11)$$

Výpočet optimální polohy a parametrů přímky je prováděn v programu NI DIAdem. Na dalším obrázku jsou vidět nepřečtená data v Křovákově souřadném systému proložená vypočtenou přímkou.



Obr. 11 Neupravená naměřená data GNSS přístrojem

Koeficient a ve vzorci (9) reprezentuje sklon dané přímky. Tento úhel je využit pro pootočení trajektorií a proloženou přímkou, neboť odečtení těchto dvou křivek by nebylo jinak možné. Pro optickou kontrolu a prezentaci naměřených dat jsou křivky posunuty do počátečního bodu 0;0, což dokládá následující obrázek. Na něm lze spatřit rekonstruovanou trajektorii (zeleně) pouze za použití dat z GNSS přístrojů a zjistit přibližné výsledky měření.



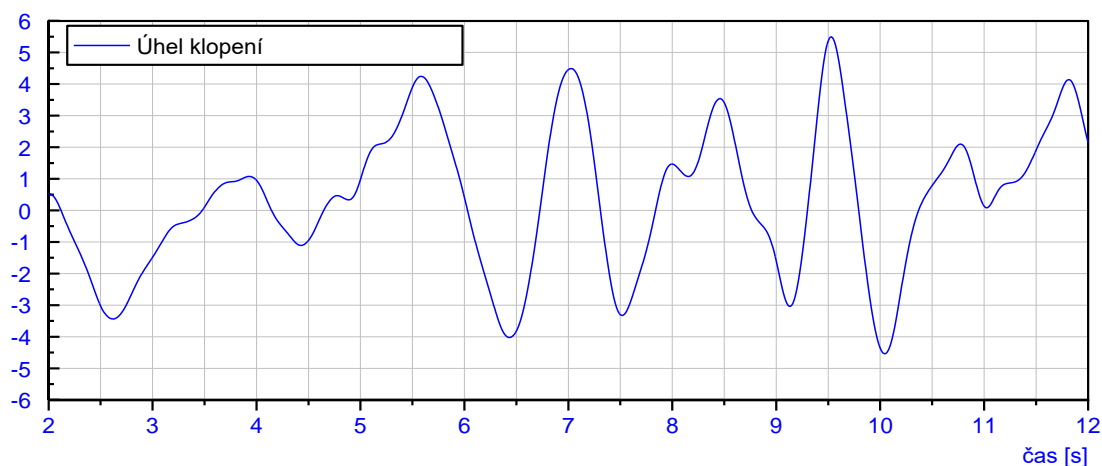
Obr. 12 Rekonstruovaná trajektorie a její rozměry

Přesné výsledky jsou z údajů extrahovány odečtením křivek, tedy pouhým odečtením jejich souřadnic. Tím je získána informace o velikosti odchylky v každém délkovém a časovém bodě jízdy.

Druhý parametr popisu pohybu - velikost naklonění je získán integrací rychlosti klopení

$$v = \int (\dot{v} + w) dt + C \quad (12)$$

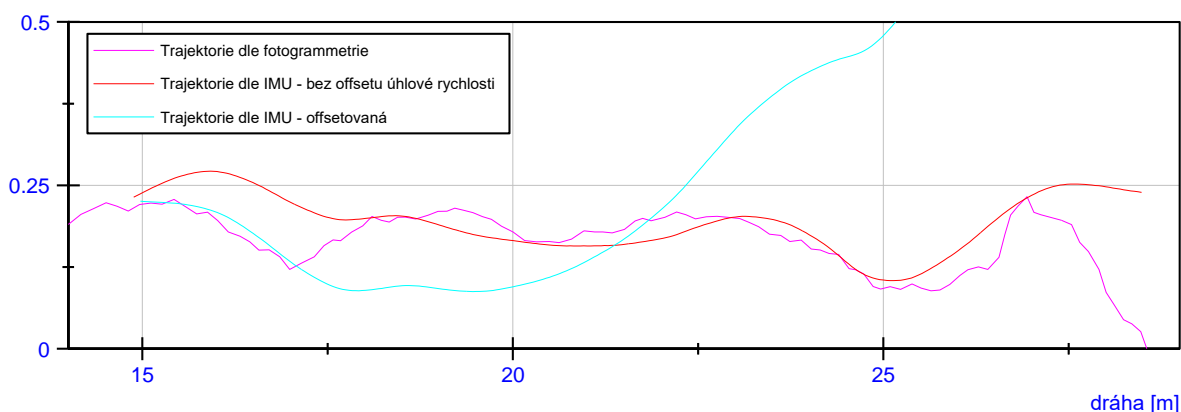
kde w je šum, \dot{v} úhlová rychlost klopení a C integrační konstanta. Na obrázku je znázorněn průběh úhlu klopení během zkušební jízdy.



Obr. 13 Průběh klopení

5. Validace navržené metodiky a diskuze výsledků

Vzhledem k rozsahu příspěvku není možné představit celý postup ověření metodiky, proto jsou pouze shrnuty závěry. Pro validaci měřících postupů bylo zvoleno kontrolní zpracování pomocí fotogrammetrie, jak bylo zmíněno. Jízdní kolo bylo doplněno o zařízení, které během jízdy vypouštělo vodu, čímž byla vytvořena stopa na vozovce. Ta byla následně fotograficky zdokumentována a softwarově byl vytvořen fotoplán, který byl použit pro porovnání metod rekonstrukce trajektorie a určení přesnosti zvolené metody v řádu centimetrů.



Obr. 14 Fotogrammetrická a kontinuální IMU trajektorie

Byla prokázána dostatečná přesnost navrhované metodiky měření, která popisuje celý proces měření. Tedy od osazení jízdního kola měřicími zařízeními, přes samotné měření až po zpracování dat a jejich vyhodnocení. Kombinace GNSS a IMU přístrojů by bylo vhodné doplnit dalším zařízením, konkrétně potenciometrem, který by dále zvýšil jednoznačnost počátečních podmínek. Důležitým faktorem pro korektní záznam trajektorie je výběr vhodné lokality měření tak, aby byl zajištěn dobrý příjem GNSS signálů pro zabezpečení řešení bodů ve stavu Fixed. V případě potřeby nahrazení některých naměřených bodů či úseků z IMU dat se jeví jako nejlepší zvolení dvousekundového intervalu.

6. Závěr

Představený postup ukazuje možnost rekonstrukce trajektorie jízdy soustavy jezdec – jízdní kolo. Stěžejním přístrojem mezi použitými prostředky a technologiemi pro záznam trajektorie cyklisty je měřicí zařízení využívající metod globálních navigačních satelitních systémů. Měřicí aparatura je doplněna inerciální jednotkou, z níž jsou využívány výstupy akcelerometru a gyroskopu. Základem rekonstruované trajektorie jsou body naměřené GNSS stanicemi. Jsou-li některé body nevhodné pro zpracování, jsou nahrazeny body vypočtenými z údajů poskytnutých IMU jednotkou.

Poděkování

Tato práce byla podpořena grantem Studentské grantové soutěže ČVUT č. SGS16/255/OHK2/3T/16 „Jednostopá vozidla a osobní přepravník – měření dynamiky a vlivu různých faktorů“.

Literatura

- [1] Macur, J., Apeltauer, T., Holcer, P., Bureš, J. *Určování trajektorie z akcelerometrického měření. Silnice a železnice 1/2010*. Ostrava: Konstrukce Media, 2010.
- [2] Britt, J., Broderick, D.J. *Dynamic Testing and Calibration of Gaussian Processes for Vehicle Attitude Estimation*. 10th International Conference on Machine Learning and Application. IEEE. 2011. 5 s. ISBN 978-0-7695-4607-0
- [3] Davidson, P., Huhtamäki, J., Collin, J. *Using Low-cost MEMS 3D Accelerometer and One Gyro to Assist GPS Based Car Navigation System*. Tampere University of Technology. 9s.
- [4] Meizel, D. a kol. *A decoupled non-linear observer to estimate the 3D pose of a vehicle*. IEEE. 2012. 6s. ISBN 978-1-4673-4695-5.