

Svet Dopravy

02/2022



www.svetdopravy.sk

Redakčná rada

slovenská:

- prof. Ing. Alica Kalašová, PhD. Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta prevádzky a ekonomiky dopravy a spojov
- prof. Ing. Jozef Gnap, PhD. Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta prevádzky a ekonomiky dopravy a spojov
- prof. Ing. Jozef Majerčák, PhD. Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta prevádzky a ekonomiky dopravy a spojov
- prof. Ing. Miloš Poliak, PhD. Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta prevádzky a ekonomiky dopravy a spojov
- doc. Ing. Vladimír Konečný, PhD. Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta prevádzky a ekonomiky dopravy a spojov
- Dr. h. c. prof. Ing. Tatiana Čorejová, PhD. Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta prevádzky a ekonomiky dopravy a spojov
- Mgr. Ján Popadák, MOTION RECORD INTELLIGENCE, s.r.o

zahraničná:

- doc. Dr. Ing. Jerzy Mikulski Silesian University of Technology, fakulty of transport, Poland
- Dr. Ing. Marek Jaškiewicz, Kielce University of Technology
- prof. Ing. Dr. Mirek Svitek, Intelligent Transport systems&Services, Sdružení pro dopravní telematiku – ITS&S Czech Republic
- Prof. dr hab. Elzbieta Zaloga, Faculty for Management and Services Economics, Szczecin University. Poland
- Ing. Roman Srp, Intelligent Transport systems&Services Sdružení pro dopravní telematiku – ITS&S. Czech Republic
- doc. Ing. Pavel Hruběš, PhD. České vysoké učení technické, fakulta dopravní, Praha,
- Ing. Zuzana Bělinová, PhD. České vysoké učení technické, fakulta dopravní, Praha

výkonný redaktor

- Ing. Ľubomír Černický, PhD.

Vydavateľ

**Asociácia Poskytovateľov Monitorovacích Satelitných Technológií a Inteligentných
Dopravných systémov ASATECH**



OBSAH

OBSAH	3
APLIKÁCIA REVERZNÉHO INŽINIERSTVA V PROCESE VYTVÁRANIA TESTOVACEJ FIGURÍNY PRE ÚČELY NÁRAZOVÝCH SKÚŠOK.....	4
IDENTIFIKÁCIA DOPADOV PANDÉMIE COVID-19 NA ŽELEZNIČNÝ SEKTOR V SLOVENSKEJ REPUBLIKE	15
WAYS TO IMPROVE THE QUALITY OF TRANSPORT SERVICES.....	25
MOBILITA OBYVATEĽOV A PANDÉMIA COVID-19 V ŽILINSKOM REGIÓNE	35
URČENIE NÁRAZOVEJ RÝCHLOSTI VOZIDLA DO CHODCA PROSTREDNÍCTVOM KVANTITATÍVNEJ VIDEO-ANALÝZY	44
VYUŽITIE POČÍTAČOVÝCH SIMULÁCIÍ APLIKÁCIE SYNCHRONIZOVANEJ SKUPINY UAV V DOPRAVNÝCH PROCESOCH	54
PROCES PRIEBEHU EMISNÝCH KONTROL V PODMIENKACH SLOVENSKEJ REPUBLIKY	66
VÝCHODOSLOVENSKE VODNÉ TOKY A ICH POTENCIÁL PRE REKREAČNÚ PLAVBU V POSTCOVIDOVOM OBDOBÍ	86
REKONŠTRUKCIA NEHODOVÉHO DEJA – VOZIDLO A CHODEC	95
MONITOROVANIE VIBRÁCIÍ AKO NÁSTROJ NA SLEDOVANIE A HODNOTENIE TECHNICKÉHO STAVU KONŠTRUKČNÝCH CELKOV LIETADLA	105

APLIKÁCIA REVERZNÉHO INŽINIERSTVA V PROCESE VYTVÁRANIA TESTOVACEJ FIGURÍNY PRE ÚČELY NÁRAZOVÝCH SKÚŠOK

Autori:

Veronika ADAMOVIČ¹, Eduard KOLLA²

Tituly a pôsobisko autorov:

¹Ing. Veronika Adamová, PhD., Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta bezpečnostného inžinierstva, Katedra bezpečnostného manažmentu, Univerzitná 8215/1, Žilina, 010 26, E-mail: veronika.adamova@uniza.sk

²doc. Ing. Eduard Kolla, PhD., Žilinská univerzita v Žiline, Ústav znaleckého výskumu a vzdelávania, Univerzitná 8215/1, Žilina, 010 26, E-mail: kolla@uniza.sk

Abstrakt: Predložený článok prezentuje splnenie parciálnej úlohy v rámci riešenia komplexného výskumu zameraného na návrh a konštrukciu biomechanicky vernej náhrady ľudského tela pre zvýšenie objektivity forenznnej analýzy cestných dopravných nehôd. Cieľom tohto článku je popísanie metodiky a výsledkov v rámci aplikácie reverzného návrhu modelu vybranej časti testovacej figuríny a vytvorenie odlievacej formy pre následné vyrobenie vlastného fyzického modelu. Pre potreby získania vonkajšej geometrie vybranej časti figuríny Hybrid III. bola aplikovaná metóda 3D skenovania. Pracovný postup, použitý materiál a použitie softvérovej podpory sú bližšie popísané v metodologickej časti tohto článku. Vytvorenie formy na odlievanie bolo sprevádzané využitím technológie 3D tlače. Výsledky sú zamerané na odprezentovanie pracovného postupu vytvárania vybranej časti skúšobnej figuríny, ktorý bude univerzálny a v priramernej miere aplikovateľný aj pri vytváraní ďalších častí tela figuríny.

Kľúčové slová: skúšobná figurína, dopravná nehoda, 3D skenovanie, 3D tlač, súdne inžinierstvo

JEL: L62

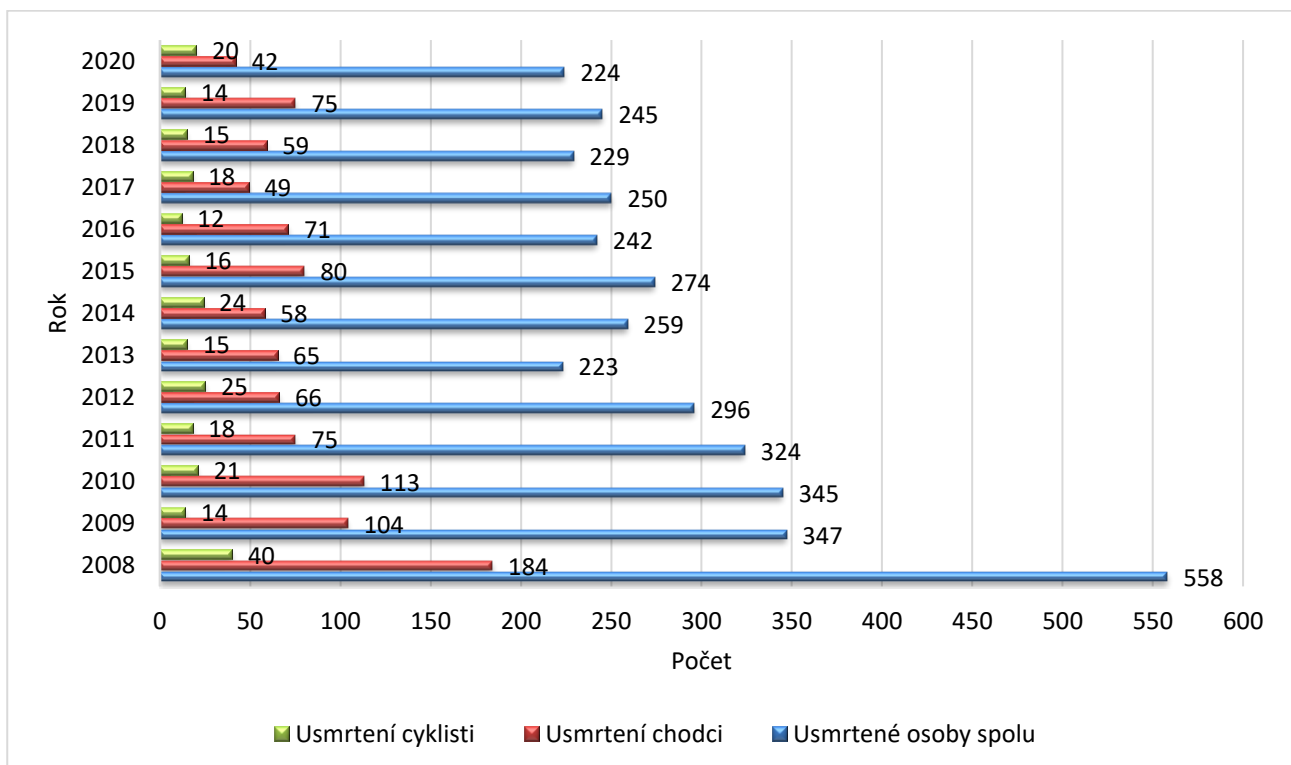
APPLICATION OF REVERSE ENGINEERING IN THE PROCESS OF CREATING A CRASH TEST DUMMY

Abstract: The presented article describes the fulfillment of a partial task within the solution of complex research aimed at the design and construction of a biomechanically faithful replacement of the human body to increase the objectivity of the forensic analysis of road traffic accidents. The aim of this article is to describe the methodology and results within the application of the reverse model design of the selected part of the test dummy and the creation of a casting mold for the subsequent production of your own physical model. For the needs of obtaining the external geometry of the selected part of the Hybrid III (crash test dummy) the 3D scanning method was applied. The work procedure, the material used and the use of software support are described in more detail in the methodological part of this article. The creation of the casting mold was accompanied by the use of 3D printing technology. The results are aimed at presenting the work procedure of creating a selected part of the test dummy, which will be universal and to a reasonable extent applicable also when creating other parts of the crash test dummy's body.

Keywords: crash test dummy, traffic accident, 3D scanning, 3D printing, forensic engineering

1 Úvod

Dopravné nehody majú celosvetovo jeden z najväčších podielov na vzniku zranení, v najhoršom scenári až usmrtení ľudí. Odhaduje sa, že ročne príde o život v dôsledku dopravných nehôd až 1,35 miliónov ľudí a približne 50 miliónov ľudí je zranených [1, 2]. V podmienkach Slovenskej republiky má početnosť dopravných nehôd ročne klesajúcu tendenciu a oproti rokom pred rokom 2008 je ich výskyt v súčasnosti takmer až o 80 % nižší ako v porovnávanom období. Okrem významných ekonomických strát spôsobili cestné dopravné nehody výrazné straty na životoch ľudí a od roku 2008 až po rok 2020 bolo na Slovensku usmrtených viac ako 3 800 osôb. Jedným z najkritickejších a najviac zraniteľným účastníkom cestnej dopravnej nehody je chodec, pričom usmrtení chodci na Slovensku tvorila v priemere od roku 2008 do roku 2020 približne štvrtinu až tretinu z celkového počtu usmrtených osôb. Druhou vysoko zraniteľnou skupinou sú cyklisti, ktorí v sledovanom období na následky dopravných nehôd podľahli v počte 252 [3]. Graficky spracovaný vývoj počtu usmrtených osôb spolu, usmrtených chodcov a usmrtených cyklistov je zobrazený na obr. 1.



Zdroj: Vlastné spracovanie

Obr. 1. Vývoj počtu usmrtených osôb spolu, usmrtených chodcov a usmrtených cyklistov na následky dopravných nehôd od roku 2008 po rok 2020

Viaceré štúdie uvádzajú, že hlavnou príčinou vzniku dopravných nehôd je nadmerná rýchlosť a strata kontroly nad vozidlom, najčastejšie u osôb mladších ako 25 rokov [4, 5]. Skutočné príčiny vzniku konkrétnej dopravnej nehody sú však rôzne a zisťované individuálne od prípadu k prípadu. Jednou z možností zisťovania technicky prijateľných variantov vzniku a príčin dopravných nehôd je aplikácia forenznej analýzy cestných dopravných nehôd v rámci znaleckého skúmania, ktoré predstavuje komplexnú a interdisciplinárnu problematiku s potencionálne rozsiahlym objemom vstupných parametrov v osi „vozidlo-človek-cesta“. Vstupné parametre sú častokrát parciálneho charakteru a zaťažované technickými neistotami. To má následne negatívny vplyv na jednoznačnosť technickej rekonštrukcie a analýzy cestných dopravných nehôd, ktorá v trestnoprávnom procese slúži ako podklad pre rozhodovanie orgánov činných v trestnom konaní a súdov.

Významnými a cennými dátami pri analýzach a rekonštrukciách dopravných nehôd zohrávajú výstupy a výsledky získané dynamickými nárazovými testami (známe ako crashtesty). Ide o deštruktívne skúšky simulujúce bežné dopravné nehody, pomocou ktorých je okrem hodnotenia pasívnej bezpečnosti prvkov vozidiel, možné odhaliť viaceré premenné zohrávajúce významnú úlohu pri posudzovaní závažnosti dopravných nehôd. Ide napr. o: skúmanie interakcie medzi interiérom vozidla a posádkou vozidla (rôzne typy stretov vozidla s iným vozidlom/ vozidlami alebo inou pevnou prekážkou), ale aj interakcie medzi exteriérom vozidla s ostatnými účastníkmi cestnej premávky (ide o tzv. strety so zraniteľnejšími účastníkmi cestnej premávky). V rámci forenznnej analýzy dopravných nehôd so zraniteľnejšími účastníkmi cestnej premávky (chodci a cyklisti) je výrazný vplyv prvku „človek“ na analýzu tejto podmnožiny dopravných nehôd, a to najmä v zmysle analýzy a vyťaženia zranení človeka ako potencionálnych podkladov pre určenie priebehu cestnej dopravnej nehody. Pre účely lepšieho poznania tohto problému slúži tzv. antropomorfné testovacie zariadenie, označované ako testovacia alebo skúšobná figurína umožňujúca študovanie správania sa ľudského tela pri kontakte s vozidlom pri rôznych rýchlostiach, pozorovanie biomechaniky poranení a iné parametre s týmto súvisiace [6].

1.1 Teoretický základ ku skúšobným figurínam

V súčasnosti existuje niekoľko rôznych typov skúšobných figurín pre nárazové skúšky, pričom sa odhaduje, že ich je približne 3 500 na celom svete [7]. Skúšobné figuríny umožňujú už niekoľko rokov posudzovať vplyv dynamického externého namáhania na telo ľudských subjektov, bez toho, aby boli ohrozené životy skutočných živých ľudí, a taktiež, aby nebolo potrebné riešiť etické otázky pri testoch s mŕtvymi ľudskými telami.

Dizajn skúšobných figurín sa v čase vyvíjal a menil a súčasné figuríny pokrývajú ako pohlavia, tak aj rôzne vekové skupiny, či postavy, od novorodencov cez tehotné ženy až po figuríny prezentujúce ľudí s nadváhou [8]. Každá figurína je navrhnutá pre iný účel a pre špecifické nárazové testy, anatomicky sú si však veľmi podobné a príbuzné ľudskému telu, zvyčajne vyrobené z podobných materiálov, avšak ich konštrukcia sa líši [9]. Ide napr. o nasledujúce figuríny [10]:

- „THOR“ – figurína určená na čelné nárazy,
- „SID“ – figurína určená na bočné nárazy,
- „BioRID II“ – figurína určená na zadné nárazy,
- „CRABI“ – figurína určená pre účely testovania detských sedačiek,
- „Hybrid III“ – figurína určená na čelné nárazy,
- „POLAR II“ – figurína určená pre testovania pasívnej ochrany chodcov pri náraze a ďalšie.

Z pohľadu dynamického namáhania je možné skúšobné figuríny rozdeliť na figuríny určené pre testovanie pasívnej bezpečnosti (figuríny uvedené v predošlom texte) a figuríny určené pre účely znaleckého skúmania, napr. „USI Dummy“ (vyvinutá ako figurína pre vysokorýchlostné nárazy so zraniteľnými účastníkmi cestnej premávky). Objektom záujmu a skúmania v tomto článku je druhá skupina figurín, teda figuríny pre znalecké účely. Pre tieto je typická najmä ich obmedzená anatomická a biomechanická vernosť, s obmedzenou senzorickou výbavou a zvyčajne slúžia na zisťovanie základných parametrov pre analýzu dopravných nehôd, napr. závislosť medzi vzdialenosťou odhodenia tela chodca a nárazovou rýchlosťou.

Pre elimináciu nedostatkov aktuálne dostupných figurín pre znalecké účely je v rámci projektu APVV-20-0626 „Biomechanicky verná náhrada ľudského tela pre zvýšenie objektivity forenznnej analýzy cestných dopravných nehôd“, cieľom navrhnuť a vytvoriť fyzický model dospelého ľudského tela so zvýšenou anatomickou a biomechanickou vernosťou pre viacsmerové mechanické namáhanie s dôrazom na dynamické rázové namáhanie pri dopravných nehodách so zraniteľnejšími účastníkmi cestnej premávky.

Predložený článok prezentuje parciálnu časť riešeného projektu APVV-20-0626 „Biomechanicky verná náhrada ľudského tela pre zvýšenie objektivity forenznnej analýzy cestných dopravných nehôd“. V rámci riešenia čiastkovej úlohy projektu boli prvotné úkony zamerané na získanie vonkajšej geometrie už existujúcej testovacej figuríny Hybrid III. Následne sa prešlo do roviny vytvárania modelu vybranej časti tela figuríny a formy na odlievanie dostatočne presnej a anatomicky vernej časti figuríny Hybrid III. Okrem snahy

zabezpečiť tvarovú vernosť častí tela testovacej figuríny, bolo cieľom zabezpečiť i ekonomickú a časovú nenáročnosť a nezávislosť od dodávateľov a výrobcov potrebných komponentov. Predmetnom prezentovaného článku je metodika vytvorenia modelu ruky ako tzv. „overovacieho konceptu“ (proof of concept) nakoľko sa jedná o geometricky najkomplikovanejšiu časť vonkajšej geometrie segmentov figuríny. Navrhnutú metodiku bude následne v primeranej miere možné aplikovať aj pri tvorbe ďalších častí tela skúšobnej figuríny.

2 Materiál a metódy

2.1 Skúšobná figurína

Pre účely získania vonkajšej geometrie fyzického modelu ľudského tela, konkrétne ruky, bola použitá validovaná skúšobná figurína Hybrid III. Figurína Hybrid III predstavuje simulant ľudského tela, ktorý má v sebe implementovanú meraciu techniku a primárne je určená pre testy čelným nárazom a je validovaná pre meranie zaťaženia v doprednom smere. Vo všeobecnosti, uvedená skúšobná figurína predstavuje štandard pri testovaní v automobilovom priemysle a je vyrábaná v troch anatomických veľkostiach, a to 5 percentilná žena a 50 a 95 percentilný muž. Pre potreby prezentovaného výskumu bola použitá figurína reprezentujúca 50 percentilného muža [11]. Parametre tejto figuríny sú uvedené v nasledujúcej tab. 1. V rámci predloženého článku sme sa zamerali len na časť ruky zobrazená na obr. 2.

Tab. 1. Základné parametre figuríny Hybrid III a 3D skenera VIUscan Handyscan 3D

Parametre figuríny		Parametre 3D skenera	
Výška v stoji	1,750 m	Hmotnosť	1,3 kg
Celková hmotnosť	78,20 kg	Rozmery	172 x 260 x 216 mm
Hmotnosť hlavy	4,540 kg	Rýchlosť merania	18 000 meraní/s
Hmotnosť krku	1,540 kg	Laserová trieda	II (bezpečné pre oči)
Hmotnosť trupu	40,230 kg	Rozlíšenie	0,100 mm
Hmotnosť hornej končatiny	8,530 kg	Presnosť	do 0,050 mm
Hmotnosť dolnej končatiny	23,360 kg	Objemová presnosť	0,020 mm (0,200 mm/m)

Zdroj: [11, 12]

2.2 3D skener

Pre účely získania vonkajšej geometrie časti ruky testovacej figuríny Hybrid III bol použitý ručný skener VIUscan Handyscan 3D. Ide o ručný, prenosný 3D laserový farebný skener s vysokým rozlíšením, ktorý sa používa na návrh, výrobu alebo kontrolu ľubovoľného objektu a umožňuje získavanie textúr, geometrie a vykresľovanie objektu v reálnom čase skenovania. V tab. 1 sú uvedené základné technické parametre skenera VIUscan Handyscan 3D [12]. Metodika skenovania bola nasledovná:

- Príprava časti ruky figuríny a optimálne rozmiestnenie referenčných bodov (obr. 2.)



Zdroj: Vlastné spracovanie

Obr. 1. Príprava časti ruky figuríny na skenovanie a rozmiestnenie referenčných bodov

- Napojenie skenera do elektrickej siete a jeho pripojenie k pracovnému laptopu, otvorenie kompatibilného programu „VXelemnts“ v pracovnom laptopu.
- Kalibrácia a konfigurácia skenera.
- Skenovanie referenčných bodov z optimálnej vzdialenosti od skenovanej ruky.
- Skenovanie povrchu ruky z optimálnej vzdialenosti od skenovaného objektu.
- Očistenie skenu od nechcených bodov, prípadne doskenovanie chýbajúcich častí skenu.
- Export a uloženie naskenovaného objektu vo vybranom formáte (napr.: .obj, .stl, .ply a ďalšie).

2.3 Softvérová podpora

Z pohľadu softvérovej podpory bolo v procese reverzného inžinierstva časti ruky figuríny od jej skenovania až po vytvorenie formy použitých viacero programov. Ako prvý bol použitý program VXelements, ktorý predstavuje integrovanú softvérovú platformu pre 3D skenovanie. Program pracuje na princípe zobrazovania 3D meraní a vizualizácií skenovaných údajov v reálnom čase a je kompatibilný s použitým 3D skenerom. Zhromažďuje všetky základné prvky a nástroje do užívateľsky jednoduchého pracovného prostredia [13]. Prostredníctvom uvedeného programu boli vykonané vyššie uvedené metodické kroky skenovania, ako kalibrácia a konfigurácia skenera, skenovanie referenčných bodov, zber bodov skenovaného objektu a čistenie skenu. Proces skenovania je možné kedykoľvek prerušiť a skontrolovať stav naskenovaných dát. Po doskenovaní je možné si buď celý projekt uložiť vo formáte .csf, prípadne vyexportovať naskenovaný objekt do niektorého z bežne využívaných formátov, ako je napr.: .obj.

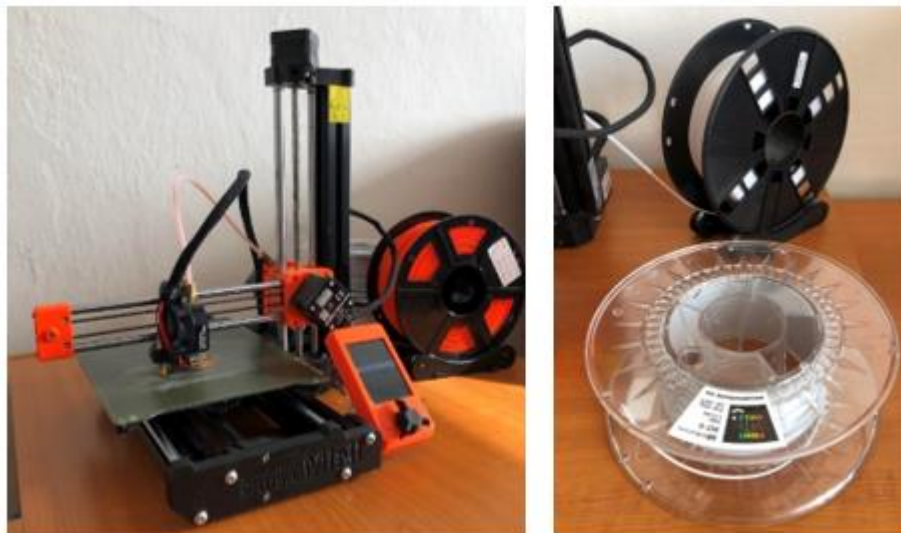
V ďalších krokoch spracovania modelu bol použitý voľne dostupný program Autodesk Meshmixer, pomocou ktorého bolo možné oskenovanú ruku ďalej upraviť – orezať „parazitujúce“ body, vyplniť prázdne časti v skene, uzatvoriť model, vyhladiť a vyrovnať nerovné časti skenu a pod. Vo svojej podstate, ide o bezplatný „open source“ softvér od Autodesk, ktorý predstavuje jeden z popredných programov na úpravu a prípravu súborov, ako napr. .stl a .obj. Program ďalej ponúka širokú škálu rôznych nástrojov na prípravu a zlepšenie 3D objektu pre 3D tlač [14]. Po úprave naskenovanej ruky v programe Autodesk Meshmixer a jej exportu do formátu .stl sa ďalej prešlo do programu FreeCAD. Ide o univerzálny parametrický 3D modelár založený na funkciách CAD, MCAD, CAx, CAE a PLM. Je zameraný najmä na strojárstvo a dizajn produktov,

ale aj pre účely architektúry a iné inžinierstva. Jeho výhodou je, že je voľne dostupný a modulárny [15]. Pomocou tohto programu bola parametricky vymodelovaná forma na odlievanie ruky s vonkajšou geometriou takmer totožnou ako predstavuje ruka figuríny Hybrid III. Vonkajšie rozmery formy boli minimalizované v závislosti od podmienok tlačového priestoru 3D tlačiarne a tomuto kritériu bolo podmienené rozdelenie formy na niekoľko častí, tak aby boli rozmerovo vhodné pre 3D tlač. Pri návrhu formy na odlievanie ruky sa samozrejme počítalo aj s otvorom pre nalievanie hmoty na odlievanie a otvormi pre skrutky nevyhnutné na spojenie jednotlivých dielcov do celku.

Po navrhnutí optimálnej formy na odlievanie (nie len z pohľadu množstva použitého materiálu, ale aj z pohľadu následnej jednoduchšej manipulácie pri výbere ruky z formy), bol tento model exportovaný do formátu .obj a importovaný do programu PrusaSlicer [16]. Ide o voľne dostupný softvér vyvinutý pre účely exportu súborov pripravených na 3D tlačenie (export tzv. súboru G-code). Program sa vyznačuje pomerne jednoduchým ovládaním, používateľsky prívetivým prostredím a používateľ má možnosť meniť rôzne nastavenia a parametre tlačového súboru (hustota výplne, tvar výplne, hrúbka vrstiev, výber použitého filamentu, podpory pri tlači a ďalšie), ktoré ovplyvňujú celkový čas ako aj množstvo spotrebovaného materiálu pri tlači.

2.4 3D tlačiareň

Pre vytvorenie vlastnej formy bola použitá 3D tlačiareň, Original Prusa MINI+ (obr. 3.). Jej maximálne rozmery tlače sú 180 x 180 x 180 mm, výška vrstvy 0,05 – 0,25 mm, priemer trysky 0,4 mm, priemer filamentu 1,75 mm. Použitá tlačiareň podporuje použitie širokého spektra termoplastov, ako napr. PLA, PETG, ASA, ABS, PC, CPE a ďalšie. Rýchlosť posuvu má max. 200+ mm/s, maximálna teplota trysky je 280 °C a maximálna teplota podložky je 100 °C. Bližšia špecifikácia 3D tlačiarne Original Prusa MINI+ je uvedená v [17].



Zdroj: Vlastné spracovanie

Obr. 3. Zľava doprava: 3D tlačiareň Original Prusa MINI+ použitá na tlačenie formy na odlievanie, materiál PETG použitý na tlačenie formy na odlievanie

2.5 Ostatný materiál

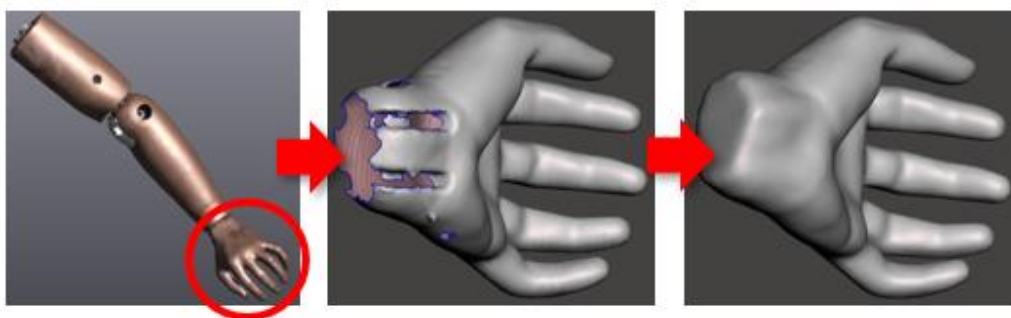
Okrem vyššie uvedených pomôcok a zariadení bol použitý ďalší podporný materiál: 10 skrutkových tyčí pre účely spojenia jednotlivých častí formy, vazelína pre účely vytvorenia tesnenia a zamedzenia vyliatu

odlievacej hmoty z formy, dvojzložkový silikón tvrdosti „25 Shore A“ na testovacie odlievacie modelu ruky v navrhnujej forme.

3 Výsledky práce

3.1 Získanie modelu ruky

Podľa metodiky uvedenej v časti 2.2 bola oskenovaná ľavá ruka figuríny Hybrid III. V práci sme sa ďalej zaoberali len časťou ruky zobrazenou na obr. 4. Pomocou softvéru AutoDesk Meshmixer bola vyrezaná záujmová časť. Nakoľko sken obsahoval viaceré nedostatky (diery) najmä v častiach, ktoré nebolo možné 3D skenerom zachytiť, bola pomocou tohto softvéru aplikáciou vhodných nástrojov ruka upravená do požadovanej podoby a stavu, vodného na ďalšiu prácu s modelom, t.j. vytváranie formy na odlievanie v programe FreeCAD.

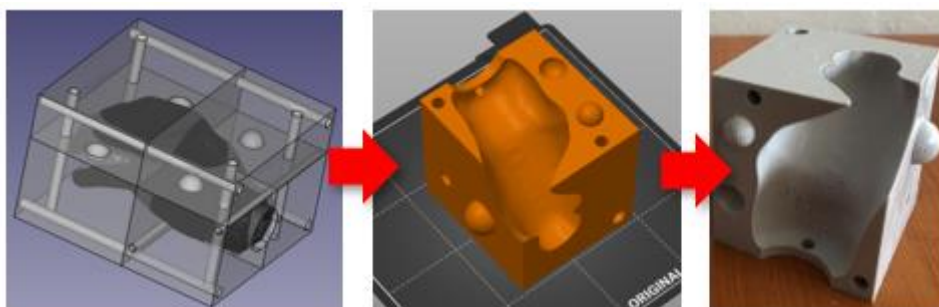


Zdroj: Vlastné spracovanie

Obr. 4. Zľava doprava: celkový model ruky, výrez záujmovej časti modelu ruky s nedostatkami, upravený model ruky vhodný na ďalšiu prácu

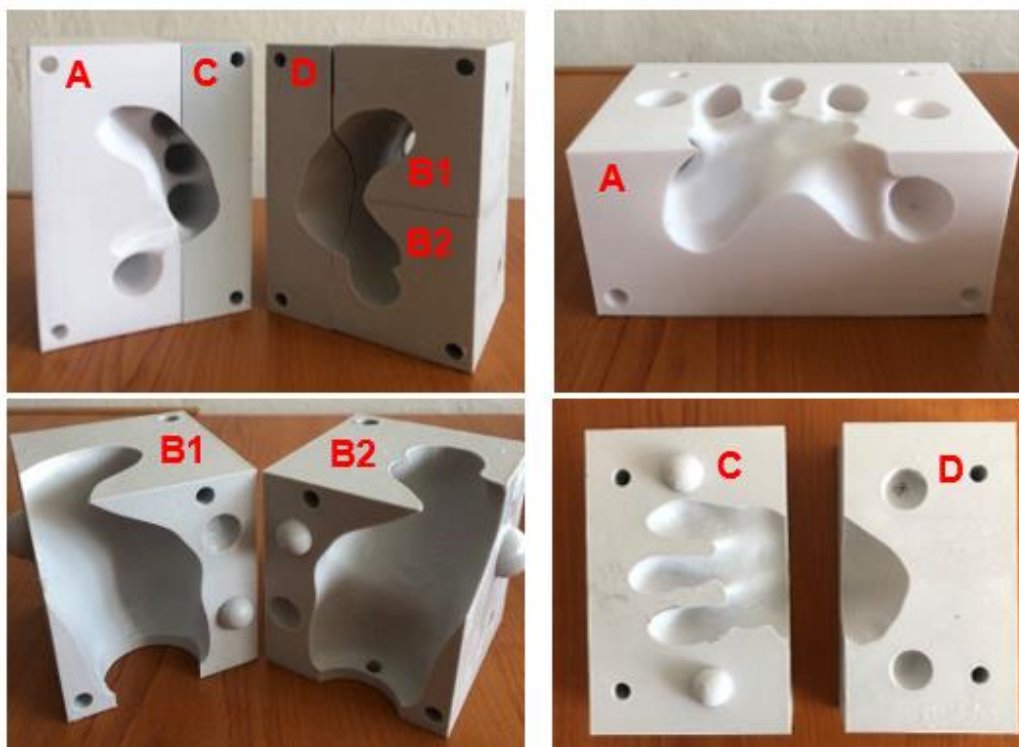
3.2 Návrh a tlač formy na odlievanie

Celý návrh formy na odlievanie bol spracovaný v programe FreeCAD. Ako prvý bol do programu importovaný model ruky (obr. 4), od ktorého sa následne odvíjal tvar a rozmer formy (obr. 5.). Forma bola koncipovaná tak, aby mala kompaktné rozmery a umožňovala jednoduchý výber odliatku modelu ruky. Otvor na nalievanie odlievacieho materiálu bol umiestnený v oblasti zápästia ruky. Forma bola pre potreby 3D tlače, ale aj pre účely vhodného vybratia modelu ruky rozdelená na 5 častí (časť A, B1 a B2, C a D) (obr. 6.). Každá časť sa tlačila samostatne, so zachovaním nastavení tlače (tvar výplne – mriežka, percentuálny podiel výplne 5 %, materiál PETG, podpora pri tlačení – podľa potreby). Celkový čas tlače celej formy bol približne 46,5 hodín.



Zdroj: Vlastné spracovanie

Obr. 5. Zľava doprava: Forma na odlievanie navrhnutá v programe FreeCAD, G-code časti formy pre 3D tlač v programe PrusaSlicer, hotový výtlačok



Zdroj: Vlastné spracovanie

Obr. 6. Forma na odlievanie ruky figuríny vytlačená na 3D tlačiarňi

3.3 Testovanie funkčnosti formy na odlievanie

Na to, aby sme zistili funkčnosť navrhutej formy bolo v poslednom kroku, ako prvé overené, či jednotlivé výtlačky do seba zapadajú, následne bol vytvorený odlieatok za pomoci odlievacieho materiálu - dvojzložkový silikón tvrdosti 25 A (obr. 7.).



Zdroj: Vlastné spracovanie

Obr. 7. Zľava doprava: Forma vcelku a výsledný odlieatok modelu ruky pomocou navrhnutej formy na odlievanie

Po odmastení jednotlivých vnútorných častí formy, boli dotykové plochy natreté medicínskou vazelínou, ktorá v tomto prípade plnila účel tesnenia. Časti formy boli spojené do celku pomocou pripravených skrutiek (obr. 7). Takto nachystaná forma bola pripravená na odlievanie modelu ruky. Pri odlievaní dvojzložkovým silikónom sa postupovalo presne podľa odporúčaní uvedených v príbalovom letáku. Po naliatí hmoty do formy sa forma odložila do tmavej miestnosti pri izbovej teplote a približne po 20 hodinách sme pristúpili k oddeleniu formy od odliatku. Oddelenie častí formy A, B1 a B2 bolo vzhľadom na ich komplikovanosť tvaru náročnejšie, avšak pomalým a jedným odlepovaním ruky od stien formy sa ruku podarilo vybrať v celku bez zjavného poškodenia či natrhnutia slabých miest (najmä oblasť posledných článkov prstov). Na základe výsledku je možné konštatovať, že navrhnutá forma na odlievanie modelu ruky je funkčná a vhodne navrhnutá v rámci riešenia parciálnej úlohy projektu.

4 Záver

Cieľom tohto článku bolo odpublikovať navrhnutie a implementovanie postupov reverzného inžinierstva, ktoré umožňujú vytváranie častí tela skúšobnej figuríny podľa potrieb pri súčasnom dodržaní odpovedajúcich, v tejto fáze, zatiaľ len geometrických vlastností testovacieho zariadenia. Testovanie odpovedajúcich materiálových a mechanických vlastností budú predmetom skúmania nadväzných činností riešeného projektu. V závere článku je možné zhodnotiť, že pracovný postup a metodika zvolená pri reverznom inžinierstve častí tela skúšobnej figuríny boli zvolené vhodne. V prvom kroku bol získaný geometricky verný model ruky figuríny Hybrid III v digitálnej podobe pomocou aplikácie techniky 3D skenovania. Následne, za pomoci programu Autodesk Meshmixer, bol takto získaný model upravený pre účely návrhu a tvorby formy na odlievanie modelu ruky. V druhom kroku, pre účely návrhu formy bola použitá softvérová podpora FreeCAD. V treťom kroku boli vyexportované modely častí formy vytlačené za pomoci 3D tlače. V poslednom, štvrtom kroku sme pristúpili k otestovaniu funkčnosti navrhnutej formy. Na základe výsledku, je možné konštatovať, že aktuálne zvolený a otestovaný pracovný postup pre tvorbu vybranej súčastí na výrobu častí antropomorfného testovacieho zariadenia je dobrý a v primeranej miere je možné ho aplikovať aj pri tvorbe ďalších častí tela figuríny ako sú napr. predlaktie, rameno, stehno, lýtko, trup a ďalšie. Medzi ďalšie výhody zvoleného pracovného postupu je aplikácia, v prevažnej miere, voľne dostupných softvérov. Za nevýhody tohto pracovného postupu možno považovať relatívnu časovú náročnosť a potrebu disponibility zariadení na 3D skenovanie a 3D tlač. Avšak pri úvahe zamerania riešeného projektu je zvolený postup možné považovať za efektívny a perspektívny.

5 Literatúra

- [1] BILLAH, K. - SHARIF, H.O. - DESSOUKY, S. How Gender Affects Motor Vehicle Crashes: A Case Study from San Antonio, Texas. In *SUSTAINABILITY* [online]. 2022. Vol. 14, no. (12):7023. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14127023>.
- CĂILEAN, A.M. - BEGUNI, C. - AVĂTĂMĂNIȚEI, S.A. - DIMIAN, M. - POPA, V. Design, Implementation and Experimental Investigation of a Pedestrian Street Crossing Assistance System Based on Visible Light Communications. In *SENSORS* [online]. 2022. Vol. 22, no. (15):5481. DOI: <https://doi.org/10.3390/s22155481>.
- [2] Ministerstvo vnútra SR. (2022). *Dopravná nehodovosť v Slovenskej republike*. [cit. 2022- 10- 25]. Dostupné na internete: <https://www.minv.sk/?statisticke-ukazovatele-sluzby-dopravnej-policie>.
- JAMROZ, K. - ANTONIUK, M. - JELIŃSKI, Ł. - WACHNICKA, J. - GRONOWSKA, K. The frequency and consequences of a vehicle falling out of the road on the example of the Pomeranian Voivodeship. In *DROGOWNICTWO* [online]. 2015, s. 117–125. [cit. 2022- 10- 26].
- [3] JAMROZ K. Challenges and opportunities for pedestrian protection on roads and streets in Poland. In *TRANSPORT MIEJSKI I REGIONALNY* [online]. 2020, 11–21. [cit. 2022- 10- 26].
- MAREŠOVÁ, J. *Aplikace reverzního inženýrství pro účely antropomorfních testovacích zařízení*. Diplomová práce. Praha: České vysoké učení v Praze, 2021.
- [4] HONG, S.W. - PARK, S.J. - LEE, Y.N. - YOO, J.H. - KIM, H. Low-speed rear impact sled tests involving human subjects. In *ANNALS OF ADVANCES IN AUTOMOTIVE MEDICINE* [online]. 2013. Vol. 57. s. 353–356. Dostupné na internete: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3861816/>.
- JAŚKIEWICZ, M. – FREJ, D. – TARNAPOWICZ, D. – POLIAK, M. Upper Limb Design of an Anthropometric Crash Test Dummy for Low Impact Rates. In *POLYMERS MEDICINE* [online]. 2020. Vol. 12, no. 11, 2641. [cit. 2022- 10- 26]. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym12112641>.
- [5] LIU, Z. – ZHANG, X. – SHI, Y. – HONG, CH. Notice of Retraction: Prediction of neck deceleration characteristic of Hybrid III 5th Female Dummy based on BP neural network method, In 3. *INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER SCIENCE AND INFORMATION TECHNOLOGY 2010*. China: Chengdu, 2010. s. 626-629. [cit. 2022- 10- 26]. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICCSIT.2010.5564123>.
- HE, P. – JIANG, X. – YANG, J. A Study on Rear Seat Occupant Injuries in Side Impact, In 3. *INTERNATIONAL CONFERENCE ON DIGITAL MANUFACTURING & AUTOMATION 2012*. China: Guilin, 2012. s. 144-147. [cit. 2022- 10- 26]. DOI: 10.1109/ICDMA.2012.35.
- [6] YOGANANDAN, N. - NAHUM, A.M. - MELVIN, J.W. Accidental Injury-Biomechanics and Prevention. In *SPRINGER SCIENCE+BUSINESS MEDIA NEW YORK*. [online]. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-1732-7>.
- CREAFORM. (2008). *Handyscan 3D Sneak Preview: Creaform shifts to 4D and Pre-Releases the VIUScanTM 3D Color Scanner*. [cit. 2022- 10- 28]. Dostupné na internete: <https://www.creaform3d.com/ru/handyscan-3d-sneak-preview-creaform-shifts-4d-and-pre-releases-viuscantm-3d-color-scanner>
- [7] ENVIRONMENTAL EXPERT. (2022). *VXelements - 3D Acquisition Measurement Software Platform and Application Suite*. [cit. 2022- 10- 26]. Dostupné na internete: <https://www.environmental-expert.com/software/vxelements-3d-acquisition-measurement-software-platform-and-application-suite-830341>.

- XYZPRINT. (2022). *MeshMixer tutoriál pre začiatočníkov 3D tlače. Časť 2.* [cit. 2022- 10- 26]. Dostupné na internete: <https://xyzprint.eu/aktuality/meshmixer-manual-cast2.html>.
- [8] SOURCEFORGE. (2022) *FreeCAD*. [cit. 2022- 10- 26]. Dostupné na internete: <https://sourceforge.net/projects/free-cad/>.
- PRUSA 3D. (2022). *PrusaSlicer 2.5.0*. [cit. 2022- 10- 24]. Dostupné na internete: https://www.prusa3d.com/cs/stranka/prusaslicer_424/.
- [9] PRUSA 3D. (2022). *3D tlačiarne: Original Prusa MINI+*. [cit. 2022- 10- 24]. Dostupné na internete: <https://www.prusa3d.com/cs/produkt/castecne-sestavena-3d-tiskarna-original-prusa-mini-4/>.

PodĎakovanie

Tento príspevok bol podporený Agentúrou pre podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-20-0626. Tento príspevok bol vypracovaný v rámci projektu APVV-20-0626: Biomechanicky verná náhrada ľudského tela pre zvýšenie objektivity forenznnej analýzy cestných dopravných nehôd a v rámci grantového projektu pod záštitou Žilinskej univerzity v Žiline č. 2483/2021: Návrh náhrady ľudskej ruky pre potreby skúmania ničivých účinkov zábavnej pyrotechniky.

IDENTIFIKÁCIA DOPADOV PANDÉMIE COVID-19 NA ŽELEZNIČNÝ SEKTOR V SLOVENSKEJ REPUBLIKE

Autori:

Zdenka BULKOVÁ¹, Milan DEDÍK², Lenka ČERNÁ³, Jozef GAŠPARÍK⁴

Tituly a pôsobisko autorov:

¹Ing. Zdenka Bulková, PhD., Žilinská univerzita v Žiline, Univerzitná 8215/1, Žilina, 010 26, Slovensko, zdenka.bulkova@uniza.sk

²Ing. Milan Dedík, PhD., Žilinská univerzita v Žiline, Univerzitná 8215/1, Žilina, 010 26, Slovensko, milan.dedik@uniza.sk

³Ing. Lenka Černá, PhD., Žilinská univerzita v Žiline, Univerzitná 8215/1, Žilina, 010 26, Slovensko, lenka.cerna@uniza.sk

³prof. Ing. Jozef Gašparík, PhD., Žilinská univerzita v Žiline, Univerzitná 8215/1, Žilina, 010 26, Slovensko, jozef.gasparik@uniza.sk

Abstrakt: Od začiatku roka 2020 mala pandémia COVID-19 veľký vplyv na železničnú dopravu v EÚ. Spomalenie šírenia pandémie COVID-19 sa dosiahlo znížením mobility obyvateľstva. Zníženie mobility malo vplyv najmä na výkonnosť osobnej dopravy. Počet cestujúcich vo vnútroštátnej železničnej doprave klesol počas prvej vlny pandémie v porovnaní s predchádzajúcim rokom až o 90 %. Viacerí prevádzkovatelia, najmä noví dopravcovia, museli ukončiť svoju činnosť, zatiaľ čo prevádzkovatelia železničnej nákladnej dopravy hlásili dramatický pokles objemov, keďže mnohé sektory spomalili alebo dokonca zastavili výrobu v dôsledku pandémie. Druhá vlna pandémie z jesene 2020 prinútila mnohé krajiny prijať ďalšie reštriktívne opatrenia týkajúce sa mobility obyvateľstva. Vypuknutie tretej vlny pandémie zabránilo rýchlemu oživeniu železničnej dopravy, najmä osobnej železničnej dopravy. Príspevok je zameraný na identifikáciu dopadov pandémie COVID-19 a prijatých opatrení na vývoj dopravných výkonov v železničnej doprave v Slovenskej republike. Príspevok navrhuje prevádzkové a organizačné opatrenia proti šíreniu pandémie COVID-19 v železničnej doprave v Slovenskej republike.

Kľúčové slová: protipandemické opatrenia, železničná osobná doprava, pandémia COVID-19, dopravné výkony

JEL: klasifikácia článku podľa JEL

IDENTIFICATION OF THE IMPACTS OF THE COVID-19 PANDEMIC ON THE RAILWAY SECTOR IN THE SLOVAK REPUBLIC

Abstract: Since the beginning of 2020, the COVID-19 pandemic had a major impact on rail transport in the EU. The slowdown in the spread of the COVID-19 pandemic has been achieved by reducing the mobility of the population. The reduction in mobility has had an impact on passenger transport performance. The number of national rail passengers fell by as much as 90% during the first wave of the pandemic compared to the previous year. Several operators, especially new carriers, had to close down, while rail freight operators reported a dramatic drop in volumes as many sectors slowed or even stopped production as a result of the pandemic. The second wave of the autumn 2020 pandemic has forced many countries to take further restrictive measures regarding population mobility. The outbreak of the third wave of the pandemic has prevented a rapid recovery in rail transport, especially for passenger rail services. The paper focuses on the analysis of the impact of the pandemic and the measures put in place on the development of transport performance in rail transport in the Slovak Republic during the COVID-19 pandemic. The paper proposes

operational and organizational measures against the spread of the COVID-19 pandemic in railway transport in the Slovak Republic.

Keywords: antipandemic measures, railway passenger transport, COVID-19 pandemic, transport performance

1 Úvod

Železničná doprava má svoju rozhodujúcu úlohu nielen z hľadiska stratégie EÚ pre udržateľné odvetvie dopravy, ale aj hospodársku a sociálnu súdržnosť. Významne prispieva ku kombinácii druhov dopravy v EÚ, pričom poskytuje čistú mobilitu a vysokú mieru efektívnosti. Po vypuknutí pandémie COVID-19 sa objem prepravy v osobnej a nákladnej železničnej doprave výrazne znížil v dôsledku obmedzení a nižšieho dopytu po preprave. Viaceré subjekty na trhu železničnej dopravy museli ukončiť svoju činnosť. Prevádzkovatelia železničnej dopravy museli čeliť veľkému poklesu dopravných služieb [1]. V roku 2020 bol dopyt po osobnej doprave výrazne nižší oproti predchádzajúcemu roku. Železničné podniky tak neboli schopné uhrádzať poplatky za prístup k železničnej infraštruktúre počas núdzového stavu, ktorý spôsobila pandémia COVID-19. Manažéri infraštruktúry tak mali možnosť tieto poplatky dočasne znížiť, vzdať sa ich alebo ich odložiť [2]. Negatívne hospodárske dôsledky pandémie COVID-19 by mohli pre zainteresované strany na trhu znížiť alebo výrazne ohroziť ich finančnú životaschopnosť. Taktiež by to malo negatívny vplyv a vážne negatívne účinky na fungovanie dopravného systému a tiež na hospodárstvo ako celok. Zníženie poplatkov za prístup k železničnej infraštruktúre je len jedným z mála opatrení, ktoré dopomôžu k lepšiemu fungovaniu železničných podnikov [3].

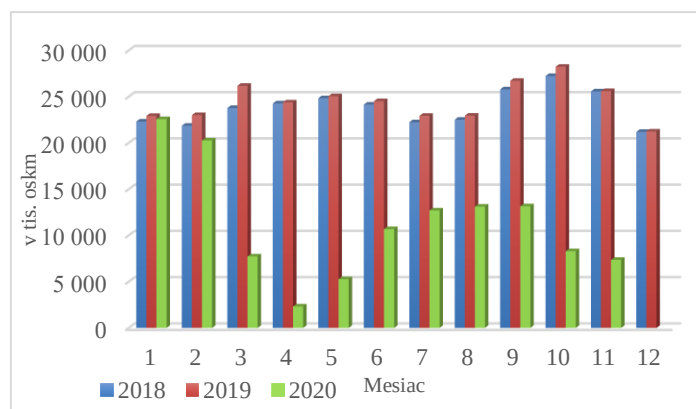
2 Dopady pandémie COVID-19 na sektor železničnej dopravy v Slovenskej republike

Vplyv pandémie COVID-19 na osobnú železničnú dopravu a negatívny ekonomický dopad na dopravu je značný. Pokles objemu výkonov komerčne motivovaných dopravcov a s tým spojené finančné problémy môžu mať za následok znižovanie úrovne kvality poskytovaných služieb, v dôsledku nižšej konkurencie medzi dopravcami. Účinky prvej vlny pandémie sa ešte viac prehĺbili nástupom druhej vlny na jeseň 2020, keď boli znovu zavedené opatrenia na zníženie mobility obyvateľstva [4]. Vzhľadom na pokračujúcu pandémiu COVID-19, zákaz vychádzania v roku 2020 a znížený dopyt po vlakovej doprave národný dopravca Železničná spoločnosť Slovensko, a. s. (ZSSK) bola 7. marca na základe pokynov Ministerstva dopravy a výstavby SR (MDV SR) optimalizovaná vlaková doprava od prvých zmien grafikonu vlakov. Z 34,4 milióna vlakových kilometrov plánovaných na rok 2021 ubudlo 917 000 vlakových kilometrov [5]. Dočasne bola obmedzená doprava v okolí Bratislavy, kde aj po redukcii zostal v prímestskej doprave jednodinový takt vlakov, ktorý bol počas dopravnej špičky zahustený na 30-minútový interval medzi vlakmi. Znamenalo to dostatočnú a kvalitnú ponuku dopravy vzhľadom na znížený dopyt. Na traťovom úseku Bánovce nad Ondavou - Veľké Kapušany došlo k trvalému zastaveniu železničnej dopravy z dôvodu dlhodobého nezáujmu verejnosti (8 vlakov). Zníženie rozsahu (resp. redukcia) dopravných výkonov bolo výsledkom dohody medzi ZSSK a MDV SR. Cieľom bolo optimalizovať vlakovú ponuku a výdavky na verejnú dopravu tak, aby bol vplyv redukcie pre verejnosť vzhľadom na znížený dopyt minimálny. Zabezpečenie plynulej, kvalitnej a spoľahlivej verejnej dopravy do zamestnania či škôl vlakmi ZSSK bolo a je aj naďalej plnohodnotne realizované [6].

V roku 2020 sa svetová zdravotná kríza v dôsledku pandémie COVID-19 dotkla celej EÚ a závažným spôsobom ovplyvnila aj osobnú železničnú dopravu. V súvislosti s vyhlásením mimoriadnej situácie v SR bola dočasne zastavená medzinárodná vlaková doprava so všetkými susednými krajinami a zastavená bola aj prevádzka IC vlakov. Pozastavená bola aj prevádzka všetkých zákazníckych centier a rezervačného pracoviska pre osobné vybavovanie či vybraných predajných miest, bol dočasne pozastavený predaj vnútroštátnych rezervácií a obmedzené bolo aj radenie reštauračných, lôžkových a ležadlových vozňov i autovozňov. Uvedené opatrenia negatívne ovplyvnili hospodárenie ZSSK a následky pandémie COVID-19 sa prejavili aj v roku 2021, ale aj v ďalších rokoch [6].

3 Vývoj dopravných výkonov počas pandémie COVID-19

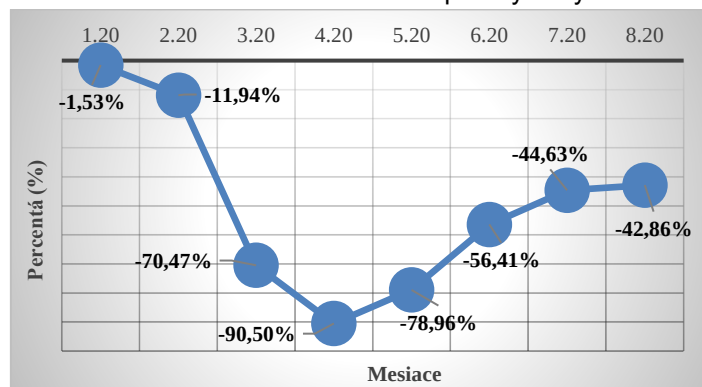
Pandemická kríza COVID-19 mala zásadný vplyv na ponuku, dopyt a ekonomickú výkonnosť železničnej dopravy. Najväčší vplyv bol zaznamenaný v 2. štvrťroku 2020, od apríla do júna. Osobná doprava bola ovplyvnená viac ako nákladná doprava, pričom v druhom štvrťroku 2020 poklesla medzinárodná doprava v priemere o 85%, vnútroštátna doprava poklesla o 18%. Obmedzenie železničnej dopravy v prvých mesiacoch krízy bolo priamym dôsledkom reakcií verejných orgánov na riešenie krízy COVID-19 (obmedzenia mobility cestujúcich), ako aj vplyvu globálneho spomalenia hospodárskej činnosti, čo všeobecne viedlo k zníženiu dopytu po doprave [7]. Počet osobných vlakov v rámci služieb vo verejnom záujme prevádzkovaných v sieti v období od januára do septembra 2021 je porovnateľný s počtom za rovnaké obdobie v roku 2019, zatiaľ čo v roku 2020 bol v porovnaní s rokom 2019 o 7,8 % nižší [7,8]. Počet komerčných osobných vlakov v období od januára do septembra 2021 bol však stále o 21,5 % nižší ako v rovnakom období v roku 2019, čo znamená, že v porovnaní s rovnakým obdobím v roku 2020, keď bol o 23,3 % nižší v porovnaní s rokom 2019, nedošlo k žiadnemu zotaveniu. Od januára do septembra 2021 bol objem osobnej dopravy v rámci služieb vo verejnom záujme vyjadrený vo vlkm o 5,2 % nižší v porovnaní s rovnakým obdobím v roku 2019. Obrázok 1 znázorňuje vývoj dopravných výkonov na trati Bratislava – Trnava [7,8].



Zdroj: Vlastné spracovanie podľa [7]

Obr. 1. Vývoj prepravných výkonov na trati Bratislava - Trnava.

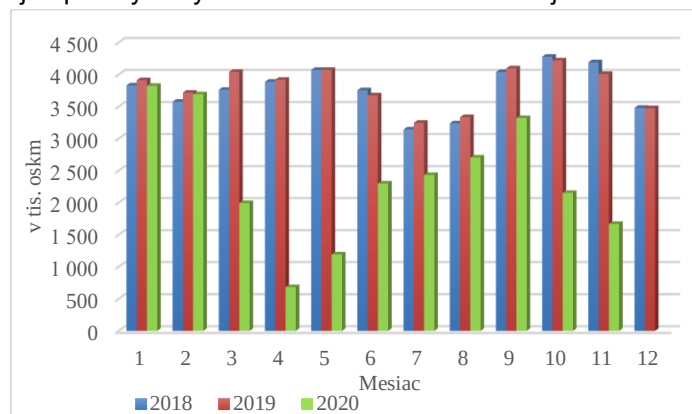
Komerčné služby osobnej dopravy vyjadrené vo vlkm zostali v roku 2021 v porovnaní s rovnakým obdobím v roku 2019 o 25,6 % nižšie, čo je v súlade s (nízkou) úrovňou dosiahnutou už v roku 2020. V osobnej doprave boli výkony výrazne ovplyvnené pandémiou, čo vyplýva z obmedzenia vlakov osobnej dopravy, kde bol od 14. marca 2020 nastavený zmenou grafikonu verejnej dopravy tzv. sobotňajší režim výkonov. Na obrázku 2 môžeme vidieť medziročnú zmenu dopravných výkonov na trati Bratislava – Trnava.



Zdroj: Vlastné spracovanie podľa [7]

Obr. 2. Medziročná zmena dopravných výkonov na trati Bratislava - Trnava.

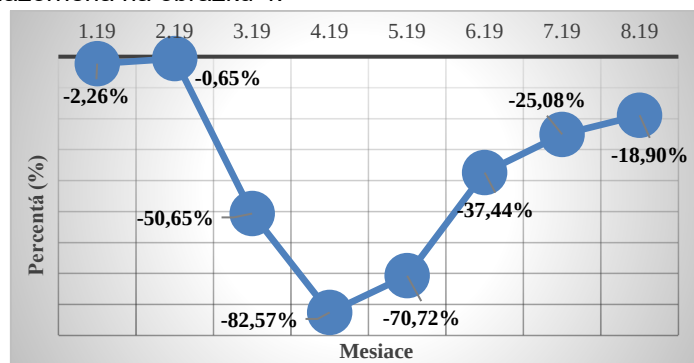
Najväčší percentuálny pokles výkonov bol v apríli 2020 a predstavoval -90,50 %. V máji začali dopravné výkony mierne stúpať a dosiahli hodnotu - 78,96 %. Výkony v osobokilometroch v železničnej doprave tiež ukazujú, že najvýraznejší pokles bol zaznamenaný v apríli 2020. Strata výkonov meraná v osobokilometroch je priamym dôsledkom výrazného zníženia počtu cestujúcich v osobnej doprave v sledovanom období. Vývoj dopravných výkonov na trati Žilina – Čadca je znázornený na obrázku 3.



Zdroj: Vlastné spracovanie podľa [7]

Obr. 3. Vývoj prepravných výkonov na trati Žilina - Čadca.

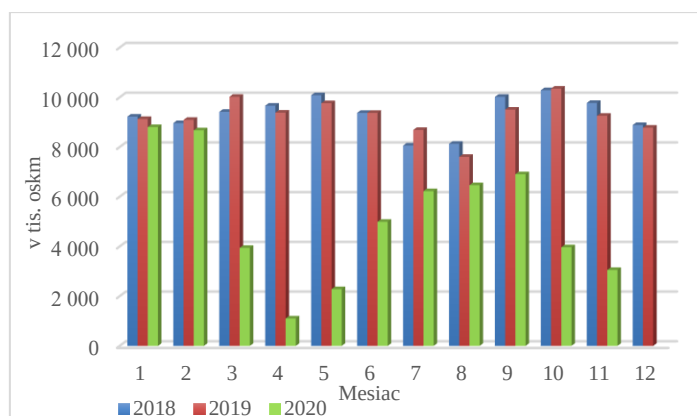
V porovnaní s rokmi 2018 a 2019 bol pokles dopravných výkonov na regionálnej železničnej trati Žilina - Čadca v roku 2020 značný. Najviac zasiahnuté boli opäť mesiace apríl a máj. Po miernom vzostupe prepravných výkonov po skončení prvej vlny COVID-19 došlo v novembri a decembri k ich ďalšiemu poklesu, spôsobeným druhou vlnou pandémie. Medziročná zmena dopravných výkonov na trati Žilina – Čadca v roku 2020 je znázornená na obrázku 4.



Zdroj: Vlastné spracovanie podľa [7]

Obr. 4. Medziročná zmena dopravných výkonov na trati Žilina – Čadca.

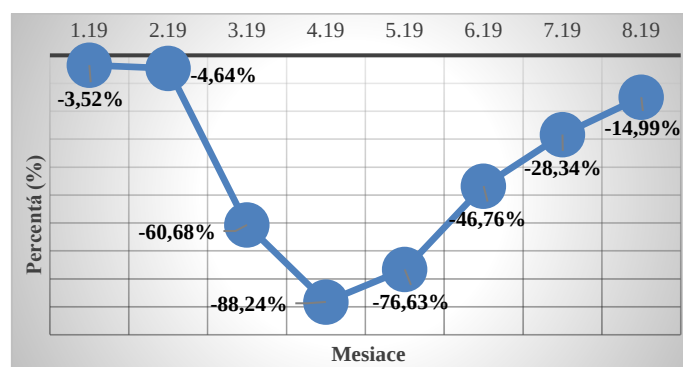
Na trati Žilina - Čadca bola najväčšia medziročná zmena dopravných výkonov od marca 2020 do mája 2020, pričom najvyššia hodnota dosiahla mesiac apríl (-82,57 %). Obrázok 5 znázorňuje vývoj prepravných výkonov na trati Košice – Humenné.



Zdroj: Vlastné spracovanie podľa [7]

Obr. 5. Vývoj prepravných výkonov na trati Košice - Humenné.

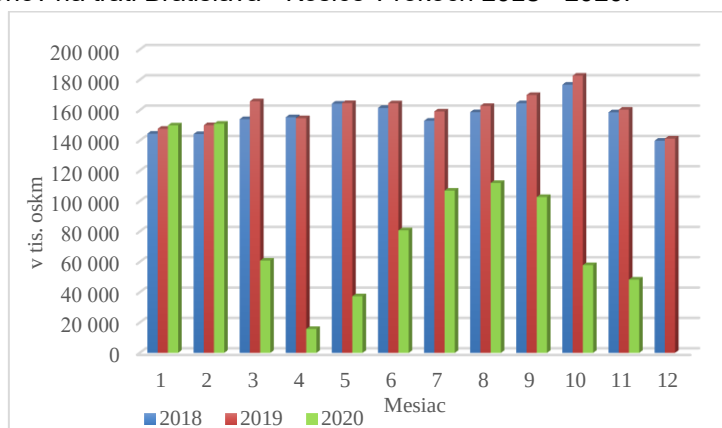
Na obrázku 6 môžeme vidieť medziročnú zmenu dopravných výkonov na trati Košice - Humenné v roku 2020.



Zdroj: Vlastné spracovanie podľa [7]

Obr. 6. Medziročná zmena dopravných výkonov na trati Košice - Humenné.

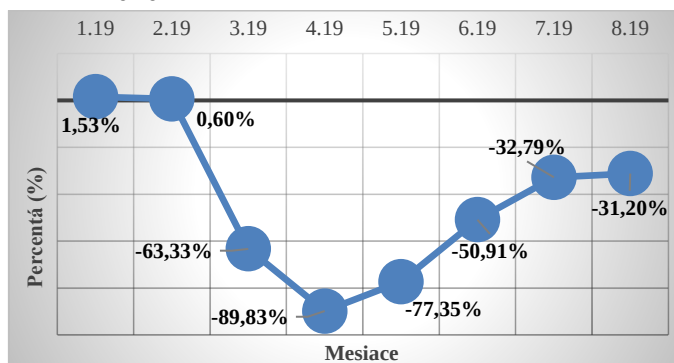
Najväčší medziročný pokles bol zaznamenaný v apríli 2020 na úrovni -88,24 % a v máji (-76,63 %). Po týchto dvoch kritických mesiacoch začali dopravné výkony opäť stúpať. Na obrázku 7 je znázornený vývoj prepravných výkonov na trati Bratislava - Košice v rokoch 2018 - 2020.



Zdroj: Vlastné spracovanie podľa [7]

Obr. 7. Vývoj prepravných výkonov na trati Bratislava - Košice.

Na obrázku 7 môžeme vidieť prepravné výkony na trati Bratislava-Košice v priebehu rokov 2018 až 2020. Údaje ukazujú zvyšujúci záujem o diaľkovú železničnú dopravu počas roka 2019 a prvých mesiacov roku 2020. Pravidelné mesačné výkony sa pohybujú medzi 140 mil. počas menej obľúbených mesiacov až po hranicu 180 miliónov počas októbra 2019. Obrázok 8 znázorňuje medziročnú zmenu dopravných výkonov na trati Bratislava - Košice v roku 2020.



Zdroj: Vlastné spracovanie podľa [7]

Obr. 8. Medziročná zmena dopravných výkonov na trati Bratislava - Košice.

Počas prvých mesiacov roku 2020 pokračoval trend stáleho rastu prepravných výkonov. S nástupom pandémie v marci bol opäť pozorovaný pokles výkonov o dve tretiny, pričom absolútne nízku hodnotu dosiahol v apríli 2020. Obnovený trend bol rovnaký ako trend návratnosti, prepravné výkony však zostali o 33% až 31% nižšie počas letných mesiacov do roku 2019, pričom počet cestujúcich bil len o 25% až 22% nižší. Dôvodom nižších výkonov bol spomínaný trend dlhších ciest počas leta napríklad študentov z Bratislavy späť na východ. Keďže vysoké školy zostali počas prvého polroka 2020 zatvorené, študenti, ktorí cestovali diaľkovou dopravou, zostali doma. Tabuľka 1 znázorňuje zmenu prepravných výkonov v porovnaní s rokom 2019.

Tab. 1. Zmena prepravných výkonov (v tis. oskm) v porovnaní s rokom 2019.

Traťový úsek		Bratislava - Trnava	Žilina – Čadca	Košice – Humenné	Bratislava – Košice	Priemer
Mesiace	1.	2%	-2%	-4%	2%	-1%
	2.	-12%	-1%	-5%	1%	-4%
	3.	-70%	-51%	-61%	-63%	-61%
	4.	-90%	-83%	-88%	-90%	-87%
	5.	-79%	-71%	-77%	-77%	-75%
	6.	-56%	-37%	-47%	-51%	-46%
	7.	-45%	-25%	-28%	-33%	-30%
	8.	-43%	-19%	-15%	-31%	-25%

Zdroj: Vlastné spracovanie podľa [7]

Pandémia COVID-19 zasiahla aj hospodárenie ZSSK v roku 2021. V mesiacoch január a február 2021 sme v porovnaní s rokom 2020 (január a február 2020 ešte neboli poznamenaní pandemiou) prepravili 7,9 mil. cestujúcich menej (-65,24 %), čo zodpovedá výpadku tržieb z osobnej dopravy vo výške 9,2 mil. eur (-71,24 %) [7].

4 Návrh opatrení proti šíreniu COVID-19 v železničnej doprave

Navrhované opatrenia proti šíreniu COVID-19 možno nazvať aj prevádzkovo-organizačné opatrenia. Metodicky sme ich rozdelili na priame opatrenia a nepriame opatrenia. Tieto opatrenia sa vyznačujú tým, že nevyžadujú vysoké investičné nároky a nie sú výrazne náročné na realizáciu. Návrh priamych a nepriamych opatrení je na obrázku 9.



Zdroj: Vlastné spracovanie

Obr. 9. Návrh prevádzkovo-organizačných opatrení.

4.1 Špeciálne bezplatné vitamínové balíčky pre cestujúcich

Nakoľko viaceré výskumy v oblasti virológie ukázali, že pravidelné užívanie správnej skladby vitamínov má výrazný vplyv na zvýšenie obranyschopnosti organizmu pred nákazami vrátane infekcie SARS 2-Covid 19 a v prípade ochorenia výrazne zmierni prejavy ochorenia, uľaví od určitých ťažkostí a urýchli zotavenie, je navrhnuté, aby boli cestujúcim bezplatne ponúknuté špeciálne balíčky, ktoré budú obsahovať vitamín C 250 mg, vitamín D3 2000iu - 30 ks tabliet, selén, Zinok Forte - 30 ks tabliet, čistiaci gél na ruky 200 ml, jednorazové rúška – 10 ks / respirátory typu FFP2 – 5 ks.

Uvedené balíčky budú poskytnuté cestujúcim po splnení aspoň jednej z uvedených podmienok, avšak v období maximálne jedenkrát za mesiac po precestovaní 300 km a pri dennom dochádzaní vlakom na ľubovoľnú vzdialenosť (v rozsahu aspoň 15 kalendárnych dní za mesiac). Doručovanie balíčkov by mohlo byť realizované pri dodržaní prísnych protipandemických opatrení na vopred určených miestach v priestoroch železničných staníc alebo v ich blízkosti (na základe predloženého dokladu, kde cestujúci preukáže, že splnil aspoň jednu z vyššie uvedených podmienok, mu bude na tomto mieste balíček vydaný), distribúciou na uvedenú adresu cestujúceho, distribúciou na iné miesto (napr. lekárňu v mieste bydliska), kde mu na základe predloženého dokladu bude tento balíček bezplatne vydaný.

Prínos uvedeného prevádzkovo-organizačného opatrenia bude spočívať najmä v motivácii cestujúcich k intenzívnejšiemu využívaniu železničnej osobnej dopravy a v motivácii cestujúcich k intenzívnejšej starostlivosti o svoju prevenciu proti všetkým vírusovým ochoreniam, čím sa zároveň zníži riziko ich nákazy pri pravidelných cestách vlakom i v ostatných dopravných prostriedkoch verejnej osobnej dopravy.

4.2 Úprava a dezinfekcia spoločných priestorov vo vozňoch a na staniciach

Interiér dopravného prostriedku musí byť vyhovujúci z hľadiska zdravotnej bezchybnosti dopravného prostriedku. Táto bezchybnosť súvisí s ovplyvnením bakteriálnej, vírusovej a plesňovej mikroflóry, aby bola pre človeka čo najmenej nebezpečná. Pre zabezpečenie zdravotnej bezchybnosti je optimálne dosiahnuť tretiu uvedenú možnosť, čiže hmota dopravného prostriedku musí byť prispôbená tak, aby dokázala priamo zničiť baktérie a vírusy alebo musia byť zabezpečené iné efektívne opatrenia, ktoré tieto mikroorganizmy dokážu rýchlo a efektívne vyhubiť. Preto je navrhované zabezpečiť pravidelnú dezinfekciu WC a spoločných priestorov, zabezpečiť, aby si každý cestujúci vo vlastnom záujme sám vydezinfikuje priestor, kde sedí (po príchode na miesto a pred odchodom z neho) prostredníctvom dezinfekcie, ktorá by mohla byť umiestnená v každom kupé a pri každej štvorici sedadiel v prípade vozňov s uličkou uprostred, inštalovať automatickú čističku vzduchu (napr. Daikin), inštalovať špecifické zariadenia na ničenie mikróbov, pričom ide najmä o Germicídnu lampu, UV dezinfekciu a UV dezinfekciu povrchov. Uvedené špeciálne zariadenia by mohli byť umiestnené na železničných staniciach v spoločných priestoroch a čakárňach, a vo vozňoch jednotlivých vlakov.

4.3 Obmedzenie kontaktu cestujúcich so zamestnancami

Dôrazne sa odporúča aplikovať do dopravných procesov v osobnej doprave také opatrenia, ktoré obmedzia kontakt cestujúcich so zamestnancami dopravcov. Ide predovšetkým o obmedzenie tohto kontaktu na železničných staniciach a vo vlakoch.

4.3.1 Opatrenia na železničných staniciach

Spočívajú v obmedzení kontaktu cestujúcich s osobnými pokladníkmi pri osobných pokladniciach, ktoré by mali byť v tomto prípade zredukované na minimum – týmto budú cestujúci motivovaní k zakúpeniu cestovných lístkov online (cez internet alebo cez mobilnú aplikáciu), čo bude pre nich výhodnejšie aj v tom, že nebudú musieť čakať v radoch pri pokladniciach v železničných staniciach, ale pohodlne môžu prísť na stanicu tesne pred odchodom vlaku.

Ďalším opatrením by mohlo byť zavedenie turniketov v priestoroch interiéru železničných staníc, podchodov alebo nástupísk. Uvedené turnikety by boli umiestnené na vyhradených miestach a každý cestujúci by nimi musel prejsť a ďalej by bol pustený iba po načítaní platného cestovného dokladu. V prípade zavedenia turniketov by nemusela byť vo vlakoch vykonávaná pravidelná kontrola cestovných dokladov vlakvedúcimi, ale iba náhodná kontrola revízormi. Taktiež by bolo vhodné uvažovať o inštalácii špeciálnych zariadení, ktoré by cestujúcim dokázali pred nástupom do vlaku zmerať telesnú teplotu, príp. identifikovať ďalšie príznaky ochorenia COVID-19 alebo možnú mieru infekčnosti daného cestujúceho voči svojmu okoliu. Uvedené úkony by mohli byť zrealizované taktiež v železničných staniciach v priestore pred vstupom do podchodov alebo na nástupiská alebo ešte pred vstupom do staničnej budovy prostredníctvom špeciálneho zariadenia (niečo podobné ako rámy na letiskách). Variantným riešením by mohla byť inštalácia dávkovača gélovej dezinfekcie s meraním telesnej teploty.

4.3.2 Opatrenia vo vlakoch

Spočívajú najmä v obmedzení kontaktu s vlakovým personálom, ktorý bude aj z dôvodu nedostatku vlakvedúcich v ZSSK a. s. zredukovaný na minimum. Kontrola cestovných dokladov bude vo

vlakú prebiehať tak, že v každom vozni nad každým miestom bude umiestnená automatická čítačka QR kódov cestovných dokladov, pričom pred usadením na konkrétne miesto si cestujúci naskenuje svoj cestovný doklad. Po naskenovaní cestovného dokladu sa nad daným miestom rozsvieti kontrolka so zelenou farbou. V prípade naskenovania platného cestovného dokladu avšak na nesprávnom mieste, sa kontrolka rozsvieti nažltlo a v prípade nenaskenovania žiadneho cestovného dokladu sa daná kontrolka rozsvieti načerveno. Tento progresívny systém je však možné zaviesť iba v prípade povinne miestenkových vlakových spojov. Následné kontroly bude vykonávať revízor alebo iný poverený zamestnanec, a to iba v prípade takých cestujúcich, ktorých kontrolka nad ich miestom nebude rozsvietená nazeleno. Toto opatrenie by mohlo slúžiť ako alternatíva k zavádzaniu turniketov na staniciach.

4.4 Zavádzanie povinných miesteniek a obmedzenie kapacity jednotlivých vlakových spojov

V prípade, že budú zavedené určité opatrenia, ktoré by mali pomôcť znížiť mobilitu občanov, a tým pádom je možné uvažovať so znížením frekvencií cestujúcich, bude možné aj obmedziť kapacitu jednotlivých vlakových spojov. Uvedené opatrenie by bolo taktiež možné zrealizovať iba v prípade zavedenia povinných miesteniek vo vlakoch. Jednotlivé alternatívy by mohli byť nasledovné:

- obmedzenie kapacity vozňov na 50% - obsadzovanie každého druhého miesta vo vozňoch s kupé oddielmi (max. traja cestujúci v jednom kupé) aj vo vozňoch s uličkou uprostred (max. dvaja cestujúci v jednej „štvorke“);
- obmedzenie kapacity vozňov na 33% - obsadzovanie každého tretieho miesta, uplatniteľné najmä vo vozňoch s kupé oddielmi (max. dvaja cestujúci v jednom kupé);
- obmedzenie kapacity vozňov na 25% - obsadzovanie každého štvrtého miesta, uplatniteľné najmä vo vozňoch s uličkou uprostred (max. jeden cestujúci v jednej „štvorke“);
- v krajnom prípade obmedzenie kapacity vozňov s kupé oddielmi na 16,67% (max. jeden cestujúci v kupé);
- umiestnenie špecifickej sklenenej steny vo vozňoch s kupé oddielmi, ktorá by bola namontovaná cez stredné sedadlo v oboch radoch, čím by sa dosiahla lepšia ochrana cestujúcich, a zároveň aj viac priestoru a súkromia pre nich – v tomto prípade by bolo možné obmedziť kapacitu týchto vozňov na 66,67% (max. štyria cestujúci v kupé);
- umiestnenie špecifickej sklenenej steny aj do vozňov s uličkou uprostred, a to medzi jednotlivé štvorice, príp. dvojice sedadiel (v tomto prípade by bola odporúčaná kapacita v týchto vozňoch 50%).

Uvedené opatrenie je možné aplikovať najmä v diaľkovej doprave. Pri obmedzení kapacity by sa však mohlo prihliadať aj na to, v akých skupinách cestujúci cestujú (či je cestujúci sám, dvojica, príp. rodina alebo väčšia skupina). Na základe tejto skutočnosti by mohli byť vyhradené kupé oddiely pre rodiny alebo skupiny ľudí.

5 Záver

Železničná doprava na Slovensku zaznamenala počas prvej vlny pandémie výrazný pokles prepravných výkonov. S vyhlásením globálnej pandémie a núdzového stavu v SR v marci 2020 sme pozorovali priemerný pokles výkonov na všetkých linkách o 61 %. Prudký pokles výkonov pokračoval až do apríla, kedy sa zastavil na priemernej úrovni 37 %.

Pozitívne vplyvy na železničnú dopravu v SR sa prejavujú už niekoľko rokov. Počet cestujúcich pred rokom 2020 každoročne rástol. Fungujúce železničné spojenie v rámci SR ponúka vhodnú alternatívu k individuálnej automobilovej doprave na presun medzi krajskými mestami. Predpoklad, že s oživením áut na cestách si potenciálni cestujúci nájdu cestu späť k železničnej doprave bol naplnený. K dlhodobému pozitívnemu vývoju môže prispieť aj úsilie Európskej únie o znižovanie emisií prostredníctvom financovania ekologickejších druhov dopravy poskytovaných železnicou. Postupnou rekonštrukciou tratí zo zdrojov čiastočne poskytovaných Európskou úniou sa môže zvýšiť konkurencieschopnosť vlakovej dopravy na Slovensku. Negatívne dopady pandémie sú skôr krátkodobou hrozbou pre železničnú dopravu. Oslabená dôvera cestujúcich v sterilitu vlakov a staníc netrvala dlhšie ako pol roka po skončení pandémie. Presun cestujúcich na individuálnu automobilovú dopravu spojený so snahou vyhnúť sa ľudskému kontaktu už nie je pri veľkom počte áut vracajúcich sa na cesty a otváraní ekonomiky atraktívnou možnosťou.

6 Literatúra

- [1] DE VOS, J. The effect of COVID-19 and subsequent social distancing on travel behavior. In *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 5. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2020.100121> [cit. 2022- 10- 31].
- [2] DEDÍK, M. - BULKOVÁ, Z. - VALLA, M. - MAŠEK, J. 2022. Vplyv pandémie COVID-19 na využívanie služieb železničnej dopravy na Slovensku. In *Perner's Contacts*, 2022. Vol. 17, No. 1. <https://doi.org/10.46585/pc.2022.1.2311> [cit. 2022- 10- 31].
- [3] BULKOVÁ, Z. - GAŠPARÍK, J. - DEDÍK, M. - KAMPF, R. Implementation of COVID-19 measures in railway operation in the Slovak Republic. In *Cognitive sustainability*, 2022. Vol. 1, No. 2, s. 1-12. <https://doi.org/10.55343/cogsust.18> [cit. 2022- 10- 31].
- [4] EURÓPSKA KOMISIA. Delegované nariadenie Komisie (EÚ), ktorým sa predlžuje referenčné obdobie nariadenia Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2020/1429 zo 7. októbra 2020, ktorým sa stanovujú opatrenia pre udržateľný trh železničnej dopravy vzhľadom na výskyt ochorenia COVID-19. 2020 [cit. 2022- 11- 03].
- [5] L'UPTÁK, V. - PECMAN, J. Assessment of the quality of connections on the rail transport network: A case study. In *Transport Means - Proceedings of the International Conference* [print], 2021. s. 842-846. ISSN 1822296X [cit. 2022- 10- 31].
- [6] ZSSK. Koronavírus, 2020. Dostupné z: <https://www.zssk.sk/koronavirus/> [cit. 2022- 11- 03].
- [7] ZSSK. Výročná správa za rok 2020, 2020. Dostupné z: <https://www.zssk.sk/wp-content/uploads/2021/10/Vyrocnna-sprava-2020.pdf> [cit. 2022- 11- 03].
- [8] ZSSK. Výročná správa za rok 2021, 2021. Dostupné z: https://www.zssk.sk/wp-content/uploads/2022/09/Vyrocnna-sprava-2021_FINAL.pdf [cit. 2022- 11- 03].

Vyhlásenie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Identifikácia a možnosti implementácie nových technologických opatrení v doprave pre dosiahnutie bezpečnej mobility v čase pandémie spôsobenej ochorením COVID-19 (kód ITMS: 313011AUX5), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

WAYS TO IMPROVE THE QUALITY OF TRANSPORT SERVICES

Autori:

Erkin FARMANOV¹, Javlon TURSUNOV²

Tituly a pôsobisko autorov:

¹Erkin Farmanov, PhD student, Faculty of Economics and Tourism, Bukhara State University, M.Ikbol 11, 200 100, Bukhara, Uzbekistan E-mail:e.a.farmanov@mail.uz

²Javlon Tursunov, 1st year Master's student, Faculty of Software Engineering, Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad al-Khwarizmi, Amir Temur Avenue 108, 100200, Tashkent, Uzbekistan E-mail:javlontursunov0817@gmail.com

Abstract: Companies which provide public transportation services should get motivation to improve the quality of their services while decreasing the costs. Primary aim of the current research is to carry out investigation into quality of transportation system in Bukhara - one of the most important cities in Uzbekistan in terms of being historical and cultural place, thus attracting more tourists. The methodology followed by this research is to use qualitative study which has been done based on the survey and quantitative study which was based on the results obtained from a particular group. Students who made the representation of sample were the major users of bus. Some of the factors which have huge impact on the overall satisfaction level are: controller behavior, technology, drivers behavior, convenience, amenities and finally the price. Generally, students feel dissatisfied with the public transportation quality. While technology is most welcomed factor, convenience is the last to be appreciated. By taking the results into account, the current study will try to come up with some innovative approaches to improve the efficiency and quality of public transportation in the city.

Keywords: regression analysis, satisfaction, exploratory factor analysis, qualitative analysis, public transportation.

JEL: R41

SPÔSOBY ZVYŠOVANIA KVALITY PREPRAVNÝCH SLUŽIEB

Abstrakt: Spoločnosti poskytujúce služby verejnej dopravy by mali dostať motiváciu zvyšovať kvalitu svojich služieb pri znižovaní nákladov. Primárnym cieľom súčasného výskumu je vykonať prieskum kvality dopravného systému v Buchare - jednom z najvýznamnejších miest v Uzbekistane z hľadiska historického a kultúrneho miesta, čím priláka viac turistov. Metodológiou tohto výskumu je použitie kvalitatívnej štúdie, ktorá bola vykonaná na základe prieskumu a kvantitatívnej štúdie, ktorá bola založená na výsledkoch získaných od konkrétnej skupiny. Študenti, ktorí reprezentovali vzorku, boli hlavnými používateľmi autobusu. Niektoré z faktorov, ktoré majú obrovský vplyv na celkovú úroveň spokojnosti, sú: správanie respondentov, technológia, správanie vodičov, pohodlie, vybavenie a nakoniec cena. Vo všeobecnosti sa študenti cítia nespokojní s kvalitou verejnej dopravy. Zatiaľ čo technológia je najviac vítaným faktorom, pohodlie je to posledné, čo treba oceniť. Zohľadnením výsledkov sa súčasná štúdia pokúsi prísť s niektorými inovatívnymi prístupmi na zlepšenie efektívnosti a kvality verejnej dopravy v meste.

Kľúčové slová: regresná analýza, spokojnosť, prieskumná faktorová analýza, kvalitatívna analýza, verejná doprava.

1 Introduction

It is always considered vital to have enough information regarding transportation quality provided in countries since it is regarded as a driving force and catalyst for economical development [1]. The overall customer perception regarding an experience of making use of services is what is considered to be quality in the literatures [2]. There is a bunch of tools to acquire user expectations and experiences when carrying out qualitative analysis. Having said that, SERVQUAL stands out among many others by being commonly used and known tool to measure quality of services [3]. This tool is believed to be a multi-dimensional instrument used when carrying out research which is designed to clearly determine what the consumer perceptions and expectations are for a given service. This measurement tool has scale which comes in handy when making measurement of customer perception and expectations regarding performance of received service. The service quality can be measured by scale which has five dimensions which are: responsiveness, empathy, tangibility, reliability and assurance. Meeting the customer needs should be the primary role for transport services and due to the specific services, customers usually do not have many other viable options to pick from. Since the quality cannot be overlooked, to respect the user expectations who use public transport, quality should be the main focus for companies which are held responsible in terms of delivery of services [4]. The quality of provided public transportation service in Bukhara started getting regarded as a vital focus for the administration which is in charge of public transportation.

Initially in a local scope, the city administration came up with the idea of modernizing transport network, specifically the network of buses. As a part of this initial step, new facilities and new buses came to the view in the city. One example of particular things which are to be introduced is the appearance of displays with announcements and commercials in bus stations and buses. Since the students are the major users of the public transportation, they were targeted in order to collect statistical data which is the most important part in this work.

2 Assessment of transportation quality - literature review

Services related to public transportation are considered as a transportation via conveyance which make provision of specific or general transportation to users [5]. There are quite a few studies carried out to make assessment of public transportation system, most of which with the focus on the buses. Most studies approach quality of this particular type of service in certain geographical areas.

In the year of 1998, Edvardsson, Bo carried out research into causes of dissatisfaction among customers by taking the events into consideration which cause the users to complain about the current state of the service. Interviews were organized and written complaints were collected to make analysis. What was concluded from that study was that all the sources of dissatisfaction were happening over and over again in the area where the research was conducted and besides, the factors which were lowering the quality of transportation were punctuality and drivers impoliteness [6]. Research carried out by Kumar, Kanagaluru Sai [1] makes the gap obvious between passenger perception and expectations. Besides, the researcher developed this research further to study the difference among different respondents such as women, men and other passengers who have various occupations.

The research, which was carried out by Sanchez Pérez, Manuel et al [7] investigated the connection between purchase intention and quality of service in public transportation service in Spain by applying SERVPERF adapted scale. Following this is a new scale called QUALBUS which was used to make assessment of the bus service locally in Spain. From the view of Kennedy.J [8], poor quality of service stems from mainly two factors and they are: ignoring the employment of the right people and overlooking the measurement of outcomes coming from certain activities introduced in public transportation. According to Gronroos.C [9], there are important six criteria: accessibility and flexibility, reliability and trustworthiness, professionalism and skills, reputation, attitudes and behaviors, recovery.

Quality of public transport service in two Indian cities was under investigation in a research which was carried out by Randheer, AL-Motawa and Vijay [5] to know how users perceive the quality. They made use of scale in SERVQUAL by using 28 different items in six different dimensions and those dimensions are: responsiveness, reliability, assurance, empathy, cultural and tangibility. To decrease factors and find suitable dimensions, factor analysis proposed earlier was made use of. Elimination of dimension tangibility was done. From what was done, it was concluded that reliability, assurance and responsiveness were considered to be important dimensions. The research results clearly show that some of aspects mentioned in the following are considered to be important: employees who inspire the trust, services which are provided on time (arriving at destination timely), employees willingness to help passengers, convenience in operating hours (correlation with work schedule) and respect towards for everyone, especially for local values, attention to women, children and disabled people [5]. Barabino.B et al [10] made some modifications to SERVQUAL scale before using it in his own research to evaluate quality of service in urban bus transport system and in his work, on-board security, frequency, cleanliness and reliability were considered as important factors.

3 Research methodology

The primary aim of this research is to make investigation into the current public transport quality in Bukhara. The study focus was on the bus which is one of the popular means of transportation since it was subject to modernization.

What was expected from the research is given below:

- A) determination of factors which can be indicators of public transport user satisfaction
- B) determination of level of satisfaction of users in terms of public transportation.
- C) suggestions for improvement of public transport services.

The obtained sample is consisted of students studying in four universities who use bus to commute. Since students are major commuters using public transportation system, they were in the target group in the city. When making decision on which sampling method to be used, the most convenient one was used. While getting the questionnaire, it was considered that the bus station is not the right place to ask students to fill the form and submit it for this reason, they were asked to fill the form during their presence at the university. Among students, the ones who use the bus mostly were chosen to take part in the ongoing research. Two types of research were merged together in this work which were: quantitative research for which, the survey was important and second one was qualitative research for which, the focus group is considered to be important. In the conducted research, there were three different groups, with each group including eight participants. As it was mentioned above, participants are meant to be students since majority part of student population use the bus. Depending on the results obtained from focus groups, questionnaire was prepared which is given below and the satisfaction level was ranging from one to seven, with one meaning total dissatisfaction and seven meaning total satisfaction (Table 1). Apart from the scale in this table, to evaluate the overall experience, another scale was used and gender information was also taken into account for the statistical data.

What means of transportation do you use frequently ?☐bus☒taxi private☐car☐Not public transport

On the scale ranging from one to seven, assess satisfaction level in different following aspects when using the bus in the city.

Tab. 1 Satisfaction level

Noise	1	2	3	4	5	6	7
Ticket price	1	2	3	4	5	6	7
Unannounced deviation	1	2	3	4	5	6	7
Subscription	1	2	3	4	5	6	7
Displaying traffic schedule	1	2	3	4	5	6	7
Frequency	1	2	3	4	5	6	7
Buying a ticket via SMS	1	2	3	4	5	6	7
Convenience	1	2	3	4	5	6	7
Smell	1	2	3	4	5	6	7
Displays	1	2	3	4	5	6	7
Music	1	2	3	4	5	6	7
Garbage basket	1	2	3	4	5	6	7
Waiting time	1	2	3	4	5	6	7
Comfort	1	2	3	4	5	6	7
Temperature	1	2	3	4	5	6	7
Video Cameras	1	2	3	4	5	6	7
Ticket scanners	1	2	3	4	5	6	7
Windows	1	2	3	4	5	6	7
Chairs	1	2	3	4	5	6	7
Tidiness	1	2	3	4	5	6	7
Driver's clothing	1	2	3	4	5	6	7
Driver's language	1	2	3	4	5	6	7
Driving style	1	2	3	4	5	6	7
Respect towards passengers	1	2	3	4	5	6	7
Controller's respect towards passengers	1	2	3	4	5	6	7
Controller's manner	1	2	3	4	5	6	7
Fair penalties	1	2	3	4	5	6	7
Time to manage controls	1	2	3	4	5	6	7
Safety for accidents	1	2	3	4	5	6	7
Safety against thieves	1	2	3	4	5	6	7
Waiting time	1	2	3	4	5	6	7
Passenger behavior	1	2	3	4	5	6	7
Number of buses in the same line	1	2	3	4	5	6	7

Source: own processing

Overall experience

1	2	3	4	5	6	7
---	---	---	---	---	---	---

Gender ☐Male ☐Female

District _____

Income per month

☐ < 500k ☐ 500-1000 ☐ 1000-1500 ☐ 1500-2000 ☐ >2000

4 Research results

Overall, 30 subjects were tested for the questionnaire and in order to make questions more clear, some modifications have been made. Validity and accuracy of the content were checked by three professors who work at and commute to university by bus almost every day. Having analyzed the questionnaire, they said they can confirm that all the included aspects can cover all the conditions to carry out survey. Factor analysis was used to verify the construct validity, by grouping the items according to dimensions and correlations among variables. Sample structure can be seen in Table 2.

Tab. 2 Sample of research

			Income per month					Total
			>500	500-1000	1000-1500	1500-2000	>2000	
Gender	Male	Count	28	22	10	0	4	64
		%	26.9%	32.4%	29.4%	0.0%	100%	30.2%
	Female	Count	76	46	24	2	0	148
		%	73.1%	67.6%	70.6%	100%	0.0%	69.8%
Total		Count	104	68	34	2	4	212
		%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Source: own processing

To carry out factor analysis, size of the sample should be sufficient. There are some rules which are given below. According to Rule 100, the variables which are used in factor analysis should be five time smaller than the total number of participants who will act as a respondent [11]. According to Rule 150, the size of the sample should be equal to the number which is in the range from 150 to 300 [12]. According to Rule 200, the size of the sample should be no less than 200 in some cases [13]. In this study, overall 212 samples were collected from respondents which is totally appropriate size in terms of carrying out factor analysis.

Exploratory factor analysis was used in SPSS which used Principal Components Extraction Method with 33 items included. KMO test value was equal to 0.815 which, in turn, confirms that factor analysis meant for correlations among matrix is appropriate. Values of KMO which is more than 0.7 is the indication of reliable solution. Whereas, values equal to 0.6 or smaller can illustrate factors which are not appropriate [14] [15]. While some researchers highly recommend a level which is greater than 60 % [17], some researches tend to keep analysis factor around 80% in variance [16].

In all the carried out researches, the Component Matrix represents loadings of factors, with loadings which is less than 0.3 being considered weak and other ones which are in the range from 0.3 and 0.6 are considered average and finally those which are over 0.6 are regarded as strong[18]. Majority of researchers who made use of exploratory analysis did their work with 0.4 cut-off margin point[19]. In this work, it is impossible to come across values which are lower than 0.4 that's why removal of no item is necessary. Items sharing the same loadings with more than one factor were made to disappear in Rotated Component Matrix.

The following includes the items which were removed: Video cameras, Tickets scanners, Safety for thieves during trips, Waiting time, Comfort, General tidiness, Displaying the buses traffic schedule, Penalties application fairness, Buses frequencies arrivals, Time to manage controls and Noise. After removing these factors, the new factor analysis was carried out and new six factors were identified which were more than 1 which plays important role to explain 69.71 percent in total variance. Consistency is measured internally with the help of the coefficient called Cronbach-alpha. If this coefficient is around 0.89, it is considered reliable, with the lowest value being 0.7 however, in some cases, cut-off point is 0.75 or can be 0.8[16] while other researches consider 0.5 value satisfactory[20]. From the view of George and Mallery [21], value 0.9 can be regarded as excellent in terms of reliability.

In this work, six dimensions were identified and they are: Convenience, Amenities, Drivers behavior, Controllers behavior, Price and Technology. Table 3 illustrates the used scale in the dimension called Drivers behavior in which the Cronbach-alpha coefficient value is 0.82. Initially, there were 4 items but after the removal of Other travelers' behavior this coefficient reached to 0.85. The level of satisfaction is 3.36. Driving style is considered as a one of factors which cause dissatisfaction.

Tab. 3 Drivers behavior

Item	Loading	Average
Driving style	0.837	3.28
Driver respect for passengers	0.766	3.80
Driver language	0.711	3.83

Source: own processing

Scale for the Controllers behavior can be seen in table 4 Initially, the scale had 3 items and internal consistency scale was 0.79. After the removal of Driver clothing in scale, Cronbach-alpha coefficient reached 0.9 and satisfaction level was 2.59. Students expressed their dissatisfaction about how controllers communicate with them and also they expressed disrespect of controllers.

Tab. 4 Controller behavior

Item	Loading	Average
Controller respect	.896	2.614
Controller manner	.859	2.5728

Source: own processing

Amenities dimension is represented in table 5 which includes three items and scale consistency is 0.79. This scale has level of satisfaction with 3.05. People felt dissatisfied about the number of buses in the same line as well as the way the windows and chairs are organized in the bus.

Tab. 5 Amenities

Item	Loading	Average
Chairs	0.824	2.95
Windows	0.775	3.00
Number of buses	0.529	3.21

Source: own processing

Convenience dimension is clearly illustrated in the table 6 which includes four items and consistency in this scale is 0.83 and level of satisfaction is 2.21. Passengers expressed their dissatisfaction about the conditions and comfort level.

Tab. 6 Convenience

Item	Loading	Average
Temperature	0.727	2.21
Garbage bins	0.730	1.80
Smell	0.785	1.69
Convenience	0.718	2.34

Source: own processing

The technology dimension is given in table 7 with 4 items included in the scale initially and scale consistency is 0.58. Once the removal of uninformed deviation from scale occurred, the coefficient reached 0.65 and level of satisfaction was 4.01. They felt no satisfaction or dissatisfaction regarding technology.

Tab. 7 Technology

Items	Loading	Average
Displays	0.582	3.87
SMS buying system	0.750	4.27
Connection among transportation lines	0.574	3.91

Source: own processing

Table 8 illustrates price dimension which has two items and consistency was 0.73, with satisfaction level being equal to 3.4. The factors that make students dissatisfied are subscriptions and prices of tickets. Even though they are offered special subscriptions, they do not seem to be enough.

Tab. 8 Price

Item	Loading	Average
Ticket price	0.81	2.99
Subscription	0.78	3.81

Source: own processing

In the table 9, each factor describing satisfaction level is illustrated, with average satisfaction level being 3.31. People felt dissatisfied about the different aspects of the public transportation in the city and the technology is the first and convenience is the last when it comes to appreciating them. In the table 10, what is shown is coefficients which are used for regression analysis.

Tab. 9 Overall satisfaction

Factor	Average
Technology	4.01
Driver behavior	3.63
Price	3.40
Amenities	3.05
Controller behavior	2.59
Convenience	2.01

Source: own processing

Tab. 10 Coefficients

	B	Std. Error	Beta	t	Sig.
(Constant)	3.311	0.59		55.750	0
Convenience_F	0.55	0.60	0.262	5.967	0
Drivers_F	0.781	0.60	0.577	13.125	0
Controllers_F	0.225	0.60	0.166	3.783	0
Amenities_F	0.457	0.60	0.337	7.669	0
Technology_F	0.364	0.60	0.269	6.122	0
Price_F	0.030	0.60	0.022	0.510	0.611

Source: own processing

Regression analysis was used to determine how important each factor is. With the help of the regression model, 60 percent of variables can be explained which are dependent variables. To carry out Anova analysis, sig value should be less than 0.05. According to null hypothesis, some regression coefficients which are close to zero were rejected. Variables which are independent, can explain the variation of variables which are dependent.

General degree of satisfaction is explained by the equation:

Almost all coefficients corresponding to connections, which are significant, are available for following five different dimensions: Controllers behavior ($t=3.7$, $\text{sig.}=0.00$), Amenities ($t=7.66$, $\text{sig.}=0.00$), Drivers behavior ($t=13.12$, $\text{sig.}=0.00$), Technology ($t=6.1$, $\text{sig.}=0.00$) and Convenience ($t=5.9$, $\text{sig.}=0.00$).

Following equations helps to find the general satisfaction level.

General satisfaction level = 3.3+ 0.78*drivers behavior +0.45*Amenities +0.36*Technology +0.35*Convenience +0.22*Controller behavior.

Drivers behavior is considered as the import factor when it comes to general satisfaction. Another important factors mentioned by the young people are driving style and driver respect towards passengers because of which, passengers feel dissatisfied. Other remaining factors are as equally important as the ones mentioned above in terms of making passengers feel satisfied with public transportation quality.

5 Conclusion

There are some factors which can directly affect satisfaction level among public transport users and they are: amenities - the organization of windows and seats and functionality of them, driver behavior - how they talk with passengers, how they communicate and how polite they are, technology - availability of displays and possibility of buying the ticket by SMS system using mobile phones, controller behavior - how they respect passengers or how they communicate with students while checking the ticket and finally convenience - available conditions in the bus like air conditioner. From this research, it can be seen that the students feel dissatisfaction regarding the public transport quality. Compared to other factors, only technology was found satisfactory while other remaining factors were found dissatisfactory. These obtained results can be used to improve the quality of public transportation service since it clearly indicates some of the aspects which are not appreciated much by the students who are majority part of public transport users.

Findings obtained in this research can be of benefit for some administrations who are striving to improve the quality of transportation system to meet the passenger expectation.

References

- [1] Kumarv, Kanagaluru Sai, 2012. "Expectations and Perceptions of Passengers on Service Quality with Reference to Public Transport Undertakings". The IUP Journal of Operations Management, Vol. XI, No. 3.
- [2] Johns. N, 1992. "Quality Management in the Hospital Industry: Part 1. Definition and specification", International Journal of Contemporary Hospitality Management, 1.4(3), p. 14-20.
- [3] Parasuraman.A, Berry.L.L, Zeitham.V, 1991. Refinement and reassessment of the SERVQUAL scale, Journal of Retailing, 57(3), p. 25-48.
- [4] Ancarani.A, Capaldo.G, 2001, "Management of standardized public services: a comprehensive approach to quality assessment". Managing Service Quality, 1(5), p. 331-341.
- [5] Randheer.K, AL-Motawa.A, Vijay.P, 2011. "Measuring Commuters' Perception on Service Quality Using SERVQUAL in Public Transportation", International Journal of Marketing Studies, Vol. 3, No. 1, p. 21-34.
- [6] Edvardsson.Bo, 1998. "Causes of customer dissatisfaction — studies of public transport by the critical-incident method", Managing Service Quality, Volume 8 - Number 3, p. 189-197 MCB University Press ISSN 0960-4529.
- [7] Sanchez Perez, Manuel, Gazquez Abad, Juan Carlos, Marin Carrillo, Gema Maria and Raquel Sanchez Fernandez, 2007. "Effects of service quality dimensions on behavioral purchase intentions. A study in public-sector transport", Managing Service Quality. Vol. 17 No. 2, p. 134-151.
- [8] Kennedy.J, 2011. "Current Trends in Service Quality: A Transportation Sector Review", Journal of Marketing Development and Competitiveness, vol. 5(6).
- [9] Gronroos.C, 1999. "Internationalization strategies for services", The Journal of Services Marketing, 13(4/5), p. 290 - 297.
- [10] Barabino.B, Deiana.E and Tilocca.P, 2012. "Measuring service quality in urban bus transport: A modified SERVQUAL approach ", International Journal of Quality and Service Sciences, 4 (3), p. 238-252.
- [11] Hatcher, Larry, 1994, "A step-by-step approach to using the SAS system for factor analysis and structural equation modelling", SAS Institute. Focus on the CALIS procedure.
- [12] Hutcheson, Graeme and Sofroniou.Nick, 1999. "The multivariate social scientist: Introductory statistics using generalized linear models", Thousand Oaks, CA: Sage Publications.
- [13] Gorsuch.R.L, 1983 "Factor Analysis", Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum. Orig. ed. 1974.
- [14] Pintilescu.C, 2007, "Analiza statisticd multivariata", Iasi, Editura Universitatii Alexandru Ioan Cuza.
- [15] Tufis.P, 2009, "Modele de ecuatii structurale cu variabile observate, suport de curs ASIS".
- [16] csu.edu/garson/PA765/factor.htm (Garson, 2010)
- [17] Malhotra.N.K, 1998, "Marketing Research", An Applied Orientation, New Jersey: Prentice Hall.

[18] DeCoster.J, 2004, Data Analysis in SPSS. Retrieved.

[19] Raubenheimer.J.E, 2004, "An item selection procedure to maximize scale reliability and validity", South African Journal of Industrial Psychology, 30 (4), p. 59-64.

[20] Fogg.B.J, Marshall.J, Laraki.O, Osipovich.A, Varma.C, Fang.N, Paul.J, Rangnekar.A, Shon.J, Swani.P, Treinen.M, 2001, "What Makes Web Sites Credible? A Report on a Large Quantitative Study", CHI, Volume No. 3, Issue No. 1

[21] George.D, Mallery.P, 2003, "SPSS for Windows step by step: A simple guide and reference", 11.0 update (4th edition). Boston: Allyn & Bac

MOBILITA OBYVATEĽOV A PANDÉMIA COVID-19 V ŽILINSKOM REGIÓNE

Autori:

Veronika HARANTOVÁ¹,

Tituly a pôsobisko autorov:

¹Ing. Veronika Harantová, PhD., Katedra cestnej a mestskej dopravy, Fakulta prevádzky a ekonomiky dopravy a spojov, Žilinská univerzita v Žiline, Univerzitná 8215/1, 010 26, Žilina, Slovensko E-mail: veronika.harantova@fpedas.uniza.sk

Abstrakt: Celosvetová pandémia COVID-19 vplyvom rôznych opatrení a obmedzení zmenila fungovanie celého sveta na pár rokov. Najväčší vplyv týchto opatrení bol zistený najmä v cestovnom správaní ľudí pri každodenných činnostiach. Zmeny v mobilite výrazne ovplyvnili aj nákupné správanie, aby obmedzili šírenie pandémie. Cieľom tohto príspevku je zhodnotenie a analýza medzi nákupnými preferenciami spotrebiteľov a vybranými dennými aktivitami počas pandémie COVID-19 a pred ňou. Údaje boli získané pomocou online dotazníka rozdeleného do niekoľkých sekcií ako sociodemografické faktory, nákupné preferencie a frekvencia vybraných aktivít za týždeň. Celkovo sa do prieskumu zapojilo 407 respondentov. Výsledky ukazujú, že existuje súvislosť medzi preferenciou spotrebiteľov nakupovať v supermarketoch a frekvenciou rodinných návštev za týždeň počas pandémie, okrem iných faktorov. Najčastejšie zmeny pri mobilite boli zistené pri dochádzaní do práce. Tieto zistenia nadväzujú na predchádzajúce štúdie o dôsledkoch zmeny mobility v dôsledku globálnej krízy.

Kľúčové slová: mobilita, COVID-19, pandémia, denné aktivity, dopravný prostriedok

JEL: J91, L91

POPULATION MOBILITY AND THE COVID-19 PANDEMIC IN SLOVAKIA

Abstract: Due to various measures and restrictions, the global pandemic of COVID-19 changed the functioning of the entire world for a few years. The greatest impact of these measures was found mainly in the travel behavior of people in everyday activities. Changes in mobility have also significantly affected shopping behavior to limit the spread of the pandemic. The aim of this paper is to evaluate and analyze the relationship between consumer shopping preferences and selected daily activities during and before the COVID-19 pandemic. The data was obtained using an online questionnaire divided into several sections such as sociodemographic factors, shopping preferences and frequency of selected activities per week. A total of 407 respondents participated in the survey. The results show that there is an association between consumers' preference to shop at supermarkets and the frequency of family visits per week during the pandemic, among other factors. The most frequent changes in mobility were found when commuting to work. These findings build on previous studies on the consequences of changing mobility as a result of the global crisis.

Keywords: mobility, COVID-19, pandemic, daily activities, mean of transport

1 Úvod

Cestovanie a spotrebiteľské správanie je komplexný problém, ktorý zahŕňa mnoho faktorov, ako je vek, pohlavie, sociálne postavenie, životný štýl a povolanie. Väčšina modelov neobchodného cestovania sa zameriava na modely cestovania s aktivitami pre domáce interakcie, rekreačné aktivity a výber režimu počas sviatkov alebo víkendov. Jednotlivci však môžu a priori preferovať konkrétnu kategóriu dobrej spotreby – v tomto prípade trvanie voľnočasovej aktivity. Čas cesty a výber spôsobu dopravy sú úzko spojené s trvaním aktivity. Mimoškolské modely cestovania pokrývajú širokú škálu cestovných účelov, ako sú rodinné návštevy, nákupy a aktivity súvisiace so školou [1]. Rôzne spôsoby dopravy si vyberajú študenti, zamestnaní jednotlivci, dôchodcovia, ale to platí aj o možnostiach výberu a nákupov. Tieto skutočnosti napomáhajú súčasným možnostiam cestovania rôznymi druhmi dopravy a pohybu ľudí v preplnených oblastiach k presunu nakazených bez príznakov. Preprava v preplnených vozidlách šíri chorobu [2]. Práve pohyb človeka uľahčuje prenos infekčných chorôb. Individuálna mobilita podľa účelu sa dramaticky znížila s výnimkou ciest súvisiacich s nakupovaním [3]. Ľudia sú menej ochotní využívať verejnú a zdieľanú dopravu z dôvodu negatívnych dopadov vnímaných hrozieb COVID-19. Symptómy COVID-19 možno u ľudí zistiť len niekoľko dní po cestovaní a ochorenie sa môže prenášať pri každodenných aktivitách [4]. Proti šíreniu COVID-19 v krajinách po celom svete boli prijaté prísne sociálne opatrenia. Všetky spoločenské akcie boli zakázané, práca a škola sa presunuli do domáceho prostredia. Strach z neznámej choroby spôsobil automatické zmeny v každodenných činnostiach a zvykoch ľudí.

Nová pandémia koronavírusu COVID-19 zasiahla svet prostredníctvom niekoľkých globálnych opatrení na obmedzenie šírenia choroby začiatkom roka 2020. Vlády na celom svete zaviedli obmedzenia dopravy a mobility v bezprecedentnom rozsahu. Prvé pozitívne prípady COVID-19 sa vyskytli už v decembri 2019 vo Wu-chane (hlavné mesto čínskej provincie Chu-pej) a pandémia sa postupne rozšírila do celého sveta. V januári boli hlásené prvé pozitívne prípady v USA, Kanade a Európe [5]. Od začiatku januára do konca februára 2020 bolo postihnutých celkovo 54 krajín a tiež africký kontinent. WHO vyhlásila vypuknutie choroby za medzinárodnú krízu verejného zdravia 30. januára 2020. Obmedzenia osobných stretnutí sú najefektívnejším spôsobom riešenia šírenia choroby. Na Slovensku sa prvý pozitívny prípad ochorenia vyskytol začiatkom marca 2020 [6].

Celkovo mala pandémia obrovský vplyv na zmeny v mobilite. Údaje o mobilite obyvateľstva sú dostupné z mobilných aplikácií [7]. Počas pandémie COVID-19 Európska komisia požiadala Google a Apple o denné údaje o mobilite obyvateľstva v priebehu času, aby mohla analyzovať trendy mobility [8,9]. Začiatkom roka 2020 došlo po vyhlásení COVID-19 za globálnu pandémiu k výraznému poklesu mobility. K zmene mobility pravdepodobne došlo pre opatrenia na zabránenie šírenia pandémie. Následne mobilita obyvateľstva korelovala s postupným príchodom ďalších vln pandémie. Mobilita sa pravdepodobne bude postupne zvyšovať v dôsledku očkovania [10]. Z tohto dôvodu je používanie údajov o mobilite dôležitou otázkou a hlavným problémom pri skúmaní vplyvu pandémie COVID-19. Od vypuknutia COVID-19 a zníženia ľudských interakcií došlo na celom svete k veľkému poklesu mobility [11,12].

V tejto štúdii sme na základe predošlých faktov zistili zmeny v správaní ľudí v dôsledku pandémie v porovnaní s predchádzajúcim obdobím. Konkrétne sme sa zamerali na mobilitu a frekvenciu nákupného správania. Cieľom tohto príspevku bolo zistiť súvislosť medzi nákupnými preferenciami a frekvenciou vybraných aktivít v rámci každodennej mobility v nepandemických a pandemických obdobiach pre obyvateľov Slovenska. Následne sa tieto zistenia porovnali, aby sa určilo odlišné správanie pri implementácii protipandemických opatrení počas pandémie COVID-19. Navyše, tieto výsledky môžu slúžiť ako výstup pre potenciálne rozdelenie obchodných operácií a alternatívnych spôsobov dopravy na základe frekvencie vybraných aktivít a nákupných preferencií. Naše zistenia tiež poskytujú nové poznatky pre akademikov, odborníkov z praxe a tvorcov politik počas pandémie COVID-19. Počas pandémie COVID-19 musia ľudia pracovať alebo dopĺňať zásoby potravín, a preto došlo k zmenám v spotrebiteľskom správaní. Súčasný výskum má dôležité dôsledky pre spotrebiteľov, maloobchodných manažérov a tvorcov verejnej politiky. Spotreba sa zmiernila a do popredia sa opäť dostala udržateľnosť; preto sa obchodníci museli prispôbiť tejto novej dobe.

2 Metódy výskumu

Údaje pre tento výskum boli zbierané prostredníctvom elektronického dotazníkového prieskumu. Vzhľadom na pretrvávajúce pandemické opatrenia a potrebu sociálnej izolácie sa uvedená metóda prieskumu stala najpriateľnejšou. Prieskum sa uskutočnil v spolupráci Žilinskej univerzity a obyvateľov okresu Žilina. Znenie dotazníka ako aj hlavné predpoklady príspevku, zvolenú metódu a výpočet vzorky respondentov vypracovali autori. Dotazníkový prieskum, teda zber údajov, sa uskutočnil počas jari 2021. Načasovanie zberu údajov bolo na rozhraní zmieňovania opatrení. Kedy sa počítalo s tým, že respondenti si pamätajú na zmeny v cestovných návykoch, ktoré priniesli politické opatrenia. V tom istom čase došlo k uvoľňovaniu opatrení aj v prvej vlne pandémie COVID-19 v roku 2020. Avšak v tomto prípade predstavovalo uzavretie krajiny väčší šok a stíšenie pre obyvateľov, nakoľko existovalo iba minimálne množstvo informácií o víruse SARS-CoV-2. Zlomovým bodom bolo zavedenie proti epidemickým opatrení v krajine, ktoré sa týkali najmä dopravy (mobility). Tu uvádzame niekoľko z nich:

- zákaz návštev zdravotníckych zariadení, väzníc, domovov detí a domovov dôchodcov
- zatvorenie všetkých škôl a školských zariadení
- obmedzenia medzinárodnej a vnútroštátnej vlakovej i autobusovej prepravy
- zatvorenie barov, voľnočasových zariadení a priestorov, zákaz organizovania hromadných akcií

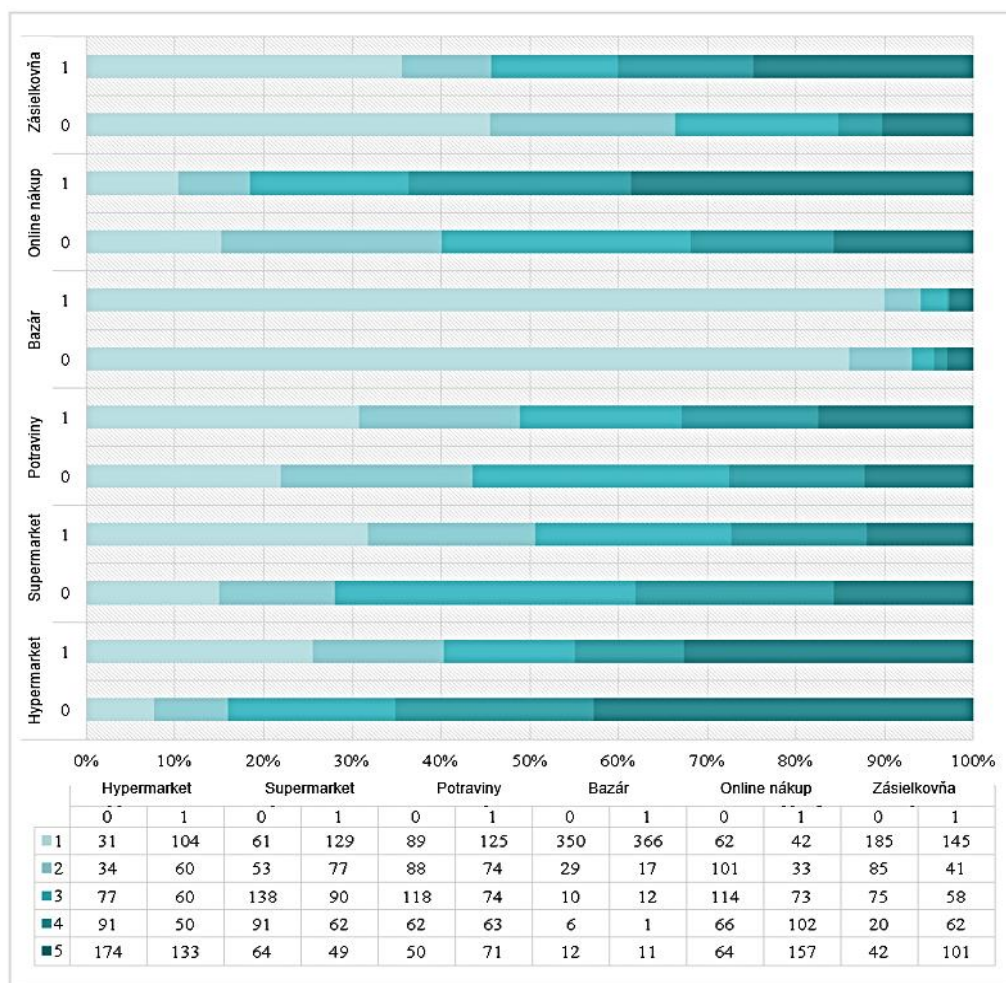
2.1 Dotazníkový prieskum

Veľkosť vzorky bola stanovená na úroveň spoľahlivosti 95% pri intervale spoľahlivosti 5%, čo zodpovedá najčastejšie používanej vzorke výskumníkmi. Vzorka bola určená z počtu obyvateľov okresu Žilina (158 456) a to podľa vyššie uvedených kritérií odrážalo 383 dotazníkov. Avšak počas získavania odpovedí sa nám podarilo získať až 407 zodpovedaných dotazníkov.

Medzi hlavné otázky patrili účel cesty, spôsob dopravy, druh použitého dopravného prostriedku a priemerná precestovaná vzdialenosť pred a po zavedení opatrení v rámci jedného dňa. Všetky uvedené otázky boli zamerané na týždenné aktivity a intenzitu cestovania do práce, nakupovania, používania rôznych druhov dopravných prostriedkov počas dňa. Dotazník zahŕňal aj sociodemografické faktory ako vek, pohlavie, zamestnanie, vzdelanie, miesto bývania. Dotazníkové otázky sa zameriavajú iba na každodenné cestovanie obyvateľov nakoľko prijaté opatrenia viedli k poklesu ciest na dlhé vzdialenosti. Vo všeobecnosti je cestovanie počas týždňa štruktúrovanejšie kvôli práci a škole. Cez víkend jednotlivci cestujú menej. Preto sa pri analýze dennej mobility zameriavame na pracovné dni.

3 Výsledky

Porovnali sme preferencie respondentov pri nakupovaní a spôsoboch dopravy pred a počas pandémie COVID-19. Obrázok 1 zobrazuje preferencie nakupovania pred a počas pandémie COVID-19.



Zdroj: Vlastné spracovanie

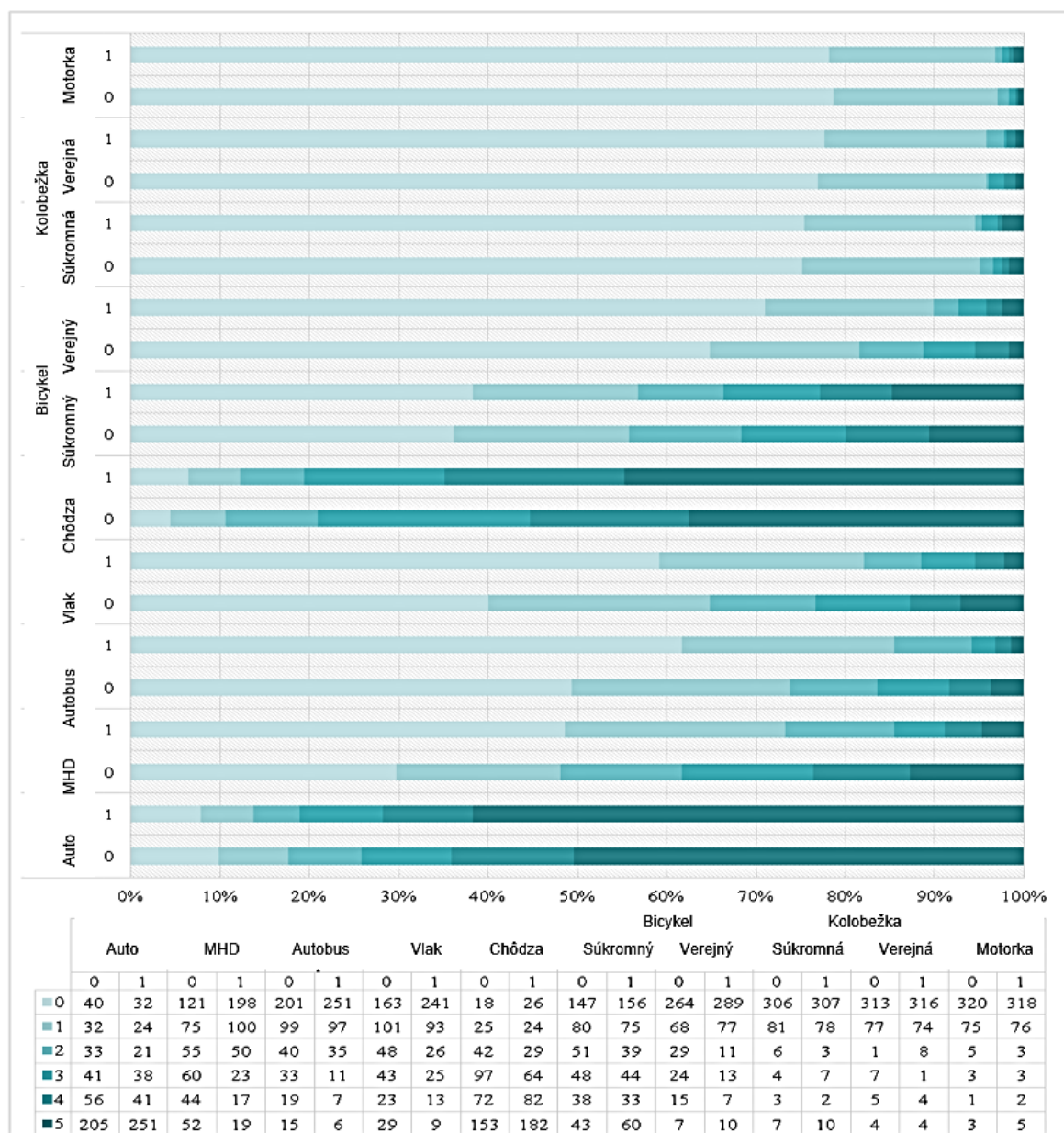
Obr. 1. Národné preferencie pred a počas pandémie COVID-19. Pred pandémiou COVID-19 (0) a počas pandémie COVID-19 (1) na horizontálnej osi. Legenda: najmenej používaný spôsob dopravy (1) a najpoužívanější spôsob dopravy (5) na zvislej osi.

Ako je možné vidieť na obrázku 1, spotrebitelia pred pandémiou uprednostňovali nakupovanie v obchodoch s väčšími nákupnými plochami, ako sú hypermarkety (174) a supermarkety (64). Pandémia však dramaticky zmenila nákupné preferencie. Naše výsledky ukazujú, že spotrebitelia zmenili veľké predajne za lokálne predajne (z 50 na 71, nárast o 42 %) a alternatívne spôsoby nakupovania ku kamenným predajniam, ako je online nakupovanie (zo 64 na 157, nárast o viac ako 145 %) a doručovacie služby (zo 42 na 101, nárast o viac ako 140 %).

Napr. v Austrálii dosiahli nakupujúci najvyšší rekord v nakupovaní online, pričom v apríli 2020 vzrástol na 41 % v porovnaní so 17 % v roku 2019. Na druhej strane v Španielsku väčšina (62,7 %) spotrebiteľov nakupuje raz týždenne a len 8,5 % všetkých nakupuje každý deň. Naproti tomu 34,5 % spotrebiteľov nakupuje denne aj počas pandémie.

Na základe analýzy ukazovateľov finančnej výkonnosti platformy na Taiwane online nakupovanie potravín ukazuje, že pandémia COVID-19 výrazne zvýšila online nakupovanie. Online predaj potravín vzrástol o 5,7 % počas priemerného týždňa pred pandémiou a po pandémii COVID-19 vzrástol na 18 % [13].

Na druhej strane, obrázok 2 odhaľuje preferencie používania dopravných prostriedkov pre pandémiu COVID-19 v porovnaní s predchádzajúcim obdobím.



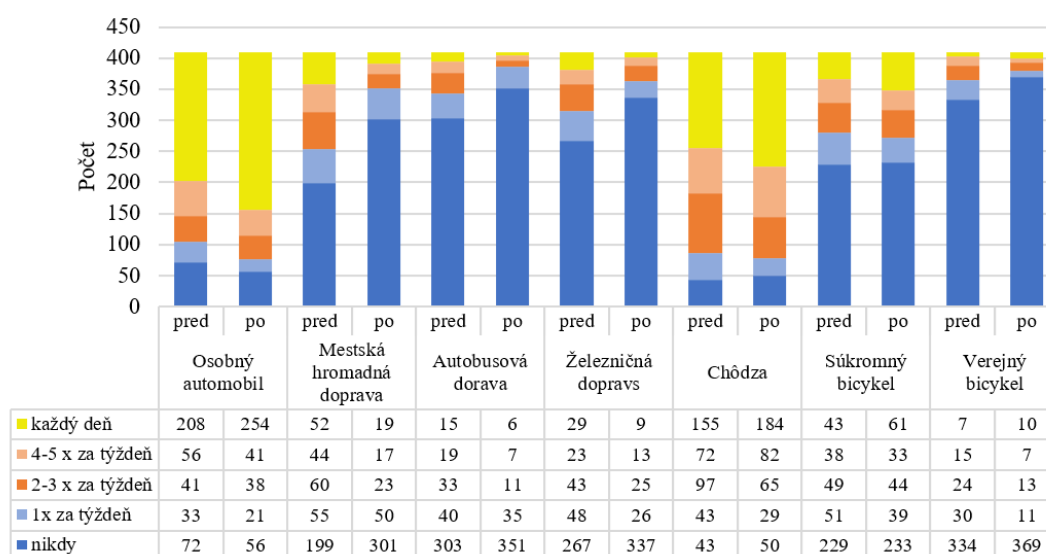
Zdroj: Vlastné spracovanie

Obr. 2. Preferencie používania dopravných prostriedkov pred a počas pandémie COVID-19. Pred pandémiou COVID-19 (0) a počas pandémie COVID-19 (1) na horizontálnej osi. Legenda: nevyužívaný spôsob dopravy (0), najmenej používaný spôsob dopravy (1) a najpoužívanejší spôsob dopravy (5) na zvislej osi.

Ako vidno, opýtaní preferujú auto oproti iným druhom dopravy. Tieto výsledky sa, samozrejme, týkajú najmä súkromných vozidiel na rozdiel od zdieľaného priestoru, ktorý je vysoko rizikovým faktorom pre šírenie vírusu počas pandémie. Mnohí respondenti však uprednostňujú zdravý životný štýl, pretože chôdza

je tiež preferovaným spôsobom pohybu. Na druhej strane menej ako 10 respondentov preferuje zdieľaný bicykel, súkromný bicykel a zdieľaný bicykel.

Avšak respondenti, ktorí využívali verejnú dopravu na dennej báze, resp. viackrát týždenne, znížili použitie alebo prestúpili na iný druh dopravy. Pri osobnom automobile sa zvýšila frekvencia použitia každý deň o 11% a o takmer 4 % poklesla možnosť nevyužívania. Každodenný nárast bol zaznamenaný aj pri použití bicykla a chôdze. Pre lepší prehľad je použitie dopravy uvedené na nasledujúcom obrázku (nezahŕňa spôsob dopravy, ktorá využíva menej ako 300 opýtaných, teda kolobežka a motorka).



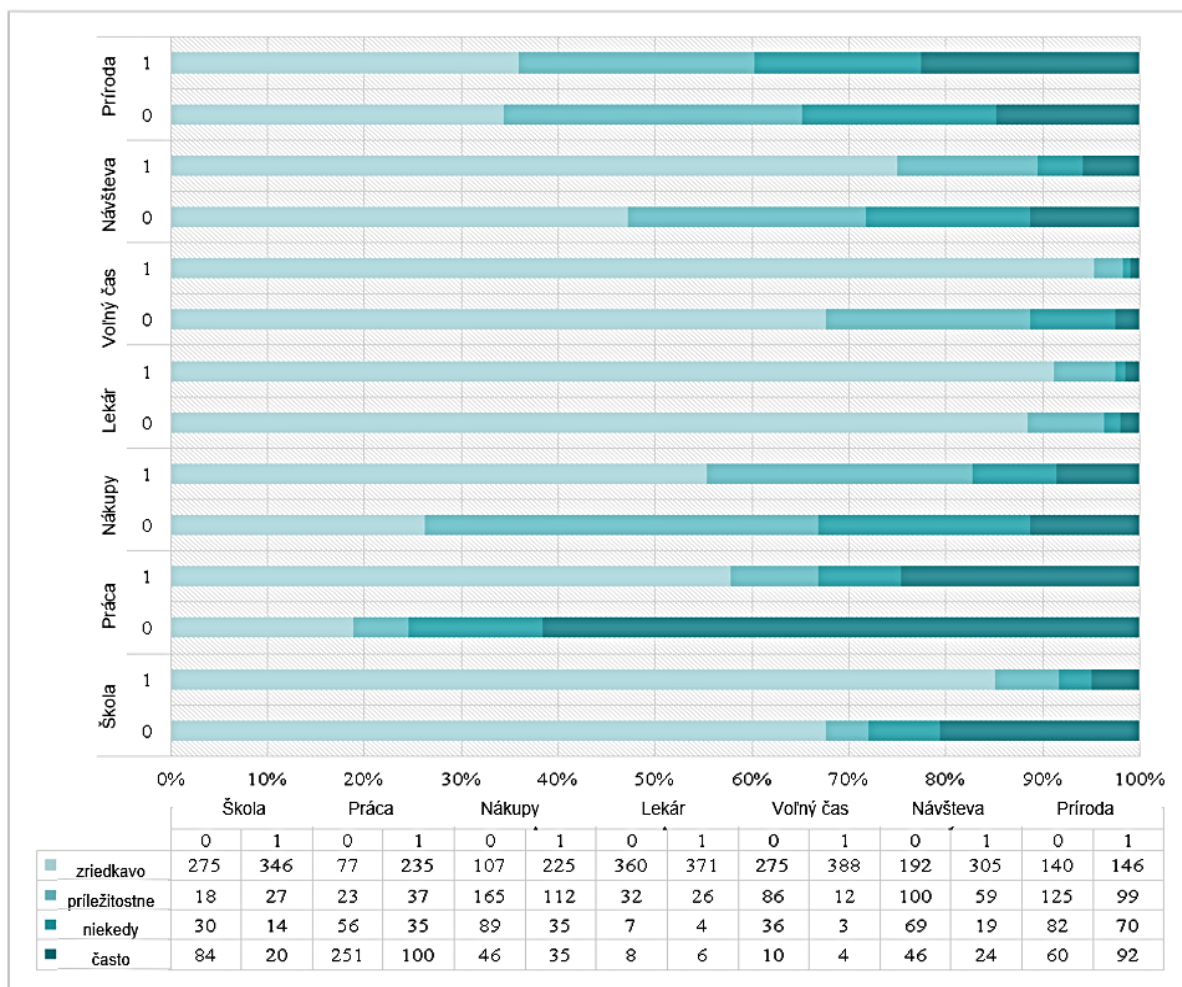
Zdroj: Vlastné spracovanie

Obr. 3. Preferencie používania dopravných prostriedkov pred a počas pandémie COVID-19.

Na Slovensku mala pandémia COVID-19 významný vplyv na mobilitu a zdieľanie bicyklov na báze systému zdieľania bicyklov [14]. Výsledky výskumu ukazujú, že autá a chôdza sú počas pandémie ešte preferovanejšími spôsobmi dopravy. Zistili sme, že viac ako 250 respondentov si zvolilo ako najpreferovanejší dopravný prostriedok auto (nárast o viac ako 22 % z 205 na 251) a viac ako 180 respondentov zvolilo chôdzu (nárast až o 19 % zo 153 na 182 respondentov). Cyklistika a chôdza môžu byť alternatívou k nevyhnutnému prístupu k službám ako lekáreň, potraviny a iné pre ľudí, ktorí si myslia, že verejná doprava je riziková. Na druhej strane výsledky ukazujú, že obyvateľstvo nepreferuje verejnú dopravu ako mestskú hromadnú dopravu, prímestskú dopravu, či železničnú dopravu. Verejná doprava vrátane mestskej hromadnej dopravy, prímestskej dopravy a železničnej dopravy bola bez ohľadu na pandemickú situáciu jedným z najmenej preferovaných spôsobov dopravy. Z výsledkov však vyplýva, že opýtaní preferovali mestskú hromadnú dopravu ešte menej v porovnaní s predchádzajúcim obdobím.

Podobné výsledky zistili v prieskume v Gdansku, kde sa verejnosť počas pandémie cíti vo verejnej doprave menej bezpečne, čo výrazne ovplyvňuje postoje k využívaniu tohto spôsobu dopravy v každodennom živote. V prieskume 44 % opýtaných deklarovalo pokles vo využívaní MHD a 47 % všetkých deklarovalo úplnú rezignáciu na tieto dopravné prostriedky. Inými slovami, len 9 % respondentov využíva verejnú dopravu tak často ako pred pandemiou [15]. Kotkin a kol. vysvetľuje, že mestá musia zmeniť verejnú dopravu na bezpečnejšie možnosti ako autonómne vozidlá. Okrem toho musia mestá vybudovať predmestia s nižšími emisiami a kratšími trasami na dochádzanie [16].

Obrázok 4. ukazuje, že mobilita sa výrazne zmenila v závislosti od individuálnych aktivít, akými sú škola, práca, nákupy, zdravotná starostlivosť, spoločenské udalosti, návštevy rodiny, či prechádzky v prírode.



Zdroj: Vlastné spracovanie

Obr. 4. Frekvencia za týždeň pre vybrané aktivity pred a počas pandémie COVID-19. Zriedkavo (0–1 za týždeň), príležitostne (2–3 za týždeň), niekedy (4–5 za týždeň), často (6–7 za týždeň).

Výsledky ukazujú, že respondenti navštevovali prírodu počas pandémie COVID-19 častejšie ako predtým. Väčšina opýtaných navyše obmedzovala rodinné návštevy a rôzne kultúrne podujatia. Mobilita sa však znížila aj pri každodenných činnostiach, ako je škola, práca a nakupovanie. Najväčšia zmena v mobilite bola zistená pri dochádzaní do práce. Viac ako polovica opýtaných prestala chodiť na fyzické pracovisko a presunula sa do domácej kancelárie. Viaceré štúdie z rôznych krajín, ako je Amerika a Austrália, ukázali podobné výsledky ako náš výskum. Okrem toho výsledky dokazujú zvýšenú mobilitu pri individuálnych aktivitách ľudí, ako je šport a prechádzky v prírode. Na druhej strane sa znížilo dochádzanie do práce, školská dochádzka a nakupovanie [17,18]. Autori v [19] sa zamerali na celkové zníženie denného cestovania a faktory ovplyvňujúce rozhodnutia obmedziť každodenné cestovanie. Skrátene času závisí od účelu ciest, dopravného prostriedku, veľkosti domácnosti cestujúceho, obáv z koronavírusu, zamestnanosti a zmien spôsobených epidemiou.

4 ZÁVER

Cieľom tohto príspevku bolo získať podrobnejšie informácie o zmene správania pri mobilite z hľadiska vykonávaných denných aktivít, použitého dopravného prostriedku a miesta nakupovania. Môžeme vidieť priame zmeny v mobilite medzi obdobiami pred a počas pandémie. Až do krízy COVID-19 sa len relatívne malé množstvo výskumu sústredilo na účinky takýchto pandémie vrátane ich vplyvu na mobilitu. V doprave existujú špecifické postupy, preto pandémia COVID-19 predstavuje príležitosť prekonfigurovať budúcu dopravnú politiku. Z výsledkov vyplýva, že ľudia sa posunuli smerom k vyššiemu používaniu automobilov či iným formám aktívnej mobility. Ale na druhej strane, pokles využívania verejnej dopravy bol ovplyvnený aj presunom práce a školy do domácnosti. Hlavný dôvod výberu miesta nakupovania v menších lokálnych obchodoch a nakupovanie online bol nižší pocit bezpečnosti z dôvodu veľkého počtu zákazníkov. Zistenia tejto štúdie tiež ukázali, že ľudia vnímali veľmi nízke riziko v aktívnych režimoch cestovania. Preto možno konštatovať, že COVID-19 poskytuje príležitosť na zlepšenie aktívneho dopravného systému. Vláda by mala poskytnúť primeranú infraštruktúru a zariadenia, aby boli mestské oblasti priateľské k chodcom a cyklistom, aby sa cítili povzbudzovaní k tomu, aby viac cestovali pešo a na bicykli, najmä v oblastiach s vysokou hustotou a v obchodných centrách. Aby bolo možné predvídať vplyv pandémie COVID-19 na správanie ľudí pri cestovaní, je nevyhnutné pochopiť, ako ľudia vnímajú riziko prenosu COVID-19 v rôznych spôsoboch cestovania.

5 Literatúra

- [1] BROCKMANN, D.- DAVID, V.- GALLARDO, A. M. Human mobility and spatial disease dynamics. *Reviews of nonlinear dynamics and complexity*. 2009. 2, 1-24. [cit. 2022-11-11]. DOI: <https://doi.org/10.1002/978352762800>.
- [2] YANG, Xu-Hua. et al. Epidemic dynamics behavior in some bus transport networks. In *PHYSICA A: STATISTICAL MECHANICS AND ITS APPLICATIONS*. 2012. 391, 917-924. [cit. 2022-11-11]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.physa.2011.08.070>.
- [3] AGUILÉRA, A.- GRÉBERT, J. Passenger transport mode share in cities: exploration of actual and future trends with a worldwide survey. In *INTERNATIONAL JOURNAL OF AUTOMOTIVE TECHNOLOGY AND MANAGEMENT*. 2014. 14, 203-216. [cit. 2022-11-11]. DOI: <https://doi.org/10.1504/IJATM.2014.065290>.
- [4] KLOMPAS, M.- BAKER, MEGHAN A.- RHEE, CH. Airborne transmission of SARS-CoV-2: theoretical considerations and available evidence. In *JAMA*. 2020. 324, 441-442. [cit. 2022-11-11]. DOI: <https://doi.org/10.1001/jama.2020.12458>.
- [5] HUANG, C. et al. Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China. In *THE LANCET*. 2020. 395, 497-506. [cit. 2022-11-11]. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30183-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30183-5).
- [6] WORD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Novel Coronavirus (2019-nCoV) Situation Report—11. Dostupné na internete: https://www.who.int/docs/defaultsource/coronaviruse/situation-reports/20200131-sitrep-11-ncov.pdf?sfvrsn=de7c0f7_4<https://imhd.sk/transport/vozidla-menu> [cit. 2022-11-11].
- [7] POLETTI, CH. et al. Assessing the impact of travel restrictions on international spread of the 2014 West African Ebola epidemic. In *EUROSURVEILLANCE*. 2014, 19, 20936. [cit. 2022-11-11]. DOI: <https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES2014.19.42.20936..>
- [8] ANZAI, A. et al. Assessing the impact of reduced travel on exportation dynamics of novel coronavirus infection (COVID-19). In *JOURNAL OF CLINICAL MEDICINE*. 2020. 9. 601. [cit. 2022-11-11]. DOI: <https://doi.org/10.3390/jcm9020601>.

- [9] SZOCSKA, M. et al. Countrywide population movement monitoring using mobile devices generated (big) data during the COVID-19 crisis. In *SCIENTIFIC REPORTS*. 2021. 11, 1-9. [cit. 2022-11-11]. DOI: doi.org/10.1038/s41598-021-81873-6.
- [10] HARANTOVÁ, V. et al. The Impact of Mobility on Shopping Preferences during the COVID-19 Pandemic: The Evidence from the Slovak Republic. In *MATHEMATICS*. 2022. 10, 1394. [cit. 2022-11-11]. DOI: <https://doi.org/10.3390/math10091394>.
- [11] CITYMAPPER. (2021). Mobility in selected cities between March 3, 2020, and June 1, 2021, compared with movement prior to the coronavirus outbreak. *Statista*. Statista Inc. Dostupné na internete: <https://www.statista.com/statistics/1106798/change-in-traffic-volume-amid-coronavirus-crisis-selected-cities>. [cit. 2022-11-11].
- [12] BELOW, D.- MAIRANOWSKI, F. The impact of vaccination on the spread patterns of the COVID epidemic. In *MEDRXIV*. 2021. [cit. 2022-11-11]. DOI: <https://doi.org/10.1101/2021.04.29.21256322>.
- [13] CHANG, H. H.- MEYERHOEFER, C. D. COVID-19 and the demand for online food shopping services: Empirical Evidence from Taiwan. In *AMERICAN JOURNAL OF AGRICULTURAL ECONOMICS*. 2021. 103, 448-465. [cit. 2022-11-11]. DOI: <https://doi.org/10.1111/ajae.12170>.
- [14] KUBALÁK, S.- KALAŠOVÁ, A.- HÁJNIK, A. The Bike-Sharing System in Slovakia and the Impact of COVID-19 on This Shared Mobility Service in a Selected City. In *SUSTAINABILITY*. 2021. 13, 6544. [cit. 2022-11-11]. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13126544>.
- [15] PRZYBYŁOWSKI, A.- STELMAK, S.- SUCHANEK, M. Mobility behaviour in view of the impact of the COVID-19 pandemic—public transport users in Gdansk case study. In *SUSTAINABILITY*. 2021. 13, 364. [cit. 2022-11-11]. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13010364>.
- [16] FLORIDA, R. et al. How life in our cities will look after the coronavirus pandemic. In *FOREIGN POLICY*. 2020. 1. Dostupné online: <https://foreignpolicy.com/2020/03/20/world-order-after-coronaviruspandemic>, 2020. [cit. 2022-11-11].
- [17] PÉREZ-ARNAL, R.- CONESA, D.- ALVAREZ-NAPAGAO, S.- SUZUMURA, T.- CATALÀ, M.- ALVAREZ-LACALLE, E.- GARCIA-GASULLA, D. Comparative Analysis of Geolocation Information through Mobile-Devices under Different COVID-19 Mobility Restriction Patterns in Spain. In *ISPRS INTERNATIONAL JOURNAL OF GEO-INFORMATION*. 2021. 10, 73. [cit. 2022-11-11]. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijgi10020073>.
- [18] BARBIERI, D.M.- LOU, B.- PASSAVANTI, M.- HUI, C.- HOFF, I.- LESSA, D.A.- SIKKA, G.- CHANG, K.- GUPTA, A.- FANG, K. et al. Impact of COVID-19 pandemic on mobility in ten countries and associated perceived risk for all transport modes. In *PLOS ONE*. 2021. 16, e0245886. [cit. 2022-11-11]. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0245886>.
- [19] BORKOWSKI, P.- JAŹDŹEWSKA-GUTTA, M.- SZMELTER-JAROSZ, A. "Lockdowned: Everyday mobility changes in response to COVID-19." In *JOURNAL OF TRANSPORT GEOGRAPHY*. 2021. 90, 102906. [cit. 2022-11-11]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2020.102906>.

Pod'akovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Identifikácia a možnosti implementácie nových technologických opatrení v doprave pre dosiahnutie bezpečnej mobility v čase pandémie spôsobenej ochorením COVID-19 (kód ITMS: 313011AUX5), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

URČENIE NÁRAZOVEJ RÝCHLOSTI VOZIDLA DO CHODCA PROSTREDNÍCTVOM KVANTITATÍVNEJ VIDEO-ANALÝZY

Autori:

Eduard KOLLA¹, Veronika ADAMOVÁ²

Tituly a pôsobisko autorov:

¹ doc. Ing. Eduard Kolla, PhD., Žilinská univerzita v Žiline, Ústav znaleckého výskumu a vzdelávania, Univerzitná 8215/1, Žilina, 010 26, E-mail: kolla@uniza.sk

² Ing. Veronika Adamová, PhD., Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta bezpečnostného inžinierstva, Katedra bezpečnostného manažmentu, Univerzitná 8215/1, Žilina, 010 26, E-mail: veronika.adamova@uniza.sk

Abstrakt: Predmetný príspevok sa zaoberá rekonštrukciou a analýzou prednárazovej fázy dopravnej nehody, pri ktorej došlo k zrazeniu chodca prechádzajúceho cez priechod pre chodcov. Hlavným cieľom tejto analýzy je aplikácia tzv. kvantitatívnej video-analýzy pre potreby určenia nárazovej rýchlosti do chodca. Okrem zistenia relatívne presnej nárazovej rýchlosti do tela chodca, je možné získať dátový bod do korelačnej štúdie závislosti vzniku špecifických zranení chodca a veľkosťou nárazovej rýchlosti. Prezentovaná kvantitatívna video-analýza, okrem iného, nahrádza v minulosti využívané rekonštrukčné metódy, ktoré sú z dôvodu súčasnej absencie určitých stôp už nevyužiteľné alebo využiteľné len v obmedzenej miere. Ich nevýhodou taktiež je, že poskytujú stanovenie nárazovej rýchlosti v širšom výstupnom rozpätí ako prezentovaná metóda. Predložený článok poskytuje východiskové údaje získané zo spisových materiálov, na ktoré nadväzuje popis metodiky rekonštrukcie prednárazovej fázy dopravnej nehody. Výsledková časť prezentuje simulačne zrekonštruovanú prednárazovú fázu analyzovanej dopravnej nehody a súčasne podklad pre výskum zameraný na návrh a konštrukciu biomechanicky vernej náhrady ľudského tela pre účely forenzennej analýzy.

Kľúčové slová: dopravná nehoda, rekonštrukcia, video-analýza, nárazová rýchlosť.

JEL: L62

DETERMINATION OF THE IMPACT VELOCITY OF THE VEHICLE TO THE PEDESTRIAN THROUGH QUANTITATIVE VIDEO ANALYSIS

Abstract: The paper is focused on the reconstruction and analysis of a pre-impact phase of selected traffic accident with a pedestrian. The main goal of this analysis is the application of the so-called quantitative video analysis for the purposes of determining the impact speed of a pedestrian. In addition to finding a relatively accurate impact velocity to the pedestrian, it is possible to obtain a data point for a correlation study of the dependence of the occurrence of specific pedestrian injuries and the magnitude of the impact velocity. The presented quantitative video-analysis, among other things, replaces the reconstruction methods used in the past, which due to the current absence of certain traces are no longer usable or usable only to a limited extent. Their disadvantage is also that they provide determination of the impact speed in a wider output range than the presented method. The presented paper provides basic data obtained from file materials, which is followed by a description of the methodology of the reconstruction of the pre-impact phase of a traffic accident. The resulting part presents the simulation-reconstructed pre-crash phase of the analyzed traffic accident and, at the same time, the basis for research focused on the design and construction of a biomechanically faithful replacement of the human body for the purposes of forensic analysis.

Keywords: traffic accident, reconstruction, video analysis, impact velocity.

1 Úvod

Použitelnosť metód v minulosti využívaných pri rekonštrukcie dopravných nehôd s chodcom, je v súčasnom období v značnej miere obmedzená, a to z dôvodu, napr. absencie viditeľných brzdnych alebo šmykových stôp, analýzy úlomkového poľa sa nedajú použiť na seriózny odhad nárazovej rýchlosti, iba na odhad oblasti nárazu, použitie vzdialenosti odhodenia chodca od miesta nárazu nie je vždy možné, najmä ak nedošlo k jeho zadokumentovaniu, navyše je táto metóda zaťažovaná veľkým výstupným rozpätím. Získavanie údajov o nehode z jednotky EDR (Event Data Recorder) je v prípade dopravných nehôd s chodcom použiteľná len pri vysokých nárazových rýchlostiach, kedy je možné predpokladať prekročenie hranice hodnoty zmeny rýchlosti (Δv), pri ktorej dochádza k zapísaniu údajov do jednotky EDR. Ako perspektívne metódy sa javia metódy vyťažujúce deformácie vozidla a najmä zranenia chodca. Pre vyťaženie zranenia chodca najmä cez koreláciu zranení chodca s veľkosťou nárazovej rýchlosti [1] je však nutné zrealizovať korelačnú štúdiu na dostatočne veľkom súbore dopravných nehôd, pri ktorých bolo možné inými metódami relatívne presne určiť veľkosť nárazovej rýchlosti čím sa však opäť objavuje problém použiteľnosti existujúcich rekonštrukčných metód.

Technologický a technický pokrok však spôsobili, že forenzný expert má dnes pomerne často k dispozícii ďalší zdroj údajov o nehode - digitálny videozáznam dopravnej udalosti, ktorá bola zachytená buď bezpečnostnou kamerou umiestnenou staticky na verejných miestach alebo kamerou umiestnenou v interiéri daného vozidla [2, 3, 4]. Tento digitálny videozáznam obsahuje priestorové a časové informácie o udalosti, a preto sa ľahko ponúka na kvantitatívnu rekonštrukciu danej udalosti. Rekonštrukcia prednehodových fáz dopravných nehôd s chodcom a určenie nárazovej rýchlosti prostredníctvom kvantitatívnej videoanalýzy umožňuje okrem vyriešenia samotnej predmetnej nehody aj získanie presného dátového bodu do korelačnej štúdie závislosti vzniku špecifických zranení chodca a veľkosťou nárazovej rýchlosti. Týmto spôsobom je možné využiť videoanalýzou zrekonštruované nehody ako podklad pre sprecizovanie rekonštrukčných metód využívajúcich zranenia chodca, ktoré môžu byť následne použité pri rekonštrukcii dopravných nehôd s absentujúcim videozáznamom.

2 Východiskový spisový materiál

Predmetom analýzy bola dopravná nehoda, ku ktorej došlo o 18:00 hod. v intraviláne obce 1. Pri dopravnej nehode vozidlo Kia Magentis (ďalej len „Kia“) jazdiace po ulici 1 smerom z obce 1 do obce 2 zrazilo pri priechode pri chodcov chodca, ktorý prechádzal cez vozovku ulice 1 z ľavej strany na pravú stranu vzhľadom na smer jazdy vozidla Kia. Pri dopravnej nehode došlo k ťažkému zraneniu chodca. Pri dopravnej nehode bolo na vozidle Kia poškodené: pravé spätné zrkadlo a držiak tabuľky predného evidenčného čísla. [5]



Zdroj: [5]

Obr. 1 Vozidlo Kia Magentis zachytené na videozázname DN.

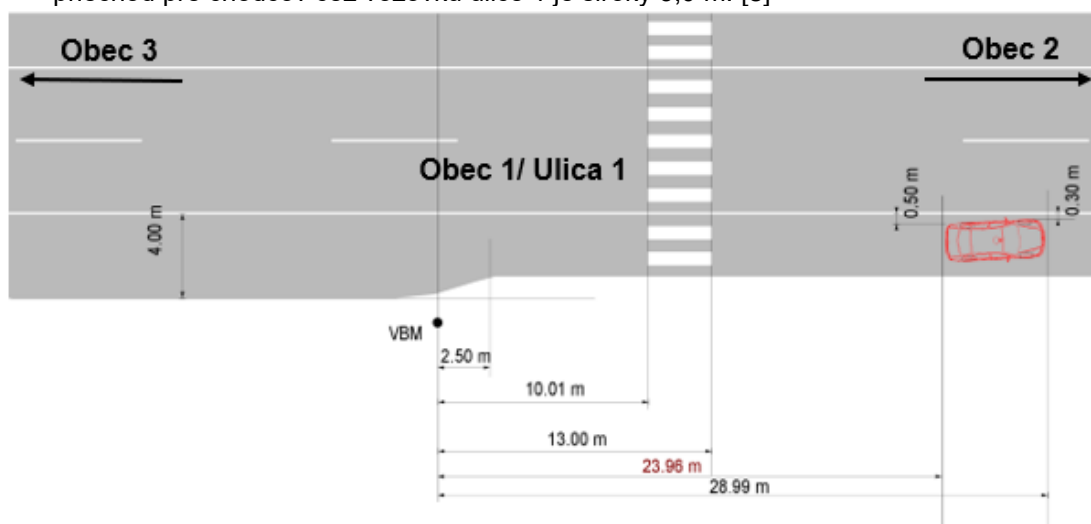
2.1 Polohopis miesta dopravnej nehody

Podľa zápisnice o obhliadke miesta cestnej dopravnej nehody je miestom dopravnej nehody priamy úsek vozovky ulice 1 v obci 1. Povrch vozovky tvorí živica v dobrom stave. Vozovka ulice 1 je rozdelená na dva protismerné jazdné pruhy. Rýchlosť jazdy nie je obmedzená dopravnou značkou. V čase príchodu vyšetrovateľov, ktorí boli na mieste dopravnej nehody od 18.41 hod. boli zistené tieto stopy:

- Východiskovým bodom merania (VBM) je dopravná značka „Zastávka autobusu“ smerom do obce 2.
- Pomocným východiskovým bodom merania (PVBM) je pravý okraj vozovky ulice 1 smerom do obce 2.
- Vo vzdialenosti 24,0 m od VBM smerom do obce 2 a vo vzdialenosti 0,5 m od PVBM vpravo sa nachádza ľavý zadný roh vozidla Kia.
- Vo vzdialenosti 29,0 m od VBM smerom do obce 2 a vo vzdialenosti 0,3 m od PVBM vpravo sa nachádza ľavý predný roh vozidla Kia. [5]

V čase obhliadky miesta dopravnej nehody je deň, prší. Povrch vozovky je mokrý. Viditeľnosť nie je znížená vplyvom poveternostných podmienok. Rozhľadové pomery sú dobré. Na náčrtku z miesta dopravnej nehody je zakreslený stav v zásade korešpondujúci s údajmi v zápisnici o obhliadke miesta dopravnej nehody. Na náčrtku je možné okrem iného zistiť nasledujúce informácie:

- šírka jazdného pruhu vozovky ulice 1 smerom do obce 2 je 3,5 m,
- šírka jazdného pruhu vozovky ulice 1 smerom do obce 3 je 3,4 m,
- šírka krajnice po pravej strane jazdného pruhu vozovky ulice 1 smerom do obce 2 je 3,0 m,
- šírka krajnice po pravej strane jazdného pruhu vozovky ulice 1 smerom do obce 3 je 2,6 m.
- šírka „niky“ po pravej strane vozovky ulice 1 smerom do obce 2 je 4,0 m,
- vo vzdialenosti 2,5 m od VBM smerom do obce 2 sa „nika“ po pravej strane vozovky ulice 1 smerom do obce 2 zužuje plynulo do krajnice,
- vo vzdialenosti 10,0 m od VBM smerom do obce 2 sa nachádza predná hrana priechodu pre chodcov cez vozovku ulice 1,
- priechod pre chodcov cez vozovku ulice 1 je široký 3.0 m. [5]



Zdroj: [5]

Obr. 2 Polohopis miesta dopravnej nehody s označením ulice, obcí a údajmi uvedenými v zápisnici o obhliadke miesta dopravnej nehody.

Na plánu z miesta dopravnej nehody zhotovenom v mierke 1 : 200 je zakreslený stav v zásade korešpondujúci s údajmi v zápisnici o obhliadke miesta dopravnej nehody i s údajmi v náčrtku z miesta dopravnej nehody. Na priloženej fotodokumentácii (8 farebných snímok) je zachytený stav v zásade korešpondujúci s údajmi v zápisnici o obhliadke miesta dopravnej nehody, s údajmi v náčrtku z miesta dopravnej nehody i s údajmi v plánu z miesta dopravnej nehody. V popise jednotlivých snímok k fotodokumentácii je poznámka, že vozidlo Kia je premiestnené, t. j. konečná poloha vozidla Kia po strete s chodcom nie je totožná s polohou vozidla Kia zachytenou na fotodokumentácii.

2.2 Významné okolnosti vyplývajúce z výpovedí a obhliadky miesta dopravnej nehody

Z jednotlivých výpovedí uvádza podpísaný znalec z technického hľadiska dôležité okolnosti:

Vodič vozidla Kia v zázname o podaní vysvetlenia okrem iného uvádza: V čase o 18:00 hod. sa otáčal vozidlom Kia na ceste ulice 1 v obci 1 z parkovacieho miesta a pokračoval v jazde smerom do obce 2 rýchlosťou cca 30 km/h. V čase, keď prechádzal cez vyznačený priechod pre chodcov, sa pozrel do správneho zrkadla. Vtedy narazil čelne do chodca. Chodec sa zvalil na prednú kapotu a spadol na zem. Pred zrážkou chodca vôbec nevidel. Tesne pred nárazom do chodca sa na vozidlo Kia tlačilo iné vozidlo jazdiace z obce 3. Chodca prehliadol. Nevie sa vyjadriť k spôsobu prechádzania chodca cez vozovku. Vozidlom Kia jazdil tak, že z miesta státia pomaly jazdil po zastávku autobusu a dával prednosť v jazde vozidlám jazdiacim z obce 3. Tesne pred priechodom pre chodcov sa zaradil do jazdného pruhu smerom do obce 2, preradil na druhý rýchlostný stupeň ešte pred zrážkou s chodcom. [5]

Chodec zrazený vozidlom Kia v zázname o podaní oznámenia okrem iného uvádza: Prechádzal po priechode pre chodcov cez ulicu 1 v obci 1. V tom čase videl vozidlo otáčajúce sa na vozovke, ktoré po otočení jazdilo smerom do obce 2 zo strany po jeho pravej ruke. Vodič vozidla zvyšoval rýchlosť, preto v snahe zabrániť zrážke, zrýchlil krok, no napriek tomu došlo k zrážke. [5]

V zápisnici o výsluchu svedka – poškodeného sa okrem iného uvádza: Približne o 18:00 hod. prechádzal cez priechod pre chodcov cez ulicu 1 v obci 1. V tom čase dosť mrholilo, vozovka bola mokrá. Viditeľnosť bola dobrá. Pred vstupom na priechod pre chodcov sa pozrel doľava, či nejazdí nejaké vozidlo. Videl jazdiť jedno vozidlo, a preto počkal, kým toto vozidlo prejde. Za týmto vozidlom už nešlo žiadne vozidlo. Následne sa pozrel doprava, kde vo vzdialenosti asi 70 m od priechodu pre chodcov videl nejaké vozidlo, ktoré bolo ďaleko a približovalo sa pomaly. Preto vstúpil na priechod pre chodcov. Počas prechádzania cez priechod si všimol, že vo vzdialenosti asi 20 m za priechodom, z jeho pohľadu po pravej strane smerom do obce 3, stojí za krajinou jedno vozidlo. Keď sa nachádzal približne v strede vozovky, toto vozidlo sa rozbehlo, otočilo sa do protismeru pred vozidlo, ktoré jazdilo smerom od obce 3. Všimol si, že toto vozidlo nespomaľuje, preto sa snažil uskočiť na chodník, nakoľko v tom čase sa nachádzal už za polovicou jazdného pruhu smerom do obce 2. Nestihol však už uskočiť a vozidlo ho zrazilo pravou stranou. Po náraze preletel cez kapotu vozidla, odtrhol spätné zrkadlo a dopadol na chodník, kde zostal ležať. [5]

Podľa lekárskeho potvrdenia utrpel zrazený chodec pri dopravnej nehode ťažké zranenie vo rozsahu – zlomeninu kosti pravého predkolenia, kontúziu hlavy a pravého ramena. Obhliadku miesta dopravnej nehody vykonal podpísaný znalec za účelom zistenia celkovej dopravnej situácie v mieste dopravnej nehody. Na videozázname z kamerového systému Mestskej polície zhotovenom v čase dopravnej nehody je zachytený priebeh dopravnej nehody vozidla Kia s chodcom. [5]

2.3 Videozáznam dopravnej nehody

Prednehodová fáza dopravnej nehody bola zachytená na digitálnom video zázname stacionárnej bezpečnostnej kamery. Videozáznam sa vyznačuje rozlíšením 704x576 pixelov, a je možné ho prehrať prostredníctvom priloženého prehrávača SLiM Player v. 1.4.4. Z daného prehrávača je možné jednotlivé snímky záznamu exportovať vo formáte jpg. Optická os kamery bol nasmerovaná približne v smere osi

vozovky. Videozáznam zachytáva pohyb vozidla Kia smerom od kamery a od prechodu pre chodcov, otočenie sa vozidla a následne pohyb smerom ku kamere, resp. prechodu pre chodcov. Záznam ďalej zachytáva pohyb chodca smerom ku kamere po chodníku, zastavenie chodca pre vstupom do vozovky cez prechod pre chodcov, vstup a pohyb chodca po prechode. Náraz vozidla do tela chodca sa uskutoční cca 3 snímky mimo zorné pole kamery, avšak s viditeľným pohybom časti vozidla.



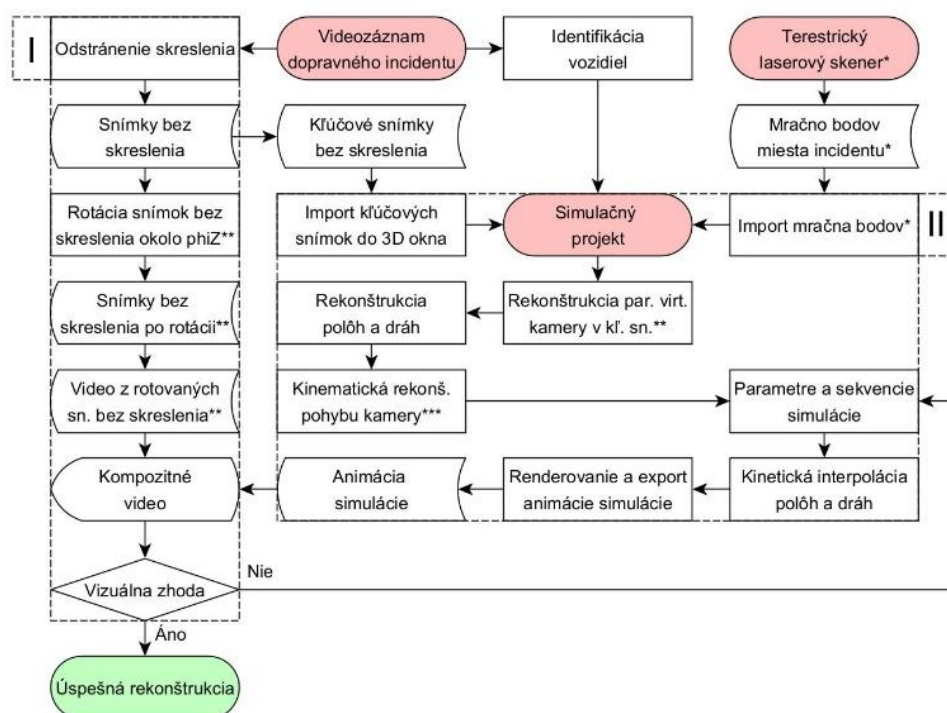
Zdroj: Vlastné spracovanie

Obr. 3 Vybrané snímky videozáznamu: vľavo - snímka č. 1, v strede – snímka č. 46, vpravo – snímka č. 73.

3 Metodika rekonštrukcie prednárazovej fázy dopravnej nehody

Metóda použitá pre rekonštrukciu prednárazovej fázy pohybu vozidla a chodca a určenie nárazovej rýchlosti do tela chodca vychádza z modifikovanej metódy publikovanej v [2], ktorá je určená na rekonštrukciu dopravných situácií zachytených na zázname vozidlovej kamery. Táto metóda rekonštrukcie dopravnej situácie je založená na fúzii kinetickej simulácie trajektórie v rámci 3D mračna bodov, projekčnej geometrie a spracovania videa z kamery vozidla. Možno ju opísať ako fyzikálne založenú 3D projekciu kinetickej simulácie trajektórie na videozáznam z kamery pohybujúceho sa vozidla. Hlavnými časťami pracovného postupu sú Pracovný postup I využívajúci nástroje na úpravu videa (VirtualDub 2) a Pracovný postup II v rámci programu PC-Crash.

Pri analýze dostupného videozáznamu bola zistené, že videozáznam sa vyznačuje prakticky rektilineárnym charakterom, a preto nebolo potrebné pristúpiť ku odstráneniu radiálneho skreslenia záznamu. Ďalej bola pri verifikácii časovania kamery, ktorá zachytila dopravnú nehodu zistená snímková frekvencia 5 snímok za sekundu a teda časový odstup medzi dvomi po sebe nasledujúcimi snímkami bol 0,2 s. V rámci rekonštrukcie prednehodovej fázy dopravnej nehody bolo na rekonštrukciu použitých 16 snímok medzi snímkom č. 59 vrátane a snímkom č. 74 vrátane: snímka č. 59 determinuje približný začiatok približne priamočiareho pohybu vozidla Kia (po predchádzajúcom manévri otočenia), snímok č. 73 determinuje približný okamih nárazu vozidla Kia do tela chodca a snímok č. 74 determinuje posledný okamih kedy bolo možné zrekonštruovať polohu vozidla Kia. Celkový čas nehodového deja, ktorý bol predmetom rekonštrukcie bol 3 s.



Zdroj: Vlastné spracovanie

Obr. 4 Pracovný postup rekonštrukcie dopravných incidentov z kvázi-statickej monitorovacej kamery; pozn.: * - v určitých prípadoch je možné nahradiť 2D plánom, ****** - ak je možné pohyb kamery zanedbať, tak úkony sa realizujú len na 1 snímke, ******* - ak je možné pohyb kamery zanedbať tak sa úkon nerealizuje.

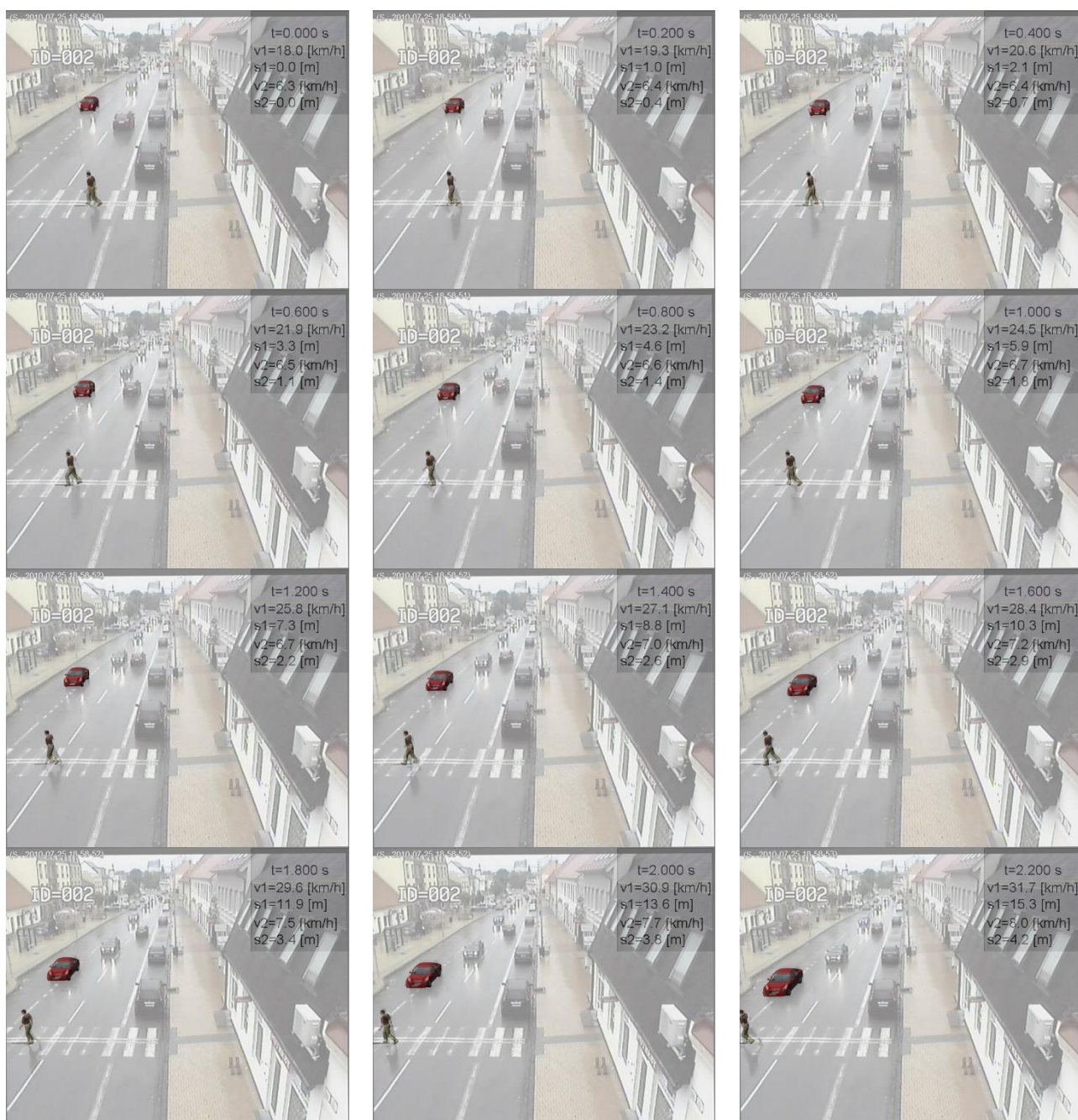
Pohyb kamery bolo v danom prípade možné zanedbať, nakoľko sa jednalo o stacionárnu kameru. Pre rekonštrukciu parametrov kamery v virtuálnom prostredí (krok „Rekonštrukcia parametrov virtuálnej kamery v kľúčových snímkach“) sa v pôvodnej metodike uvažuje s využitím 3D snímokovania v podobe laserového terestrického 3D skenera. Je to z dôvodu nutnosti získať optimalizačné body pre rekonštrukciu parametrov virtuálnej kamery rovnomerne rozmiestnené okolo optickej osi kamery – v prípade vozidlovej kamery, ktorá má svoju optickú os štandardne nasmerovanú približne rovnobežne s vozovkou je potrebné získať aj optimalizačné body v 3D priestore nad vozovkou, napr. na zvislých dopravných značkách, návěstidlách, stĺpoch pouličného osvetlenia, či budovách. Vzhľadom na šikmý sklon kamery pri predmetnej dopravnej nehode bolo zistené, že nie je nutné vykonať zameranie miesta dopravnej nehody prostredníctvom 3D snímokovania, nakoľko všetky vhodné optimalizačné body bolo možné identifikovať a následne manuálne zamerať v rovine pozemnej komunikácie.

V rámci aplikácie metódy sa rekonštruujú polohy vozidla a chodca v kľúčových snímkach a následne sa vykoná rekonštrukcia trajektórií oboch účastníkov dopravnej nehody. Predbežný odhad pohybu vozidla sa vykonáva na základe kinematických vzťahov medzi vzdialenosťou, časom a rýchlosťou vozidla. Na kinematickom základe sa vykoná aj rekonštrukcia pohybu chodca. Pohyb vozidla sa potom iteratívne upravuje pomocou numerickej kinetickej simulácie trajektórie vykonávanej v programe PC-Crash, kým sa nedosiahne vizuálna zhoda medzi spracovaným videom a animáciou simulácie. Schéma postupu realizácie rekonštrukcie dopravnej situácie z videoáznamu statickej kamery je uvedená na obr. 4.

Technické údaje vozidla Kia pre potreby simulačného výpočtu boli prevzaté z technickej dokumentácii k vozidlu, uvažovaná výška chodca bola 1,95 m a hmotnosť cca 100 kg.

4 Výsledky

Na obr. 5 sú znázornené jednotlivé snímky kompozitného videozáznamu simulačne zrekonštruovanej prednázarovej fázy dopravnej nehody, t.j. po okamih 2,8 s od začiatku simulácie. Sekvencia je zobrazená v časovom kroku 0,2 s; postupnosť je zľava doprava a zhora nadol.

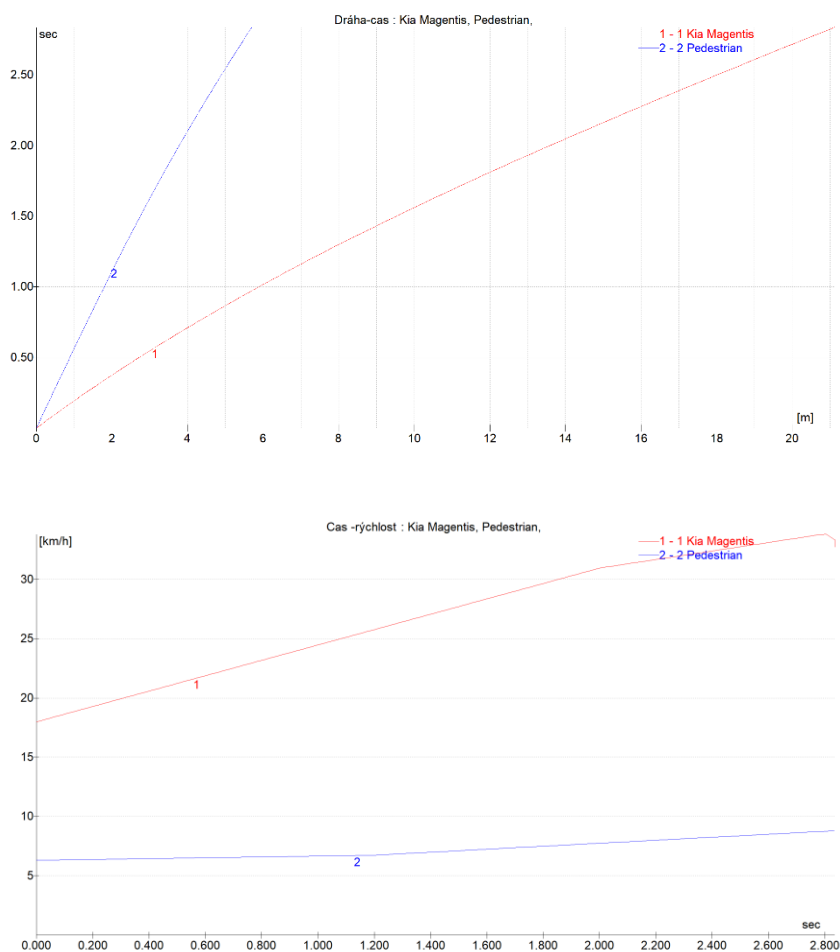


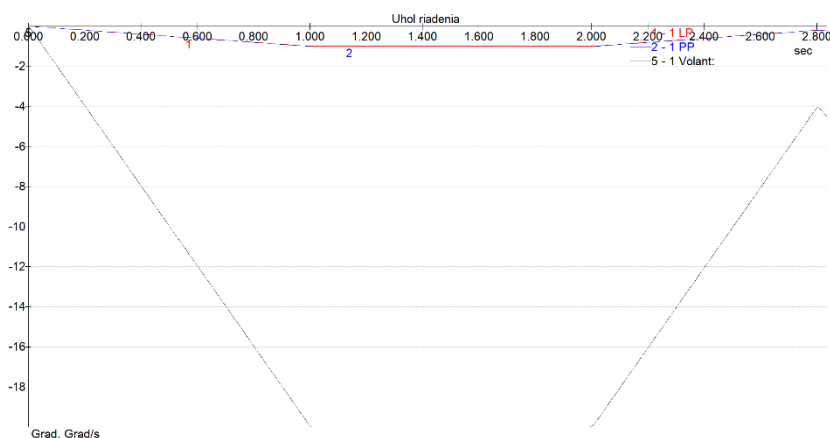


Zdroj: Vlastné spracovanie

Obr. 5 Výsledok rekonštrukcie prednázrazovej fázy dopravnej nehody v časovom kroku 0,2 s (pohľad z pozície kamery – kompozitné video).

Na nasledujúcich obrázkoch sú znázornené výsledky časovo-priestorovej analýzy prednázrazového pohybu obidvoch účastníkov dopravnej nehody: obr. 6 horná časť – diagram dráha – čas, obr. 6 stred – diagram čas – rýchlosť a obr. 6 spodná časť – diagram uhol riadenia – čas.





Zdroj: Vlastné spracovanie

Obr. 6 Zhora nadol: Diagram dráha – čas, diagram čas – rýchlosť a diagram uhol riadenia – čas

5 Diskusia a záver

Z grafov na obr. 6 je zrejmé nasledovné: vozidlo Kia prešlo počas začiatku simulácie po náraz v čase 2,83 s dráhu cca 21 m, chodec prešiel dráhu cca 5,6 m. Vozidlo Kia zrýchľovalo z rýchlosti cca 18 km/h na rýchlosť cca 34 km/h (33,8 km/h), pričom zrýchlený pohyb vozidla bol prakticky až do nárazu a vodič začal stláčať pedál prevádzkovej brzdy (začiatok nábehu brzdného účinku) len cca 0,03 s pred nárazom. Z diagramu uhol riadenia čas (obr. 6 dole) je ďalej zrejmé, že uhol natočenia riadiacich kolies vozidla Kia počas rekonštruovaného deja bol minimálny do cca 1° pri uhle natočenia volantu cca 20°. Tieto hodnoty je možné považovať za štandardné v rámci relatívne priamočiareho pohybu vozidla, pričom je možné konštatovať, že vodič vozidla Kia teda nereagoval na pohyb chodca ani vyhýbacím manévrom. Toto správanie sa vodiča je v súlade s údajmi uvedenými v jeho svedeckej výpovedi, kde uvádza, že venoval pozornosť vozidlu idúcemu za jeho vozidlom v ľavom (pri pohľade v smere jazdy vozidla Kia) priebežnom jazdnom pruhu pred ktoré sa vodič vozidla Kia snažil predraziť. Z technického hľadiska je teda možné potvrdiť svedeckú výpoveď vodiča vozidla Kia, že nevenoval pozornosť priestoru pred vozidlom, a teda pohybu chodca po priechode pre chodcov, ale sústredil sa na sledovanie pohybu druhého vozidla v spätnom zrkadle svojho vozidla. Chodec sa pohyboval po prechode pre chodcov rýchlou chôdzou na začiatku simulácie rýchlosťou cca 6,5 km/h pričom svoj pohyb následne zrýchľil až na rýchlosť cca 8,7 km/h. Tento charakter pohybu chodca je v súlade s údajmi ktoré tento uviedol vo svojej svedeckej výpovedi – chodec sa snažil zrýchliť rýchlosť svojho pohybu aby prešiel pred vozidlo Kia, ktorého vodič nejavil snahu znížiť rýchlosť jazdy svojho vozidla.

Vypočítaná nárazová rýchlosť vozidla Kia do tela chodca bola cca 33 km/h (33,4 km/h). Rýchlosť pohybu chodca v okamihu nárazu bola cca 8,7 km/h. Podľa lekárskeho potvrdenia utrpel zrazený chodec pri dopravnej nehode ťažké zranenie vo rozsahu – zlomeninu kosti pravého predkolenia, kontúziu hlavy a pravého ramena. Z lekárskeho potvrdenia teda vyplýva, že chodec neutrpel určité špecifické zranenia u ktorých sa v minulosti identifikoval korelačný súvis s veľkosťou nárazovej rýchlosti, ako je napríklad roztrhnutie/natrhnutie aorty (srdcovnice). Takto získaný údajový bod (t.j. vzťah „veľkosť nárazovej rýchlosti vs. výskyt špecifického zranenia bude v nadväzujúcom výskume zahrnutý do štatistického súboru sprecizovanej korelačnej štúdie nadväzujúcej na výskum [1].

6 Literatúra

- [1] KOLLA, E. – KORBEL', T. – IMRICH, L. – KUBJATKO, T. – MACKOVIČOVA, L. Correlation "impact velocity-specific pedestrian injuries" for reconstruction of pedestrian accidents. In Proceedings from the 26th Annual Congress of the European Association for Accident Research and Analysis (EVU) 2017. Haarlem, 2017. s. 213-224. [cit. 2022- 12- 01].
- [2] KOLLA, E. – ADAMOVIČ, V. – VERTAL', P. Simulation-based reconstruction of traffic incidents from moving vehicle mono-camera. In Sci Justice. 2022. Vol. 62(1), s. 94-109. [cit. 2022- 12- 01]. DOI: 10.1016/j.scijus.2021.11.001.
- [3] KOLLA, E. *Počítačom asistovaná kvantitatívna video-analýza cestných dopravných incidentov*: habilitačná práca. Žilina : Žilinská univerzita, 2022. 107 s.
- [4] ADAMOVIČ, V. *Zisťovanie charakteristík snímkovacej frekvencie vozidlových kamier pre kriminalistické a znalecké účely*: dizertačná práca. Žilina : Žilinská univerzita, 2022. 191 s.
- [5] Spisový materiál k dopravnej nehode.

PodĎakovanie

Tento príspevok bol podporený Agentúrou pre podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-20-0626. Tento príspevok bol vypracovaný v rámci projektu APVV-20-0626: Biomechanicky verná náhrada ľudského tela pre zvýšenie objektivity forenznnej analýzy cestných dopravných nehôd.

VYUŽITIE POČÍTAČOVÝCH SIMULÁCIÍ APLIKÁCIE SYNCHRONIZOVANEJ SKUPINY UAV V DOPRAVNÝCH PROCESOCH

Autori:

Patrik VELKÝ¹, Pavol PECHO², Michal HRÚZ³

Tituly a pôsobisko autorov:

¹ Ing. Patrik Veľký, Žilinská univerzita v Žiline, Katedra leteckej dopravy, Univerzitná 8215/1, 01026, Žilina, Slovensko, E-mail: patrik.velky98@gmail.com

² Ing. Pavol Pecho, PhD., Žilinská univerzita v Žiline, Katedra leteckej dopravy, Univerzitná 8215/1, 01026, Žilina, Slovensko, E-mail: pavol.pecho@fpedas.uniza.sk

³ Ing. Michal Hruz, Žilinská univerzita v Žiline, Katedra leteckej dopravy, Univerzitná 8215/1, 01026, Žilina, Slovensko, E-mail: michal.hruz@stud.uniza.sk

Abstrakt: Vo svete technologického pokroku, ktorý predstavuje exponenciálny trend, je prirodzenosťou spájanie rôznych oblastí za účelom zvýšenia ich efektívnosti v praxi. Počítačové simulácie a výpočtová technika poskytuje vo všeobecnosti obrovskú úsporu času prostredníctvom simulácie scenárov, ktoré nie je potrebné experimentálne a opakovane prevádzať za účelom optimalizácie procesov. Práve využitie IT technológií predstavuje inovatívny prístup v optimalizácii prevádzky bezpilotných lietajúcich prostriedkov (UAV) v rojom letaní. Výskum sa zaoberá návrhom virtuálnej infraštruktúry a experimentálneho prevedenia v simulačnom prostredí. Výsledky preukazujú využiteľnosť najmä v procese optimalizácie energetickej využiteľnosti, zvyšovania bezpečnosti a v neposlednom rade znižovaní finančnej náročnosti vývoja UAV nie len pre dopravné aplikácie. Výstupom predkladaného článku je sumarizácia možností využitia softvérových nástrojov Matlab a Simulink v procese synchronizácie letu UAV v dopravných aplikáciách na zber údajov. Takéto lety poskytnú nové možnosti v zvyšovaní efektívnosti dopravy ako takej, vďaka integrácii najnovších poznatkov a technológií, ktoré hrajú kľúčovú rolu v rozvoji dopravy.

Kľúčové slová: UAV, simulácia, roj, skupina, dopravné procesy

JEL: O - Economic Development, Technological Change, and Growth (Hospodársky vývoj, technologické zmeny a rast)

The Computer Simulations Use of the Synchronized Group of UAVs Application in Transport Processes

Abstract: *In a world of exponential technological advances, it is only natural to bring together different fields in order to make them more effective in practice. In general, computer simulation and computing provides enormous time savings through the simulation of scenarios that do not need to be experimentally and repeatedly performed in order to optimize processes. It is the use of IT technology that represents an innovative approach in optimizing the operation of unmanned aerial vehicles (UAVs) in swarm flying. The research deals with virtual infrastructure design and experimental execution in a simulation environment. The results demonstrate applicability especially in the process of optimizing energy availability, increasing safety and last but not least reducing the financial complexity of UAV development not only for transport applications. The output of the present paper is a summary of the possibilities of using Matlab and Simulink software tools in the process of UAV flight synchronization in transport applications for data collection. Such flights will provide new opportunities in increasing the efficiency of transportation as a whole, thanks to the integration of the latest knowledge and technologies that play a key role in the development of transportation.*

Keywords: UAV, Simulation, Swarm, Formation, Transport Processes

1 Úvod

Využitie bezpilotných dopravných prostriedkov (UAVs) má široké pole pôsobnosti. Ich spôsob použitia, vlastnosti a možnosti umožňujú použitie daných prostriedkov v sektoroch dopravy, ozbrojených síl, poľnohospodárstva, pátranie a záchranu, mapovania terénu a mnohých ďalších [1][3][4]. Niektoré štúdie sa zaoberajú využitím UAVs pre jednotlivé úlohy v samotnom leteckom priemysle, ako je inšpekcia lietadiel [10]. Dôležitou súčasťou pri použití UAV je možnosť ich použitia vo zvýšenom počte. V prípade letu takýchto prostriedkov a s použitím rojového lietania, je možné využiť plný potenciál letu vo formáciách. Takýto let je z hľadiska zabezpečenia bezpečnej letovej prevádzky komplikovaný a vyžaduje si komplexné zariadenia, umožňujúce let v dostatočných separátnych vzdialenostiach, komunikačných zariadení, prenosu dát či podľa špecifikácie účelu ďalšie nevyhnutné vlastnosti, ako sú schopnosť videnia, autonómne lietanie, použitie špeciálnych senzorov a iné [5][9]. Pre operáciu takýchto zariadení sú potrebné určité znalosti a zručnosti k zabezpečeniu bezpečnej a účelnej operácie. Okrem toho, je podľa legislatívy povinnosťou obsluhujúceho prevádzkovateľa UAV, vlastniť povolenie na riadenie bezpilotného dopravného prostriedku [11]. Z tohto dôvodu je využitie počítačových simulácií výhodnou pomôckou, ktorá môže značne ušetriť časové a finančné náklady.

Simulačný program, ktorý by dokázal reálne zosimulovať všetky atmosférické podmienky by zahrňoval množstvo dát, ktoré by reprezentovali reálne sily pôsobiace na UAV počas letu. Ďalej je potrebné zahrnúť dynamiku motorov, pôsobenia poveternostných podmienok, simulácia elektronického vybavenia a množstvo ďalšieho [2]. Vzhľadom na skutočnosť, že každý objekt, ktorý sa pohybuje prostredím, má svoje špecifické parametre, je vyžadujúce vytvoriť prvotný návrh dopravného prostriedku s charakteristickými vlastnosťami. Následná tvorba virtuálneho prostredia si vyžaduje softvér, ktorý dokáže konvertovať údaje o pohybe síl prostredím do simulácie.

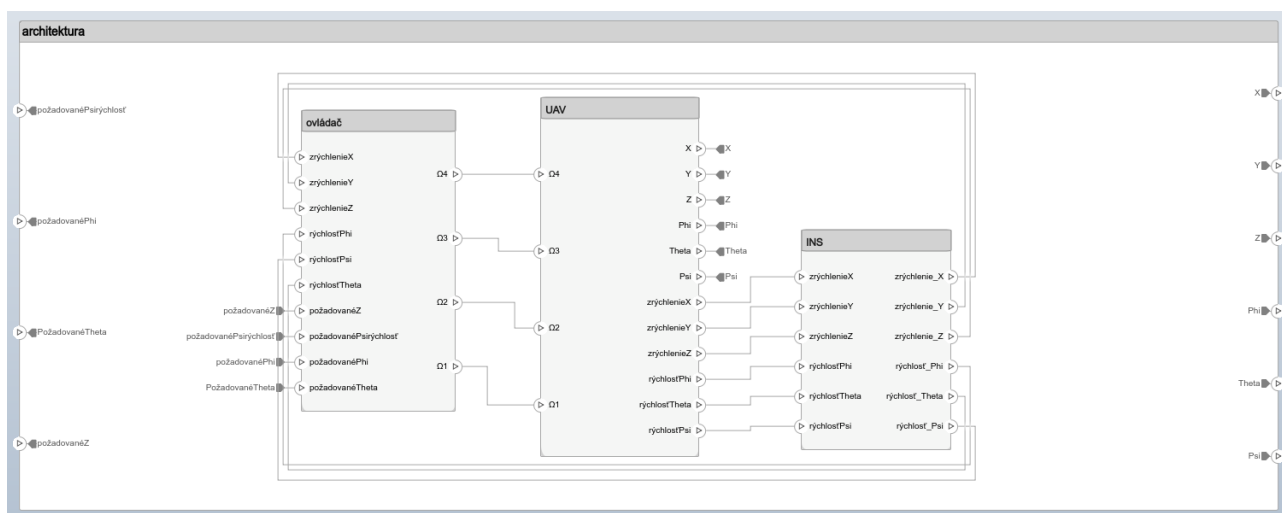
Na vytváranie virtuálneho prostredia pre simuláciu UAVs je možné použiť viacero softvérov. V závislosti od komplexnosti definovaného zadania je možné použiť viacero softvérov. Výkonnostná analýza viacerých programov poskytuje možnosť výberu optimálnej možnosti. Medzi takéto programy patrí X-Plane, FlightGear, Gazebo, JMAVSim, AirSim, UE4Sim a iné [6]. Na základe výkonnostnej analýzy bol zvolený softvér MATLAB Simulink, ktorý slúži na spracovávanie zadávaných údajov. S využitím Unreal Engine je možné pripojiť výstup zo Simulinku a v 3D zobrazení znázorniť pohyb UAV prostredím. Okrem takéhoto zobrazenia je možné získavať výstupy z akejkoľvek časti veľmi komplexného súboru rovníc vo forme dát, tabuliek či grafov.

2 Metodika

Tvorba virtuálneho prostredia je komplexný proces pozostávajúci z chronologickej postupnosti. Dodržanie správnej postupnosti je kľúčovým faktorom k tvorbe precízneho systému. Pre zjednodušenie vytvárania simulačného programu je použitá možnosť tvorby systémovej architektúry, za ktorou nasleduje tvorba samotného simulačného prostredia.

2.1 Tvorba architektúry simulačného programu

Architektúra vytvorená v programe Simulink poskytuje možnosť rýchleho vytvorenia blokových dynamických súčastí prostredia. Každý blok reprezentuje jednu špecifickú časť UAV, ktorá koreluje či odosiela údaje do ďalšieho bloku. Architektúra poskytuje využitie vrstvenia, ktoré tvorí reálnu činnosť komponentov, ktoré spolupracujú pri určitých podmienkach. Pre daný systém boli zvolené nasledovné komponenty: ovládač, inerciálny navigačný systém a samotný model kvadrokoptéry zahrňujúci fungovanie motorov a simulácie baterky. Na Obrázok 2 je znázornená prvá vrstva kvadrokoptéry. Jednotlivé bloky v sebe zahŕňajú ďalšie sub-komponenty, ktoré vytvárajú komplexný dynamický systém. Architektonicky navrhnutý model umožňuje sledovanie putovania signálov a spolupráce blokov. Program dokáže sám identifikovať chyby, ako napríklad zdvojenie či strata signálu.



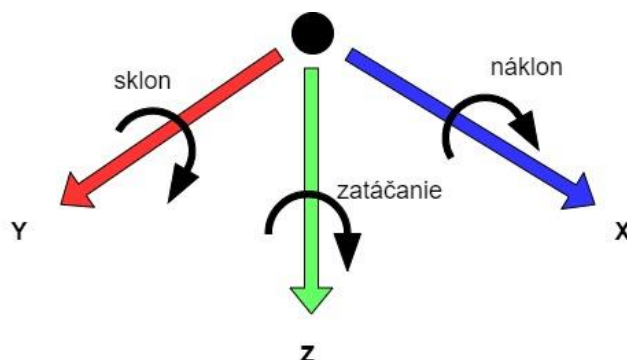
Zdroj: Vlastné spracovanie

Obrázok 2 Prvá vrstva architektúry modelu kvadrokoptéry

2.2 Opis požadovaných parametrov a pôsobiacich síl

Systém je založený na požiadavke dosiahnuť určitú pozíciu UAV vo virtuálnom prostredí. K tejto skutočnosti sú použité kinetické rovnice, ktoré definujú pohyb pozdĺž a okolo osí. V súradnicovom systéme sú použité 3 osi, X, Y a Z. Pričom model UAV a aj samotné prostredie majú svoje nezávislé prostredia, a ich relatívny pohyb je založený na pôsobení týchto súradnicových systémov medzi sebou [7].

K opisu pohybu UAV je sú použité kinetické rovnice založené na uhlovom zrýchlení osi motorov, znázornených na Obrázok 3, a ktoré sú zhrnuté v Tabuľka 1 [8].



Zdroj: Vlastné spracovanie

Obrázok 3 Grafické znázornenie pohybu kvadroptéry okolo osí

Tabuľka 1 Opis kinetických rovníc na pohyb UAV okolo osí

Vstup	Rovnica	Popis
$U1$	$b(\Omega_1^2 + \Omega_2^2 + \Omega_3^2 + \Omega_4^2)$	Vertikálny ťah
$U2$	$b(-\Omega_2^2 + \Omega_4^2)$	Ťah pre náklon
$U3$	$b(\Omega_1^2 - \Omega_3^2)$	Ťah pre sklon
$U4$	$d(\Omega_1^2 - \Omega_2^2 + \Omega_3^2 - \Omega_4^2)$	Ťah pre zotáčanie

Zdroj: Vlastné spracovanie

$U1$, $U2$, $U3$ a $U4$ sú jednotlivé veľkosti ťahu pre každý motor. Veličina b určuje koeficient vztlaku a Ω značí uhlovú rýchlosť daného motora. Predpokladom pre tvorbu virtuálneho UAV je použitie protichodných vrtúľ na protiľahlých osiach, čím sa eliminuje akýkoľvek zotáčavý moment. Ďalej je možné určiť:

$$\Omega_r = \Omega_1 - \Omega_2 + \Omega_3 - \Omega_4 \quad (1)$$

,kde Ω_r uvádza celkovú uhlovú rýchlosť. Ďalej je možné zdefinovať rovnice opisujúce zrýchlenia okolo osí X, Y a Z, teda pre náklon, sklon a zotáčanie, pre ktoré platí:

$$\ddot{\phi} = \frac{\dot{\theta}\dot{\psi}(I_{yy} - I_{zz}) + Jr\dot{\theta}\Omega_r + l(U_2)}{I_{xx}} \quad (2)$$

$$\ddot{\theta} = \frac{\dot{\phi}\dot{\psi}(I_{zz} - I_{xx}) - Jr\dot{\phi}\Omega_r + l(U_3)}{I_{yy}} \quad (3)$$

$$\ddot{\psi} = \frac{\dot{\theta}\dot{\phi}(I_{xx} - I_{yy}) + (U_4)}{I_{zz}} \quad (4)$$

Hodnota určenia uhlového zrýchlenia $\ddot{\phi}$ pre náklon, $\ddot{\theta}$ pre sklon, $\ddot{\psi}$ pre zotáčanie využíva pre svoj opis hodnoty rýchlosti $\dot{\theta}$ pre sklon, $\dot{\phi}$ pre náklon a $\dot{\psi}$ pre zotáčanie. Hodnoty I_{yy} , I_{zz} a I_{xx} označujú momenty

zotrvačnosti v jednotlivých osiach, J_r označuje rotorovú inerciu a l je vzdialenosť osi motora od ťažiska. Funkcia jednotlivých častí rovníc je znázornená na Obrázok 4.

$$\ddot{\phi} = \frac{\dot{\theta}\dot{\psi}(I_{yy} - I_{zz})}{I_{xx}} + \frac{J_r\dot{\theta}\dot{\Omega}_r}{I_{xx}} + \frac{l(U_2)}{I_{xx}}$$

uhlové zrýchlenie náklonu

činnosť aktuátora

gyroskopický efekt kvadrokoptéry

gyroskopický efekt vrtule

Zdroj: Vlastné spracovanie

Obrázok 4 Popis jednotlivých funkcií rovnice pre pohyb okolo osí

Okrem opisu pohybu okolo osí je potrebné definovať tie pohyby, ktoré idú pozdĺž osí. Pre tieto výrazy platia vzťahy:

$$\ddot{X} = \frac{(\sin\psi\sin\phi - \cos\psi\sin\theta\cos\phi)U_1 - A_x\dot{X}}{m} \quad (5)$$

$$\ddot{Y} = \frac{(\cos\psi\sin\phi - \sin\psi\sin\theta\cos\phi)U_1 - A_y\dot{Y}}{m} \quad (6)$$

$$\ddot{Z} = \frac{mg - (\cos\theta\cos\phi)U_1 - A_z\dot{Z}}{m} \quad (7)$$

Veličiny A_x , A_y a A_z vyjadrujú odpor vzduchu pre každú os, m je hmotnosť a g gravitačné zrýchlenie. $\dot{X}$, $\dot{Y}$, $\dot{Z}$ určujú pozíciu v danej osi. Podobne ako pri pohybe okolo osí, zobrazuje Obrázok 5 formu funkcie rovnice.

$$\ddot{X} = \frac{(\sin\psi\sin\phi - \cos\psi\sin\theta\cos\phi)U_1 - A_x\dot{X}}{m}$$

činnosť aktuátora

Odpor vetra

hmotnosť kvadrokoptéry

Zdroj: Vlastné spracovanie

Obrázok 5 Popis jednotlivých funkcií rovnice pre pohyb pozdĺž osí

Z vyjadrených hodnôt o zrýchlenia v daných osiach a okolo nich je možné získať všetky potrebné údaje na základe ich integrovania podľa Tabuľka 2.

Tabuľka 2 Využitie integrácií pre získavanie údajov o rýchlosti a pozícií

	Náklon	Sklon	Zatáčanie	X	Y	Z
Pozícia	$\phi \int \dot{\phi}$	$\theta \int \dot{\theta}$	$\psi \int \dot{\psi}$	$X \int \dot{X}$	$Y \int \dot{Y}$	$Z \int \dot{Z}$

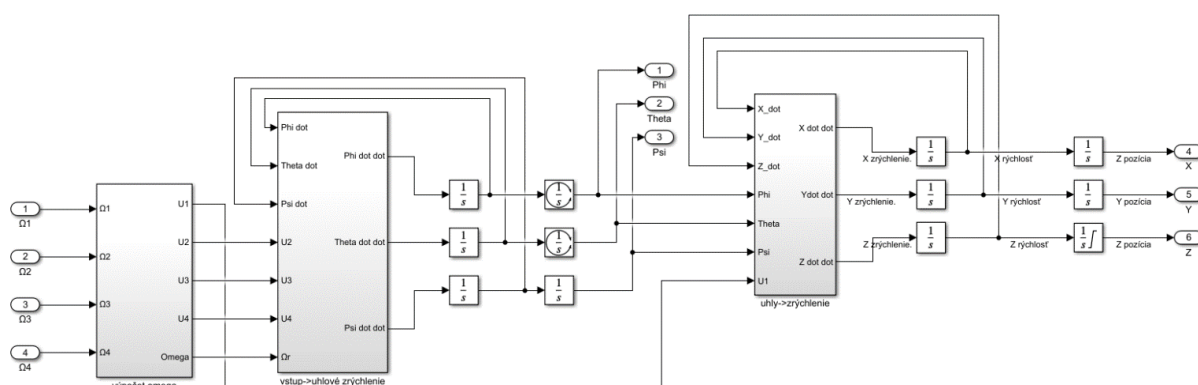
Rýchlosť	$\dot{\phi} \int \ddot{\phi}$	$\dot{\theta} \int \ddot{\theta}$	$\dot{\psi} \int \ddot{\psi}$	$\dot{X} \int \ddot{X}$	$\dot{Y} \int \ddot{Y}$	$\dot{Z} \int \ddot{Z}$
Zrýchlenie	$\ddot{\phi}$	$\ddot{\theta}$	$\ddot{\psi}$	$\ddot{X}$	$\ddot{Y}$	$\ddot{Z}$

Zdroj: Vlastné spracovanie

2.3 Tvorba dynamického blokového systému

Po definovaní jednotlivých veličín dochádza k tvorbe dynamického systému, ktorého správanie opisujú rovnice pohybu.

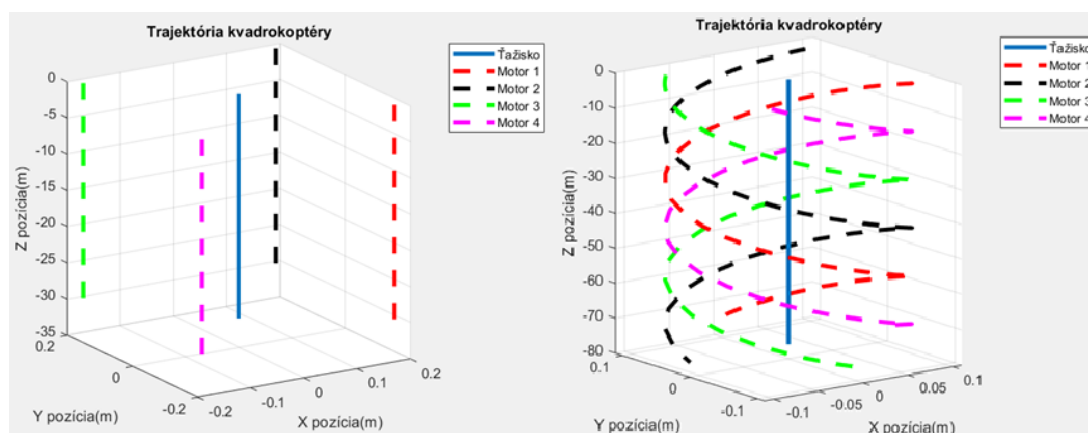
Prvý krokom je tvorba výpočtového bloku, kedy dochádza ku konverzii údajov o uhlovej rýchlosti jednotlivých motorov na tvorbu ťahu. Tieto údaje sú ďalej vysielané do ďalšieho bloku, kde dochádza k ich konverzii na pohyb okolo osí. Následnými integráciami je možné získať údaje o momentálnej rýchlosti a pozícii kvadrokoptéry v súradnicovom systéme. Pozícia okolo osí je vedená a spracovávaná pre získanie údajov polohy UAV pozdĺž osí. Pre dané integrácie je možné určiť limity, ktoré obmedzia pohyb sklonu a náklonu na maximálnu úroveň 90°. Obrázok 6 zobrazuje schému zapojenia blokov a výstupy, ktorými sú poloha UAV v troch osiach [7].



Zdroj: Vlastné spracovanie

Obrázok 6 Schéma dynamického systému kvadrokoptéry

Po zadávaní vstupných údajov je možné premietiť výsledný pohyb UAV v grafickej forme. Následná vizualizácia na poskytuje prehľad o pohybe UAV na základe prvotných údajov.



Zdroj: Vlastné spracovanie

Obrázok 7 Graficky znázornený pohyb UAV v 3 osiach

2.4 Tvorba dodatočných komponentov

Táto sekcia zahŕňa tvorbu elektronického vybavenia. V tomto prípade je opísaná funkcia batérie, inerciálneho systému a ovládača PID.

Batéria je zdrojom energie, bez ktorého by akýkoľvek reálny model UAV nemohol vykonávať svoju činnosť. Vstup pre batériu je odber prúdu a výstupom je napätie. Dôležitým bodom pri tvorbe batérie je definícia stavov a parametrov. Medzi stavy sa radia stav nabitia, napätie, prúd a teplota. Medzi parametre sa radí kapacita batérie a rýchlosť vybíjania.

Pre tvorbu modelu bola definovaná LiPo batéria s príslušnými charakteristikami. Batéria je jedným z prvkov, ktoré značne ohraničujú možnú prevádzku. V súčinnosti s motormi, by vyššie ako dovolené hodnoty prúdu či napätia mohli spôsobiť poškodenie komponentov. Príliš nízke hodnoty by mohli naopak spôsobiť nedodržanie stanovených požiadaviek, napríklad na dĺžku letu.

Pred samotnou tvorbou blokovej schémy je opäť potrebné opísať rovnice definujúce spôsob správania batérie a jej komponentov. Rýchlosť otáčania motorov (RPM) je definovaná ako súčin napätia a pomeru KV, ktorý predstavuje, ako rýchlo sa dokáže motor otáčať pri dodávke napätia 1V.

$$RPM = V * KV \quad (8)$$

Konštantný vybíjací prúd a maximálny vybíjací prúd určujú, aké je množstvo dodávaného prúdu pre bezpečnú dodávku z batérie. Pre výpočet kontinuálneho prúdu sa používa vzťah kapacity batérie vynásobenej konštantným vybíjacím prúdom, alebo maximálnym vybíjacím prúdom pre „burst current“, ktorý tvorí hranicu maximálneho prúdu, ktorý dokáže motor krátkodobo zvládnuť.

$$\text{Vybíjací prúd} = \text{rýchlosť vybíjania} * \text{kapacita} \quad (9)$$

Ostatné fyzikálne vlastnosti batérie ako hmotnosť a rozmery ovplyvnia výpočty momentu zotrvačnosti.

Ďalším vybavením UAV je inerciálny systém. Pri pohybe kvadrokoptéry v reálnom svete zohrávajú úlohu mnohé faktory, ktoré môžu spôsobiť vychýlenie v ktorejkoľvek osi, napr. vplyvom vetra. V takom prípade je potrebné zaviesť do modelu spätnú väzbu, ktorá formou snímačov monitoruje súčasnú polohu a porovnáva ju s tou definovanou. Táto korekcia sa vykonáva pomocou gyroskopov a akcelerometrov. Tieto snímače sú umiestnené v blokovej schéme inerciálnej meracej jednotke (IMU). Kým gyroskop poskytuje údaje o uhlovej rýchlosti, akcelerometer poskytuje údaje o axiálnom zrýchlení. Pre modelovanie reálnejšieho snímání sa do schémy zapája skreslenie, šum a oneskorenie.

Údaje zo snímačov sa privádzajú do riadiacej jednotky ako informácia o rýchlosti sklonu, náklonu a zatáčania či zrýchlenia v osi X, Y a Z. Pre modelovanie je potrebné stanoviť nulové body pre snímače. Pre gyroskopy sú to hodnoty nulovej rýchlosti okolo každej osi. Pre akcelerometre sú to nulové zrýchlenia v osi X a Y, ale v osi Z je to gravitačné zrýchlenie. Pre výstup zo snímačov platí vzťah:

$$\text{Výstup} = K_{\text{bias}} + \text{LowPass} + \text{Noise}, \quad (10)$$

kde: K_{bias} = skreslenie,

LowPass = dolnopriepustný filter,

Noise = šum.

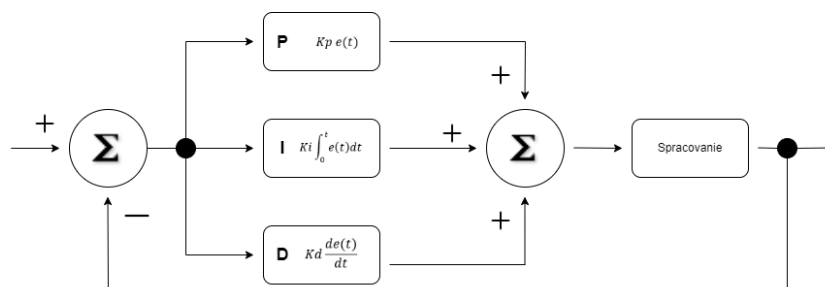
Na dosiahnutie presnejších výsledkov, kedy dochádza k transformácii údajov medzi zrýchlením súradnicového systému UAV voči súradnicovému systému prostredia pomocou rotačných matíc, je potrebné použiť rovnaké rotačné matice na transformáciu údajov opäť smerom naspäť, teda od súradnicového systému prostredia na súradnicový systém UAV. Konverzia týchto údajov prebieha podľa vzťahu:

$$\begin{bmatrix} \ddot{X}_{LLF} \\ \ddot{Y}_{LLF} \\ \ddot{Z}_{LLF} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\Psi\cos\Theta & \sin\Psi\cos\Phi + \cos\Psi\sin\Theta\sin\Phi & \sin\Psi\sin\Phi - \cos\Psi\sin\Theta\cos\Phi \\ -\sin\Psi\cos\Theta & \cos\Psi\cos\Phi - \sin\Theta\sin\Psi\sin\Phi & \cos\Psi\sin\Phi + \sin\Theta\sin\Psi\cos\Phi \\ \sin\Theta & -\cos\Theta\sin\Phi & \cos\Theta\cos\Phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{X}_{body} \\ \ddot{Y}_{body} \\ \ddot{Z}_{body} \end{bmatrix} \quad (11)$$

Samotný blok IMU obsahuje dve vetvy, ktoré rozdeľujú funkciu akcelerometra a gyroskopu. Snímače prijímajú signály priamo z bloku kvadrokoptéry, takže pred vstupom musia byť v prípade akcelerometra upravené. Integráciou uhlovej rýchlosti okolo osí sa získa ich poloha, ktorej údaj prechádza výpočtom rotačnej matice a signál putuje do sub-bloku akcelerometra. V prípade rotácie okolo osi X a Y sú integrácie limitované na dosahovanie maximálnych hodnôt $-\Pi$ a $+\Pi$.

Parametre, ktoré musia byť ovládané pri lete UAV sú výška, rýchlosť náklonu, sklonu a zatáčania. Tieto veličiny sa určujú veľkosťou vytvoreného ťahu na jednotlivých motoroch. Pomocou ovládača je veľmi zložitá udržiavať požadovanú polohu či výšku kvadrokoptéry, preto je potrebné vytvoriť ovládač, ktorý bude vytvárať také signály, ktoré vyhovujú požadovaným parametrom polohy a výšky.

Pre vytvorenie takéhoto modelu sa použije tzv. PID ovládač (P- proportional, I- Integral, D- derivative). Každá časť takéhoto ovládača má svoj účel. Časť *P* (*proporcionálna*) vytvára všeobecné zosilnenie signálu pre systém. Časť *I* (*integrálna*) upravuje zosilnenie akumuláciou chybného signálu. Časť *D* (*derivačná*) upravuje zosilnenie sledovaním sklonu chybného signálu. Všetky 3 časti PID sa sčítavajú a vytvárajú vstup pre daný model.



Zdroj: Vlastné spracovanie

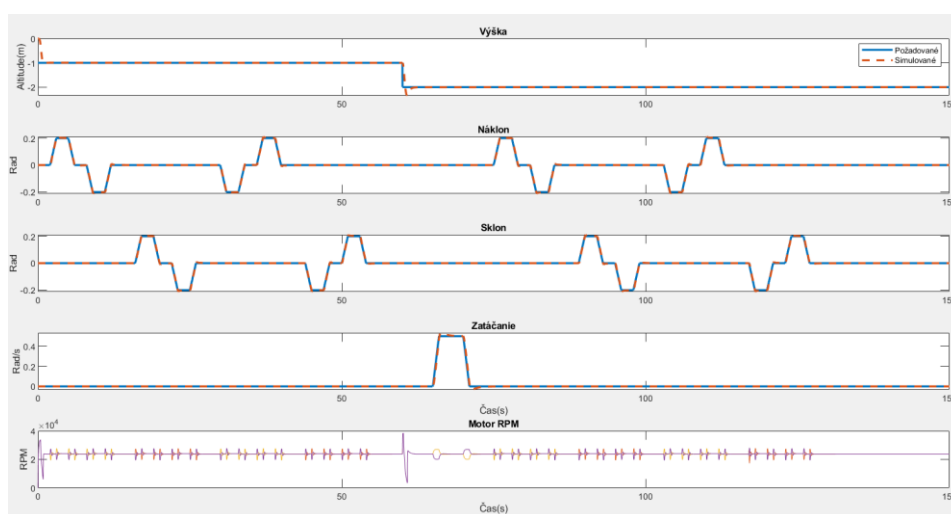
Obrázok 8 Schéma PID ovládača

Pre vytvorenie bloku pre ovládač je potrebné definovať vstupy. Tieto zahŕňajú požadované parametre letu UAV, teda požadovanú výšku, požadovanú rýchlosť sklonu a náklonu a požadované zrýchlenie pri zatáčaní. Zvyšných 6 parametrov tvoria zrýchlenia v osiach X, Y a Z, a rýchlosti sklonu, náklonu a zatáčania. Výstupom sú rýchlosti otáčok jednotlivých motorov pre dosiahnutie požadovaných parametrov. Ako spätná väzba sú použité údaje zo senzorov z bloku IMU.

3 Výsledky

Výsledky je možné sformulovať do 3 základných kategórií: Grafické znázornenie výsledkov, výsledky vo forme dát a 3D vizualizácia.

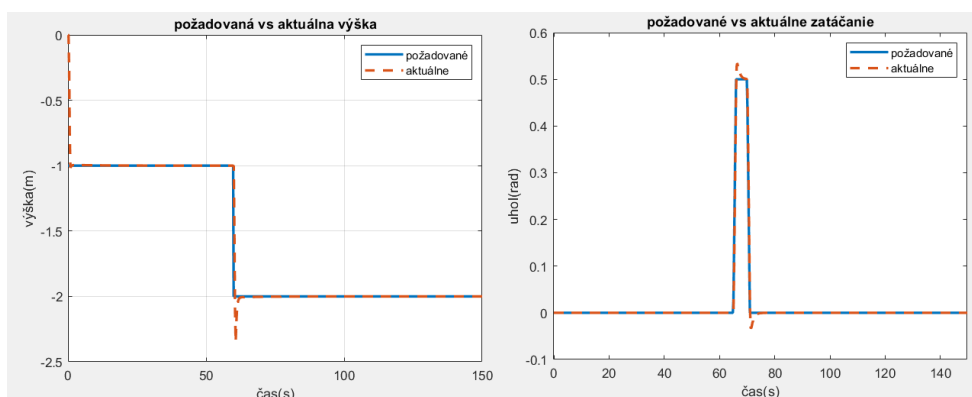
V grafickej forme je možné evaluovať na základe požadovaných vlastností porovnaných s týmito simulovanými. Na základe získaných údajov podľa Obrázok 9 sú získané údaje porovnateľné s tými požadovanými. Odchýlky, ktoré vznikli sú na základe reálnej práce kvadrokoptéry, ktorá v prípade vertikálneho letu, musí najprv vzlietnuť. Otočený súradnicový v osi Z spôsobuje, že údaje majú negatívny smer.



Zdroj: Vlastné spracovanie

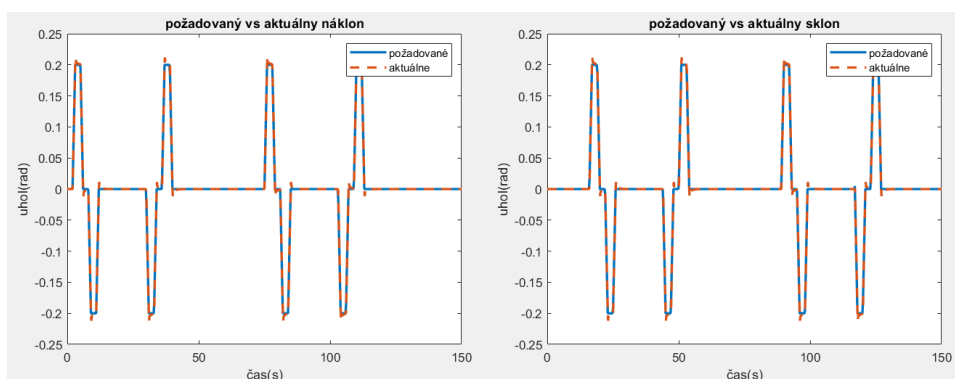
Obrázok 9 Grafické znázornenie letu UAV

Pre jednotlivé sekcie je možné porovnávať hodnoty detailnejšie, vyobrazené na Obrázok 10 a Obrázok 11.



Zdroj: Vlastné spracovanie

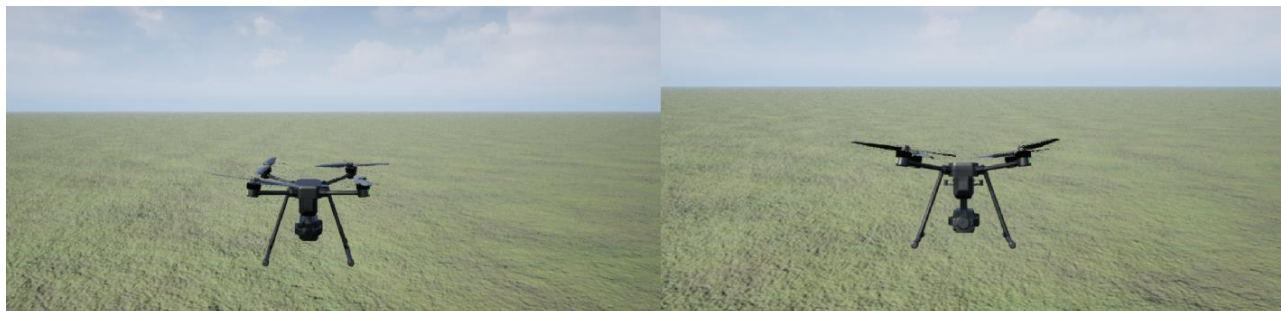
Obrázok 10 Porovnávanie veličín výšky a zatáčania



Zdroj: Vlastné spracovanie

Obrázok 11 Porovnávanie veličín náklonu a sklonu

Pripojeným rozšírenia Unreal Engine je zosimulovaný let UAV vo vytvorenom virtuálnom prostredí. Takto znázornený let umožňuje prehľadným spôsobom sledovať priebeh operácie UAV. Názorná ukážka je zobrazená na Obrázok 12.



Zdroj: Vlastné spracovanie

Obrázok 12 3D simulácia letu UAV

4 Záver

Vytvorenie modelu kvadrokoptéry spoločne s inerciálnou meracou jednotkou a ovládačom je komplexná úloha. Existuje množstvo spôsobov ako vytvoriť takýto model, ktorý môže zahŕňať iba základné komponenty až po veľmi členité modely. Opísaný model definuje zakomponovanie pohybových rovníc do sústavy modelu podľa tvaru kvadrokoptéry relatívne voči doprednému pohybu. V simulačnom programe figurujú aj zložitejšie súčasti ako odpor vzduchu, koeficient vztlaku, hmotnosť samotného zariadenia a ďalšie charakteristiky vytvárajúce členitejší systém.

Výstupom virtuálneho prostredia je program, umožňujúci modifikovanie modelu UAV a vonkajších podmienok, za účelom získavania množstva dát, ktoré môžu byť spracované vo forme tabuľky, grafov alebo 3D simulácie. Akékoľvek veličiny vystupujúce z ktorejkoľvek časti blokových schém môžu byť vyvedené na výstup a analyzované. Môže tiež dochádzať k zmiešavaniu signálov pre ich porovnávanie, či k matematickým operáciám, ktoré dokážu vyvodiť nové údaje o nových veličinách. Medzi základné výstupy patrí: napätie, prúd, stav batérie, RPM, rýchlosť, zrýchlenie a poloha v osiach X, Y a Z, rýchlosť, zrýchlenie a poloha okolo osí X, Y a Z a ich hodnoty v rôznych sekciách spracovania a zadané veličiny o požadovanom lete.

Takto vytvorený model virtuálneho prostredia umožňuje vytvárať ľubovoľné lietajúce prostriedky, simulovať ich prevádzku a na základe získaných výstupov vyhodnocovať vytvorené zariadenia bez potreby reálnych experimentálnych letov. Metóda simulácie šetrí finančné náklady spojené s kúpou a prevádzkou UAVs.

5 Literatúra

- [1] TRAJKOVSKI, K.K. – GRIGILLO, D. – PETROVIČ, D. Optimization of UAV Flight Missions in Steep Terrain. In Remote Sensing. 12. vydanie. 2020. DOI = 10.3390/rs12081293
- [2] NAIDOO, Y. – STOPFORTH, R. – BRIGHT, G. Development of an UAV for search & rescue applications. IEEE Africon '11. 2011. DOI: 10.1109/AFRCON.2011.6072032
- [3] KONERT, A. – BALCERZAK, T. Military autonomous drones (UAVs) – from fantasy to reality. Legal and Ethical implications. In Transportation Research Procedia, vyd.: 59. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.11.121>
- [4] VICKI, P. M. Military UAVs claiming the skies with fuel cell power. In Fuel Cells Bulletin. Volume 2007. Issue 12. 2007. Pages: 12-15. [https://doi.org/10.1016/S1464-2859\(07\)70438-8](https://doi.org/10.1016/S1464-2859(07)70438-8)
- [5] TAHIR et. al. Swarms of Unmanned Aerial Vehicles – A Survey. In Journal of Industrial Information Integration. 2019. Vyd.: 16. DOI: 10.1016/j.jii.2019.100106
- [6] Hentati et.al. Simulation Tools, Environments and Frameworks for UAV Systems Performance Analysis. In Journal 2018. DOI: 10.1109/IWCMC.2018.8450505
- [7] FERRY, N. Quadcopter Pland Model and Control System Development With MATLAB/Simulink Implementation: Research Paper. Rochester: Rochester Institute of technology. 2017.
- [8] BAGHERI, S. Modeling, Simulation and Control System Design for Civil Unmanned Aerial Vehicle (UAV): Master Thesis. Umea University. 2014.
- [9] NOVÁK, A. – SEDLÁČKOVÁ, A. – PECHO, P. Detection and prediction of a pair of unmanned Aircraft contact. In Promet – Traffic&Transportation. Volume:34. 2022. DOI: 10.7307/ptt.v34i3.4078

- [10] NOVÁK, A. et.al. Use of Unmanned Aerial Vehicles in Aircraft Inspection. In Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal. Vyd.:6. 2021. 10.25046/aj060321
- [11] KOVÁČIKOVÁ, K. – KANDERA, B. – KOVÁČIKOVÁ, M. Výcvik pilotov bezpilotných prostriedkov. In AeroJournal. Ročník 19.; číslo 1/2022. <https://doi.org/10.26552/aer.C.2022.1.2>

PodĎakovanie

Predložený článok je výstupom projektu Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky KEGA 040ŽU-4/2022 Transfer progresívnych metód vzdelávania do študijného programu "Technológia údržby lietadiel" a "Letecká doprava".

PROCES PRIEBEHU EMISNÝCH KONTROL V PODMIENKACH SLOVENSKEJ REPUBLIKY

Autori:

Martin PAUMER ¹, Ján KOSIBA ¹

Tituly a pôsobisko autorov:

¹Ing. Martin Paumer, Katedra dopravy a manipulácie, Technická fakulta, SPU v Nitre, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, xpaumer@uniag.sk

¹ doc. Ing. Ján Kosiba, Katedra dopravy a manipulácie, Technická fakulta, SPU v Nitre, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, Jan.Kosiba@uniag.sk

Abstrakt: Emisné kontroly sa vykonávajú na základe metodických pokynov určených na vykonávanie emisnej kontroly pravidelnej, a to motorových vozidiel so zážihovým motorom s nezdokonaleným emisným systémom, so zážihovým motorom so zdokonaleným emisným systémom a so vznietovým motorom, účinný od 01.01.2022. Stále zhoršujúca sa kvalita ovzdušia sa v súčasnosti javí ako globálny problém. Každý štát má prirodzený záujem na tom, aby vozidlá v premávke na pozemných komunikáciách neohrozovali bezpečnosť a životné prostredie. Sú preto ustanovené isté minimálne požiadavky, ktoré musí splniť každé vozidlo používané v premávke. Ich splnenie sa preveruje pri pravidelných kontrolách. V Slovenskej republike máme kontroly technického stavu vozidiel rozdelené na technické a emisné kontroly. Emisná kontrola je zameraná práve na selekciu vozidiel poškodzujúcich životné prostredie nadmernou tvorbou škodlivých emisií vo výfukových plynoch. Vykonáva sa tiež v pravidelných intervaloch podľa kategórie vozidla. Pri emisiách meriame hlavne výfukové plyny CO, oxid uhoľnatý, a HC nespálené uhľovodíky ktoré ohrozujú naše zdravie prevádzkové takéto vozidlo. Ďalej kontrolujeme tesnosť výfukového systému a funkčnosť relevantných komponentov, ktoré sa podieľajú na znižovaní tvorby emisií vo výfukových plynoch. Pri emisných kontrolách sa vozidlo hodnotí 3-stupňovo a to spôsobilé, dočasne spôsobilé (60dní) alebo nespôsobilé na prevádzku na pozemných komunikáciách. Príspevok analyzuje výsledky emisných kontrol na vybranom pracovisku. Pre potreby predloženej publikácie sú spracované postupy resp. stanovenie kontrolovaných parametrov výlučne pre vozidlá so vznietovým motorom. Čo sa týka spracovania, tak ide o stanovenie hodnôt kontrolovaných parametrov pre vozidlo so vznietovým motorom pre emisné systémy BKAT, NKAT a NKAT OBD. Na základe spracovaných údajov, je možné bližšie špecifikovať emisný stav vozidiel, ktoré sa podrobili vykonaniu emisnej kontroly počas sledovaného obdobia.

Kľúčové slová: emisie, cestné vozidlá, emisná kontrola, motor,

JEL: L91

The process of emissions inspections in Slovakia

Abstract: Emission inspections are carried out on the basis of methodological instructions intended for carrying out regular emission inspections, namely motor vehicles with a spark-ignition engine with an unimproved emission system, with a spark-ignition engine with an improved emission system, and with a diesel engine, effective from 01.01.2022. The ever-deteriorating air quality appears to be a global problem these days. Every state has a natural interest in ensuring that vehicles in traffic on land roads do not endanger the safety and the environment. Certain minimum requirements are therefore established, which must be met by every vehicle used in traffic. Their fulfillment is verified during regular inspections. In the Slovak Republic, we have inspections of the technical condition of vehicles divided into technical and emission inspections. The emission inspection is focused precisely on the selection of vehicles that damage the environment by excessive production of harmful emissions in the exhaust gases. It is also carried out at regular intervals according to the vehicle category. When it comes to emissions, we mainly measure exhaust gases CO, carbon monoxide, and HC unburned hydrocarbons that threaten our health when operating such a vehicle. We also check the tightness of the exhaust system and the functionality of the relevant

components that participate in reducing emissions in the exhaust gases. During emission inspections, the vehicle is evaluated in 3 stages: eligible, temporarily eligible (60 days), or unfit for operation on land roads. The paper analyzes the results of emission inspections at the selected workplace. Based on the processed data, it is possible to closely specify the emission status of vehicles that underwent an emission inspection during the monitored period.

Keywords: emissions, road vehicles, emission control, engine,

1 Úvod

Väčšina metropolitných oblastí Európskej únie (ďalej len EÚ) trpí vysokou intenzitou cestnej premávky a zhoršenou kvalitou ovzdušia. Stav a kvalita ovzdušia zároveň negatívne vplyva na zdravie obyvateľstva, to dokazujú viaceré štúdie [1,2,3]. Podľa Európskej agentúry pre životné prostredie, približne 90% obyvateľov európskych miest je vystavených znečisťujúcim látkam v koncentráciách vyšších, ako sú normy kvality ovzdušia považované za zdravu škodlivé [4]. Koncentrácie NO₂ vo väčšine miest s vysokou premávkou v EÚ trvale prekračujú ročnú limitnú hodnotu stanovenú v predpisoch EÚ. NO a NO₂, ktoré sú hlavnými oxysľujúcimi škodlivinami, sa tvoria počas vysokoteplotného spaľovania alebo v zariadeniach na dodatočnú úpravu výfukových plynov [5]. Výsledkom je, že cestná doprava je hlavným zdrojom oxidu dusičitého (NO₂), ktorý je jedným z hlavných znečisťujúcich látok poškodzujúcich zdravie. Táto znečisťujúca látka je tiež prekursorom ozónu a tuhých častíc, ktoré sa môžu tvoriť vo vzduchu [6]. Doprava je tiež významným zdrojom primárnych tuhých častíc nielen v dôsledku spaľovania palív, ale aj opotrebovania pneumatík, bŕzd a v neposlednom rade je veľmi významným zdrojom emisií skleníkových plynov [7,8]. Podkladovou štúdiou tohto tvrdenia je výskum sledovania produkcie emisií pri prejazde vozidiel na križovatke, ktorý bol spracovaný Cabanom a kol. [9]. Aby sa obmedzili škodlivé plyny a najmä NO_x emisie z ľahkých úžitkových automobilov, ktoré sú najviac produkované najmä v mestských oblastiach, zavádza EÚ v posledných rokoch stále prísnejšie predpisy [10].

Predmetom predloženej publikácie je analýza riešenej problematiky vykonávania emisných kontrol pre vozidlá so vznetovým motorom. Pre potreby predloženej publikácie sú spracované postupy resp. stanovenie kontrolovaných parametrov výlučne pre vozidlá so vznetovým motorom. Čo sa týka spracovania, tak ide o stanovenie hodnôt kontrolovaných parametrov pre vozidlo so vznetovým motorom pre emisné systémy BKAT, NKAT a NKAT OBD. V súčasnosti sa priebeh emisných kontrol riadi Metodickým pokynom. Neoddeliteľnou súčasťou emisnej kontroly je kontrola technického stavu vozidla. Technická a emisná kontrola je veľmi dôležitá služba, ktorá vyplýva prevádzkovateľom vozidiel zo zákona č. 106/2018 Z.z. o prevádzke vozidiel v cestnej premávke a o zmene a doplnení niektorých zákonov. Keďže každý štát má prirodzený záujem na tom, aby vozidlá v premávke na pozemných komunikáciách neohrozovali bezpečnosť a životné prostredie. Sú preto ustanovené isté minimálne požiadavky, ktoré musí splniť každé vozidlo používané v premávke. Ich splnenie sa preveruje pri pravidelných kontrolách. V Slovenskej republike máme kontroly technického stavu vozidiel rozdelené na technické a emisné kontroly.

2 Emisná kontrola

Emisnou kontrolou motorového vozidla je prehliadka a kontrola stavu motora vozidla a jeho systémov, komponentov alebo samostatných technických jednotiek, ktoré ovplyvňujú tvorbu znečisťujúcich látok vo výfukových plynach a meraním zistené dodržanie výrobcom určených podmienok a emisných limitov motora ustanovených vykonávacím právnym predpisom.

Emisná kontrola sa vykonáva na pracovisku emisnej kontroly podľa jednotlivých emisných kontrol v rozsahu kontrolných úkonov ustanovených zákonom, vykonávacím právnym predpisom a podľa metodík vydaných schvaľovacím orgánom.

2.1 Členenie jednotlivých druhov paliva a jednotlivých druhov emisného systému

Na pracovisku emisnej kontroly sa vykonávajú emisné kontroly v závislosti od druhu paliva a emisného systému.

Emisnou kontrolou sa kontroluje motorové vozidlo s

- palivom benzín
- palivom nafta
- palivom skvapalnený ropný plyn
- palivom zemný plyn
- palivom etanol
- palivom benzín a alternatívnym palivom skvapalnený ropný plyn alebo zemný plyn
- palivom etanol a alternatívnym palivom skvapalnený ropný plyn alebo zemný plyn
- duálnym pohonom s palivom nafta a skvapalnený ropný plyn alebo zemný plyn [11]

Vozidlo so zážihovým motorom mazané zmesou paliva a mazacieho oleja nepodlieha emisnej kontrole.

Za nezdokonalený emisný systém – sa považuje výfuková sústava

- spaľovacieho motora vozidla bez zariadenia na dodatočné znižovanie škodlivín v emisiách z výfuku alebo
- zážihového spaľovacieho motora vozidla so zariadením na dodatočné znižovanie škodlivín v emisiách z výfuku, pri ktorom príprava zmesi nie je riadená v závislosti od obsahu voľného kyslíka vo výfukových plynch.

Za zdokonalený emisný systém – sa považuje výfuková sústava

- zážihového spaľovacieho motora vozidla so zariadením na dodatočné znižovanie škodlivín v emisiách výfuku, pri ktorom príprava zmesi je riadená v závislosti od obsahu voľného kyslíka vo výfukových plynch alebo,
- vznetového spaľovacieho motora vozidla so zariadením na dodatočné znižovanie škodlivín v emisiách výfuku vrátane NO_x katalyzátorov alebo systémom selektívnej katalytickej redukcie (SCR) alebo systémom filtrácie tuhých znečisťujúcich látok.

Palubný diagnostický systém OBD – za palubný diagnostický systém OBD sa považuje systém palubnej diagnostiky stavu emisne relevantných komponentov motora vozidla a jeho príslušenstva.

Emisnou kontrolou sa kontroluje motorové vozidlo:

- so zážihovým motorom s nezdokonaleným emisným systémom
- so zážihovým motorom s zdokonaleným emisným systémom
- so zážihovým motorom so zdokonaleným emisným systémom, ktoré je vybavené palubným diagnostickým systémom OBD,

- so vznetovým motorom
- so vznetovým motorom , ktoré je vybavené palubným diagnostickým systémom OBD,
- s hybridným pohonom [11]

2.2 Druhy emisnej kontroly

Základným druhom emisnej kontroly je emisná kontrola pravidelná. Na základe udeleného oprávnenia na vykonávanie emisnej kontroly pravidelnej možno vykonávať aj ostatné druhy emisných kontrol.

Emisné kontroly motorových vozidiel sa členia na :

- Emisnú kontrola pravidelnú,
- Emisnú kontrolu zvláštnu,
- Emisnú kontrolu administratívnu,
- Emisnú kontrolu opakovanú a
- Emisnú kontrolu vykonávanú v rámci cestnej technickej kontroly.

Emisnú kontrolu pravidelnú nenahrádza emisná kontrola zvláštna alebo administratívna okrem emisnej kontroly administratívnej vykonávanej pri dovoze vozidiel, ak okresný úrad uzná pôvodnú emisnú kontrolu.

Emisnú kontrolu možno vykonať podľa voľby prevádzkovateľa vozidla na ktoromkoľvek pracovisku emisnej kontroly v SR, ktorá je oprávnená na jej vykonanie.

Emisná kontrola zvláštna sa vykonáva v úplnom alebo čiastočnom rozsahu emisnej kontroly pravidelnej a podľa úkonov ustanovených metodikou na vykonávanie emisnej kontroly zvláštnej. Emisná kontrola administratívna sa vykonáva len v čiastočnom rozsahu emisnej kontroly pravidelnej podľa úkonov ustanovených metodikou na vykonávanie emisnej kontroly administratívnej [12].

Emisná kontrola vykonávaná v rámci cestnej technickej kontroly sa vykonáva na pracovisku emisnej kontroly podľa určenia orgánu Policajného zboru.

Pred začatím emisnej kontroly musí prevádzkovateľ vozidla alebo vodič vozidla predložiť na emisnú kontrolu doklady v rozsahu ustanovenom vykonávacím právnym predpisom. Bez predloženia ustanovených dokladov a bez pristaveného vozidla nesmie technik emisnej kontroly vykonať emisnú kontrolu. Pri emisnej kontrole je to osvedčenie o evidencii a protokol o montáži plynového zariadenia, ak ide o vozidlo s pohonom na LPG alebo CNG, ktoré nie je vybavené týmto zariadením priamo od výrobcu.

Pri emisnej kontrole vozidla záchrannej služby určeného na prepravu infekčných materiálov alebo pacientov s infekčnými chorobami, vozidla určeného na prepravu uhynutých zvierat a vozidla pohrebnej služby prevádzkovateľ vozidla predkladá okrem ustanovených dokladov aj potvrdenie o vykonanej dezinfekcii vozidla. Bez predložených ustanovených dokladov kontrolný technik emisnej kontroly nesmie vykonať kontrolu.

Počas emisnej kontroly sa nesmie mazať chybová pamäť OBD nastavovať ani opravovať kontrolované vozidlo.

3 Metodika výskumu

Ministerstvo dopravy a výstavby Slovenskej republiky na zabezpečenie rovnakého postupu jednotlivých pracovísk emisných kontrol vydalo Metodický pokyn č. 2/2020, ktorým sa následne upravuje postup pri realizovaní emisnej kontroly pravidelnej motorových vozidiel so zážihovým motorom s nezdokonaleným emisným systémom, so zážihovým motorom so zdokonaleným emisným systémom a so vznietovým motorom [13].

Priebeh emisnej kontroly pravidelnej môžeme rozdeliť do nasledovných základných častí:

1. Identifikácia
2. Stanovenie hodnôt kontrolovaných parametrov
3. Vizuálna kontrola
4. Meranie
5. Vyhodnotenie

Emisná kontrola vykonávaná v plnom rozsahu stanovených úkonov:

1. Zaznamenanie vozidla na stojisku

Pristavené vozidlo na ktorom sa bude vykonávať EK nesmie mať vo svojom systéme signalizované minimálne množstvo prevádzkovaný náplní a to najmä: mazacieho oleja tak isto paliva ako aj chladiacej kvapaliny a minimálne množstvo redukčného činidla Ad-Blue.

Mechanický stav motora vozidla na ktorom sa bude vykonávať EK musí umožniť vykonanie EK bez jeho poškodenia. Bez použitia akýchkoľvek iných zdrojov energie vozidlo musí umožniť spustenie motora. Pred vykonaním EK musí byť dobre tesnená mazacia ako aj chladiaca a palivová sústava ale aj plynová sústava. OBD systém vozidla musí byť funkčný a musí dovoliť komunikáciu a prístup k získaniu údajov pomocou daného komunikačného zariadenia [13].

Pri EK je povinnosťou prevádzkovateľa vozidla pristiaviť vozidlo na stojisko ktoré je výrazne farebne ohraničené tak, aby stálo v snímanom poli príslušných kamier MZZ viditeľne vyznačenej na podlahe stojiska.

Povinnosťou technika je aby zabezpečil čo najlepšie možnú čitateľnosť evidenčného čísla vozidla na snímkach a zároveň čo najlepšiu viditeľnosť a identifikovateľnosť kontrolovaného vozidla na videozáznamoch. Technik ako ďalší krok zosníma vygenerovaný čiarový kód z elektronického protokolu, daného kontrolovaného vozidla, pomocou čítačky čiarových kódov pre vstupnú kameru a vytvorí vstupnú snímku vozidla. Zároveň ako sa vytvorí snímka sa začne vytvárať videozáznam zo vstupnej kamery a tak isto aj videozáznam a snímky z prehľadovej kamery.

Po zaznamenaní vozidla pristenom na stojisku, technik pomocou mobilného záznamového zariadenia ktoré je určené na používanie informačného systému vyhodnotí snímky identifikačného čísla vozidla VIN, ako aj zobrazenej hodnoty počítadla celkovej prejdenej vzdialenosti a iných požadovaných údajov z vozidla.

2. Identifikácia vozidla a jeho motora

Prevádzkovateľ vozidla pre vykonanie EK predkladá tieto doklady:

- originál osvedčenia o evidencii,

Ak nemá originálny doklad osvedčenia, tak predkladá:

- aktuálnu kópiu osvedčenia o evidencii spolu s platným potvrdením o zadržaní osvedčenia o evidencii vydaným útvarom Policajného zboru,
- výpis z karty vozidla vydaný orgánom Policajného zboru, ak bol doklad vozidla stratený,

Ak má vozidlo dodatočne namontovaný systém alternatívneho pohonu:

- protokol o montáži plynového zariadenia, ak ide o vozidlo s pohonom na LPG (skvapalnený ropný plyn) alebo CNG (stlačený zemný plyn) alternatívnym pohonom alebo duálnym pohonom a ak montáž plynového zariadenia bola vykonaná prestavbou vozidla [13].

Na predložených dokladoch technik skontroluje platnosť a ich relevantnosť. Technik skontroluje identifikačné a evidenčné údaje uvedené na vozidle a tie sa musia zhodovať s údajmi v príslušných predložených dokladoch. V informačnom systéme sa identifikované údaje zaznamenávajú nasledovne:

- značka vozidla, obchodný názov vozidla,
- druh a kategória vozidla,
- typ vozidla, variant, verzia,
- evidenčné číslo vozidla,
- dátum prvej evidencie vozidla (rok výroby),
- dátum prvej evidencie vozidla v SR.
- VIN číslo vozidla, ak vozidlo nebolo vybavené VIN, tak sa uvedie číslo karosérie vozidla,

3. Identifikácia emisného systému

Emisný systém BKAT je nezdokonalený emisný systém:

- zážihového motora, ktorého príprava zmesi nie je riadená v závislosti od obsahu voľného kyslíka vo výfukových plynch a výfuková sústava nie je vybavená zariadením na dodatočné znižovanie škodlivín vo výfukových plynch,
- vznetrového motora, ktorého výfuková sústava nie je vybavená zariadením na dodatočné znižovanie škodlivín v emisiách výfukových plynov.

Emisný systém NKAT je:

- nezdokonalený emisný systém zážihového motora, ktorého príprava zmesi nie je riadená v závislosti od obsahu voľného kyslíka vo výfukových plynch a výfuková sústava vozidla je vybavená zariadením na dodatočné znižovanie škodlivín vo výfukových plynch, alebo
- zdokonalený emisný systém vznetrového motora, ktorého výfuková sústava je vybavená zariadením na dodatočné znižovanie škodlivín v emisiách výfukových plynov alebo SCR alebo systémom filtrácie tuhých znečisťujúcich látok, vrátane NOX katalyzátorov [13].

4. Stanovenie hodnôt kontrolovaných parametrov motora

Pre potreby predloženej publikácie sú spracované postupy resp. stanovenie kontrolovaných parametrov výlučne pre vozidlá so vznetrovým motorom. Čo sa týka spracovania, tak ide o stanovenie hodnôt kontrolovaných parametrov pre vozidlo so vznetrovým motorom pre emisné systémy BKAT, NKAT a NKAT OBD

Pri emisnej kontrole pravidelnej sa stanovujú nasledovné hodnoty:

- Teplota motora

Ak hodnota teploty nie je určená výrobcom vozidla, minimálna teplota oleja, nameraná v mieste uloženia kontrolnej mierky hladiny oleja v motore, alebo teplota chladiacej kvapaliny motora pri odčítaní prostredníctvom OBD je 80 °C. Pre vozidlá kategórií M2, M3, N2, N3, a T sa teplota nestanovuje.

- Voľnobežné otáčky

Rozsah voľnobežných otáčok sa stanoví odpočítaním hodnoty 50 min⁻¹ od dolnej hranice a pripočítaním hodnoty 50 min⁻¹ k hornej hranici tolerančného pásma určeného výrobcom. Ak výrobca určil iba minimálnu hodnotu voľnobežných otáčok, rozsah sa stanoví odpočítaním hodnoty 50 min⁻¹ od minimálnej hodnoty a hornú hranicu tvoria otáčky 1000 min⁻¹.

Ak výrobca určil iba hornú hranicu voľnobežných otáčok, rozsah otáčok sa stanoví pripočítaním hodnoty 50 min⁻¹ k hornej hranici a spodná hranica sa stanoví tak, aby bola nižšia ako sú reálne voľnobežné otáčky. Ak voľnobežné otáčky nie sú výrobcom vozidla určené, voľnobežné otáčky nesmú prekročiť 1000 min⁻¹, pričom spodná hranica sa stanoví tak, aby bola nižšia ako sú reálne voľnobežné otáčky.

Pre vozidlá kategórie T nesmú voľnobežné otáčky prekročiť otáčky hodnotu 1200 min⁻¹. Ak sú najnižšie dosiahnuteľné voľnobežné otáčky vozidla kategórie T vyššie ako 1200 min⁻¹, technik môže požiadať TS EK o špecifický postup. TS EK posúdi vhodnosť použitia špecifického postupu a jeho rozsah. V prípade schválenia špecifického postupu sa táto skutočnosť zaznamená osobitného predpisu do elektronického protokolu. TS EK schválenie špecifického postupu vyznačí v elektronickom protokole [13].

- Maximálne otáčky

Dolnú hranicu rozsahu maximálnych otáčok spaľovacieho motora predstavujú otáčky maximálneho výkonu uvedené v osvedčení o evidencii, alebo určené výrobcom. Horná hranica rozsahu maximálnych otáčok spaľovacieho motora je hodnota maximálnych regulačných otáčok určená výrobcom zvýšená o hodnotu 150 min⁻¹.

Ak výrobca hodnotu maximálnych regulačných otáčok spaľovacieho motora neurčil, tak dolnú hranicu rozsahu maximálnych otáčok predstavujú otáčky maximálneho výkonu určené výrobcom a hornú hranicu rozsahu maximálnych otáčok predstavujú otáčky maximálneho výkonu uvedené v osvedčení o evidencii, alebo určené výrobcom zvýšené o 15 % pri mechanickej väzbe pedála akcelérátora, alebo o 45 % pri elektronickej väzbe pedála akcelérátora, pričom horná hranica maximálnych otáčok nesmie prekročiť hodnotu 5 800 ot.min⁻¹.

Pre vozidlo s automatickou prevodovkou je rozsah maximálnych otáčok rovnaký ako pre vozidlo s mechanicou prevodovkou stanovený podľa bodu 1 alebo 2. Ak pri vozidle s automatickou prevodovkou nie je možné dosiahnuť maximálne otáčky stanovené pre vozidlo s mechanicou prevodovkou, môže byť dolná hranica rozsahu maximálnych otáčok spaľovacieho motora primerane znížená, maximálne však o 1/3 zo stanovenej dolnej hranice maximálnych otáčok podľa bodu 1 alebo 2.

Pri vozidlách vybavených obmedzovačom otáčok, ak technik použije predpis obsahujúci limitné hodnoty vyhodnocovaných parametrov vytvorený administrátorom celoštátneho informačného systému EK (označený ako pracovisko 0000-XXX), môže pokračovať v meraní bez požiadania TS EK o udelenie špecifického postupu.

- Maximálna prípustná hodnota dymivosti „DMAX“

Maximálna prípustná hodnota dymivosti „DMAX“ vozidiel kategórie M a N prvýkrát prihlásených do evidencie vozidiel do 31. decembra 2007, je hodnota vypočítaná súčtom korigovaného súčiniteľa absorpcie „XL“ a hodnoty konštanty 0,5 m⁻¹ (DMAX = XL + 0,5 m⁻¹), pričom sa prioritne použije korigovaný súčiniteľ absorpcie uvedený v osvedčení o evidencii vozidla.

Ak osvedčenie o evidencii korigovaný súčiniteľ absorpcie neobsahuje, použije sa korigovaný súčiniteľ absorpcie uvedený na výrobnom štítku vozidla alebo na samostatnom štítku.

Ak hodnota korigovaného súčiniteľa absorpcie nie je uvedená v osvedčení o evidencii a vozidlo nedisponuje výrobným štítkom vozidla alebo samostatným štítkom s hodnotou korigovaného súčiniteľa absorpcie, maximálna hodnota dymivosti sa stanoví zo servisných informačných dokumentov, alebo zo špecializovaných odborných katalógov. V prípade, ak servisný informačný dokument alebo špecializovaný odborný katalóg obsahuje korigovaný súčiniteľ absorpcie, postupuje sa rovnako ako v prípade, keby bol korigovaný súčiniteľ absorpcie uvedený na výrobnom štítku vozidla alebo na samostatnom štítku.

Ak servisný informačný dokument alebo špecializovaný odborný katalóg obsahuje hodnotu určenej dymivosti, tak hodnota maximálnej dymivosti „D_{MAX}“ sa rovná hodnote určenej dymivosti „D“ ($D_{MAX} = D$, m^{-1}) v príslušnom dokumente. Ak hodnota korigovaného súčiniteľa absorpcie „X_L“ alebo dymivosti „D“ nie je známa ani zo servisného informačného dokumentu alebo špecializovaného odborného katalógu, potom maximálna prípustná hodnota dymivosti „D_{MAX}“ je stanovená vyhláškou

- 4,00 m^{-1} pri vozidle prihlásenom do evidencie do 31. decembra 1979, 3,00 m^{-1} pri vozidle s preplňovaným motorom prihlásenom do evidencie do 31. decembra 2007,
- 2,50 m^{-1} pri vozidle s nepreplňovaným motorom prihlásenom do evidencie do 31. decembra 2007.

Maximálna prípustná hodnota dymivosti „D_{MAX}“ vozidiel kategórie M a N prvýkrát prihlásených do evidencie vozidiel od 01. januára 2008 je zhodná s hodnotou korigovaného súčiniteľa absorpcie „X_L“, uvedeného v osvedčení o evidencii, prípadne na výrobnom štítku vozidla ($D_{MAX} = X_L$, m^{-1}).

Maximálna prípustná hodnota dymivosti „D_{MAX}“ je vyhláškou stanovená:

- 3,00 m^{-1} pri vozidle s preplňovaným motorom prihlásenom do evidencie od 1. januára 2008 do 30. júna 2008,
- 2,50 m^{-1} pri vozidle s nepreplňovaným motorom prihlásenom do evidencie od 1. januára 2008 do 30. júna 2008,
- 1,50 m^{-1} pri vozidle prihlásenom do evidencie od 1. júla 2008,
- 0,7 m^{-1} pri vozidle prihlásenom do evidencie od 1. januára 2015,
- 0,3 m^{-1} pri vozidle prihlásenom do evidencie od 1. januára 2017,

Pre stanovenie maximálnej prípustnej hodnoty dymivosti „D_{MAX}“ je nutné dodržať podmienku výberu najprísnejšej hodnoty dymivosti zo všetkých dostupných zdrojov (osvedčenie o evidencii, výrobný štítek vozidla, špecializovaný servisný alebo odborný katalóg, maximálna hodnota dymivosti stanovená vyhláškou).

- Rozptyl

Maximálna prípustná hodnota rozptylu je 0,5 m^{-1} . Objemová koncentrácia oxidu uhoľnatého na vozidle so vznietovým motorom, ktorý je prestavaný na zážihový motor s pohonom na plynové palivo nesmie prekročiť limit objemovej koncentrácie oxidu uhoľnatého, pre emisný systém motora zistený podľa článku 10, a stanoveného podľa ods. 4 písm. b) alebo ods. 5 písm. b) pre zážihový motor podľa roku výroby pôvodného vznietového motora.

5. Vizuálna kontrola vozidla

Vizuálna kontrola sa vždy vykoná v plnom rozsahu, ak touto kontrolou nie je ohrozená bezpečnosť PEK (ďalej len pracovníka emisnej kontroly) alebo osôb prítomných na PEK. Do elektronického protokolu sa

zaznamenávajú zistené chyby ktoré boli nájdené pri vizuálnej kontrole. Vizuálna kontrola je uskutočnená bez demontáže samostatných jednotiek motora a jednotlivých prvkov kontrolovaného motora, ak inak neurčil výrobca vozidla. Vizuálna kontrola sa hlavne zameriava na kontrolovanie riadneho stavu, úplnosti, funkčnosti, tesnosti systémov, komponentov a samostatných technických jednotiek, ktoré majú vplyv na tvorbu znečisťujúcich látok vo výfukových plynoch. V priebehu vizuálnej kontroly nesmie byť zistený značný únik chladiacej kvapaliny ako aj mazacieho oleja ale aj paliva. Vizuálna kontrola vozidla je tvorená z nasledujúcich krokov:

- Vizuálna kontrola sacej sústavy
- Vizuálna kontrola palivovej sústavy vozidla
- Vizuálna kontrola elektrickej sústavy a zapalovania
- Štartovanie motora a kontrola elektrických indikátorov.
- Vizuálna kontrola výfukovej sústavy
- Vizuálna kontrola vozidla so vznetovým motorom s emisným systémom BKAT a NKAT
- Vizuálna kontrola vozidla so vznetovým motorom s emisným systémom NKAT OBD

6. Kondicionovanie motora

Motor kondicionujeme na prevádzkovú teplotu napr. krátkou jazdou alebo stacionárne, chodom na zvýšené otáčky alebo iným spôsobom ktorý je určený výrobcom vozidla alebo motora. Ak je motor nakondicionovaný na prevádzkovú teplotu či už po jazde vozidla, alebo ak nie je možné dosiahnuť prevádzkovú teplotu ani po opakovanom kondicionovaní, v EK sa pokračuje bez opätovného kondicionovania a stav vozidla sa následne zaznamenáva do elektronického protokolu.

7. Podmienky merania

- Technik pre vozidlo so vznetovým motorom s emisným systémom BKAT, NKAT a NKAT OBD skontroluje a zabezpečí dodržanie nasledovných podmienok:
- Do priemeru vyústenia výfuku 70 mm sa použije odberová sonda č. 1. V prípade väčšieho priemeru vyústenia výfuku ako 70 mm, použije sa odberová sonda č. 2, pokiaľ výrobca vozidla alebo meradla neurčil inak.
- Odberová sonda dymomera musí byť zasunutá do výfukového vyústenia tak, aby bolo zachované jej vhodné umiestnenie, pričom sa musí zabezpečiť maximálne možné zasunutie odberovej sondy do výfukového vyústenia, v závislosti od konštrukčného vyhotovenia odberovej sondy a výfukového vyústenia. Hadica odberovej sondy nesmie mať ostré ohyby a prietok výfukových plynov nesmie byť obmedzený jej škrtením alebo iným spôsobom. Výstup plynov z výfukového potrubia nesmie byť ovplyvňovaný dodatočnými zariadeniami, napr. koncovkou výfuku, alebo vonkajšími vplyvmi napr. nevhodným spôsobom odvádzania (odsávania) výfukových plynov.
- Ak výfukové vyústenie vozidla neumožňuje dostatočné a vhodné zasunutie odberovej sondy do výfukového vyústenia podľa písmena b), alebo výfukové vyústenie je ukončené iným ako štandardným spôsobom, napr. štrbinou, použije sa zariadenie na zjednotenie toku výfukových plynov.
- Pred vykonaním merania musí byť motor nakondicionovaný podľa článku 13.
- Počas vykonávania merania musí byť prevodovka v polohe neutrál, prídavné agregáty odpojené a vozidlo zabrzdené, ak postup merania v špecifických prípadoch nevyžaduje inak.

- Pred vykonaním merania sa minimálne dvakrát vykoná preplachová akcelerácia. Ak výrobca neurčí inak, preplachová akcelerácia sa vykoná rýchlym a nenásilným stlačením pedálu akcelerátora. Pri preplachovej akcelerácii sa dosiahne pásmo vysokých otáčok (viac ako 75 % otáčok maximálneho výkonu). Po ich dosiahnutí sa pedál akcelerátora uvoľní.
- Pred meraním sa načítajú z informačného systému do meradla hodnoty kontrolovaných parametrov stanovené podľa článku 11. Hodnoty kontrolovaných parametrov načítané z informačného systému do meradla, musia prislúchať ku kontrolovanému vozidlu.
- Za dodržanie podmienok merania je zodpovedný technik, ktorý EK vykonáva [13].

8. Meranie

Pred začiatkom merania emisií sa komunikačné zariadenie pripojí k OBD systému vozidla pomocou diagnostického rozhrania a spustí sa komunikácia. Potvrdí sa spárovanie s OBD systémom vozidla. Po spustení komunikácie s OBD systémom vozidla následne komunikačné zariadenie načíta z vozidla:

- teplotu motora,
- status OBD,
- status MIL (Malfunction Indicator Light) ide o kontrolku, ktorá sa zobrazuje na prístrojovom paneli vodiča keď je kľúč v spínacej skrinke v polohe zapnutý. Kontrolka reprezentuje symbol motora a je oranžovej farby - Technik skontroluje činnosť MIL. MIL sa po zapnutí spínača zapalovania musí rozsvietiť a nesmie blikať. Po spustení motora musí MIL zhasnúť, nesmie blikať, alebo trvalo svietiť.

V ďalších postupoch sa kontroluje teplota motora, voľnobežné otáčky, maximálne otáčky. Následne prebieha meranie dymivosti metódou voľnej akcelerácie. Po vykonaní merania systém vyhodnotí priemernú hodnotu dymivosti. Pri vozidlách s emisným systémom NKAT OBD sa posudzuje status MIL, stav chybovej pamäte OBD.

9. Zaznamenanie nameraných hodnôt

Namerané hodnoty sa zaznamenávajú do elektronického protokolu o EK individuálne pre emisné systémy.

10. Vyhodnotenie emisnej kontroly

Po emisnej kontrole sa určí stav vozidla a funkcia jeho jednotlivých systémov, komponentov a samostatných technických jednotiek sa hodnotia nasledovne:

- ľahké chyby – označujú sa písmenom A. Sú to také chyby ktoré nemajú veľký vplyv na životné prostredie a rovnako aj na bezpečnosť a prevádzku vozidla. V tomto prípade je vozidlo spôsobilé na prevádzku po pozemných komunikáciách .
- vážne chyby – označujú sa písmenom B. Sú to chyby ktoré môžu určitý spôsobom ovplyvniť bezpečnosť vozidla ale rovnako aj životné prostredie a zároveň ohroziť iných účastníkov cestnej premávky. Vozidlo je dočasne spôsobilé na prevádzku po pozemnej komunikácii.
- nebezpečné chyby – označujú sa písmenom C. Tieto chyby predstavujú priame a bezprostredné riziko pre bezpečnosť cestnej premávky a majú veľký vplyv na životné prostredie a je dôležité zakázať používanie takého to vozidla v cestnej premávke. V tomto prípade vozidlo je nespôsobilé na prevádzku po pozemnej komunikácii.

11. Zaznamenanie vozidla na výstupe

Po vyhodnotení EK technik zosníma čítačkou čiarového kódu pre výstupnú kameru čiarový kód vygenerovaný v informačnom systéme z elektronického protokolu príslušného vozidla a vytvorí výstupnú snímku vozidla na stojisku. Súčasne s vytvorením snímky, MZZ (monitorovacie záznamové zariadenie) ukončí vytváranie videozáznamu zo vstupnej kamery a videozáznamu a snímok z príslušnej prehľadovej kamery. Uzatvorí sa elektronický protokol kontrolovaného vozidla [13].

Dokladom o vykonávaní pravidelnej emisnej kontroly je:

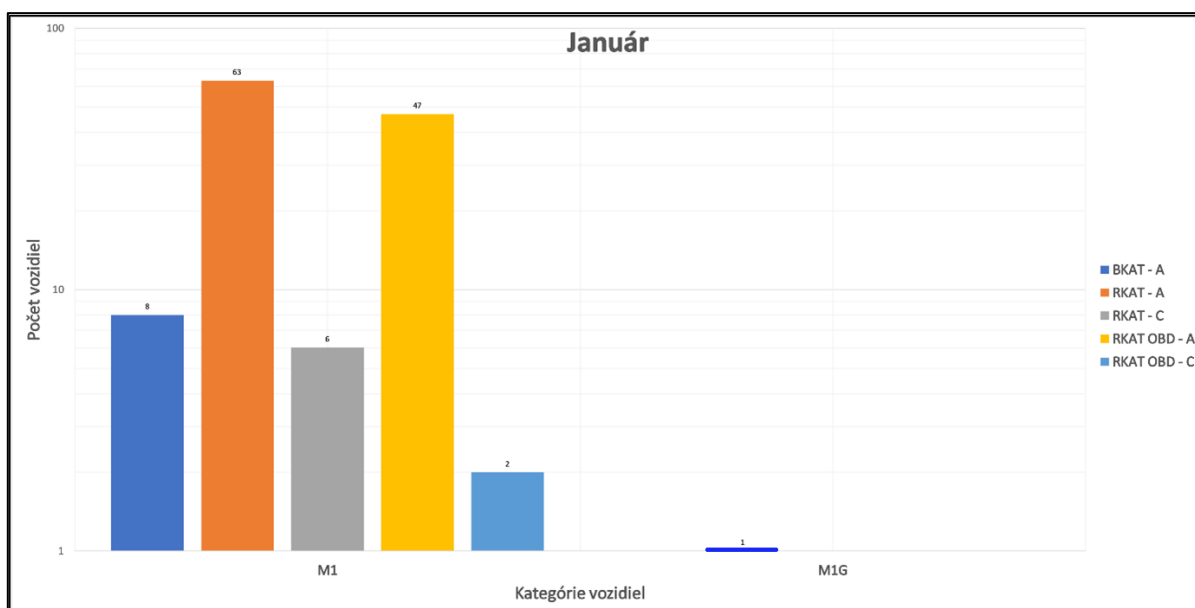
- vyznačený protokol o emisnej kontrole motorového vozidla
- Osvedčenie o emisnej kontrole

4 Spôsob získavania a spracovávania údajov

Údaje potrebné na vpracovanie štatistiky získame zo stanice technickej a emisnej kontroly FREUS s.r.o., ktorá sa nachádza v meste Veľký Krtíš. Každé vozidlo ktoré sa podrobí technickej a emisnej kontrole sa zaznamená do celoštátneho informačného systému technických a emisných kontrol. Z tohto informačného systému si vyfiltrujeme podľa jednotlivých mesiacov vozidlá so zážihovým motorom, vybavené konkrétnym emisným systémom so stupňom jednotlivých chýb označené ako spôsobilé, dočasne spôsobilé, nespôsobilé na premávku na pozemných komunikáciách, prenesieme si ich v elektronickej podobe do systému Microsoft Excel, z ktorého si následne vytvoríme jednotlivé grafy pre vyhodnotenie štatistík. Zaujímajú nás 10 najčastejších ľahkých, vážnych a nebezpečných chýb v jednotlivých mesiacoch ale i za celý rok v sledovanom období.

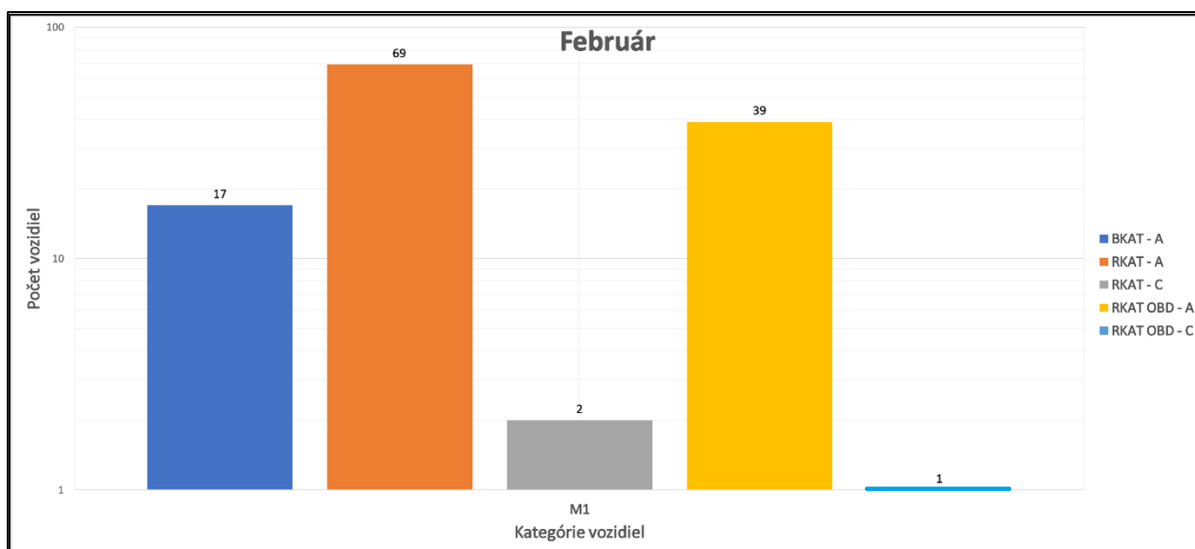
V ďalšej časti výskumu je spracovaná analýza výsledkov emisných kontrol na vybranom pracovisku za celý rok. V grafoch môžeme sledovať počty vozidiel, na ktorých boli zistené chyby, ktoré boli následne priradené do jednotlivých kategórií. Pre účely výskumu budú posudzované vozidlá kategórie M1 a M1G. Vozidlá kategórie M1 sú vozidlá projektované a konštruované na prepravu cestujúcich, najviac s ôsmimi sedadlami okrem sedadla pre vodiča. Pri kategórii vozidiel M1G ide o vozidlá osobné vozidlá kategórie M1 avšak s dodatkom že sú terénne. T znamená že tieto vozidlá musia spĺňať aspoň päť bodov z nasledujúcich požiadaviek.

- predný nájazdový uhol je najmenej 25°,
- zadný nájazdový uhol je najmenej 20°,
- prechodový uhol je najmenej 20°,
- svetlá výška pod prednou nápravou je najmenej 180 mm,
- svetlá výška pod zadnou nápravou je najmenej 180 mm,
- svetlá výška medzi nápravami je najmenej 200 mm.



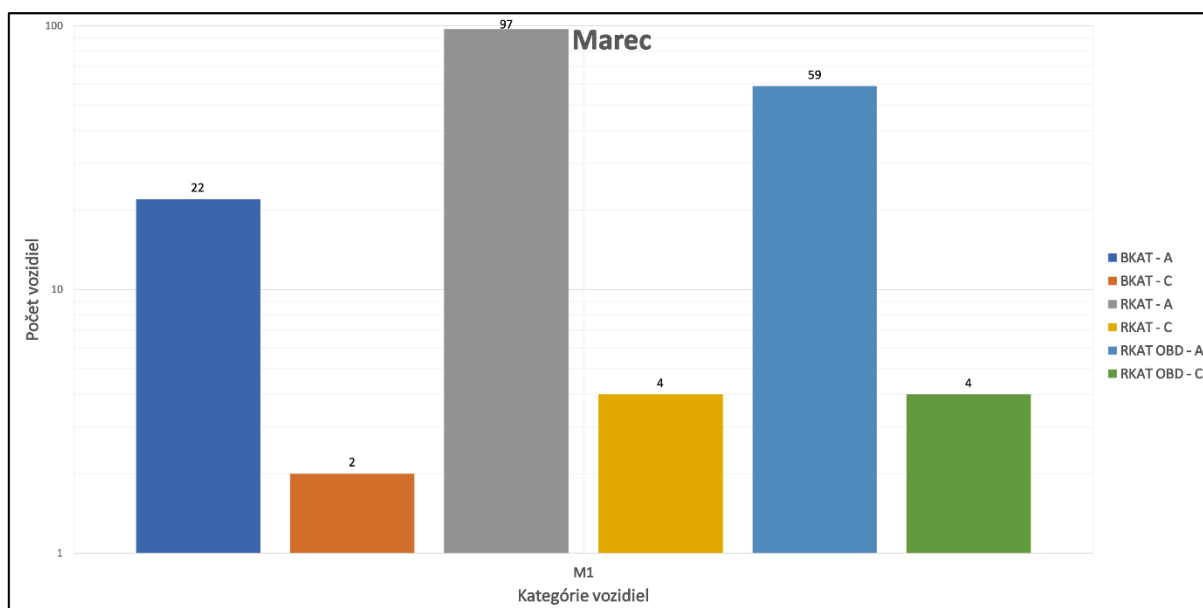
Obrázok 13. štatistika chýb v mesiaci Január

Na grafe obr. 1 sú znázornené chyby jednotlivých emisných systémov z ktorých nebezpečné chyby sme zaznamenali pri emisnom systéme RKAT, RKAT-OBD.



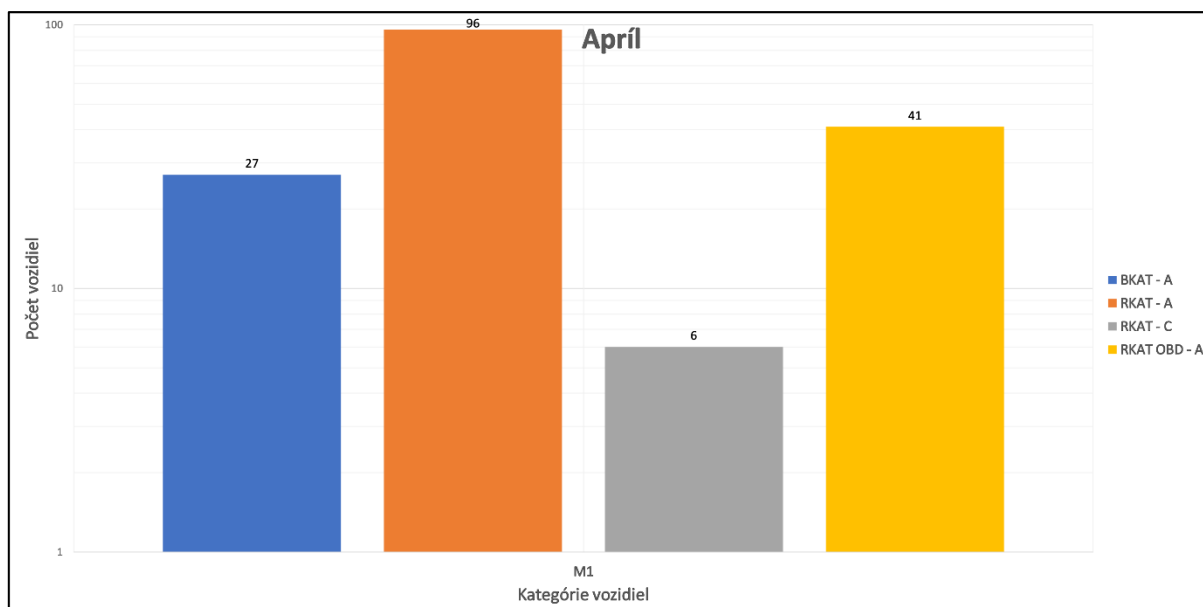
Obrázok 14. štatistika chýb v mesiaci Február

V mesiaci február sme pri vyhodnocovaní štatistiky došli k výsledku, že pri kontrolovaných vozidlách bolo najviac ľahkých chýb z pomedzi všetkých chýb pri emisných systémoch v danom mesiaci. V troch prípadoch boli vozidlá vyhodnotené ako nespôsobilé.



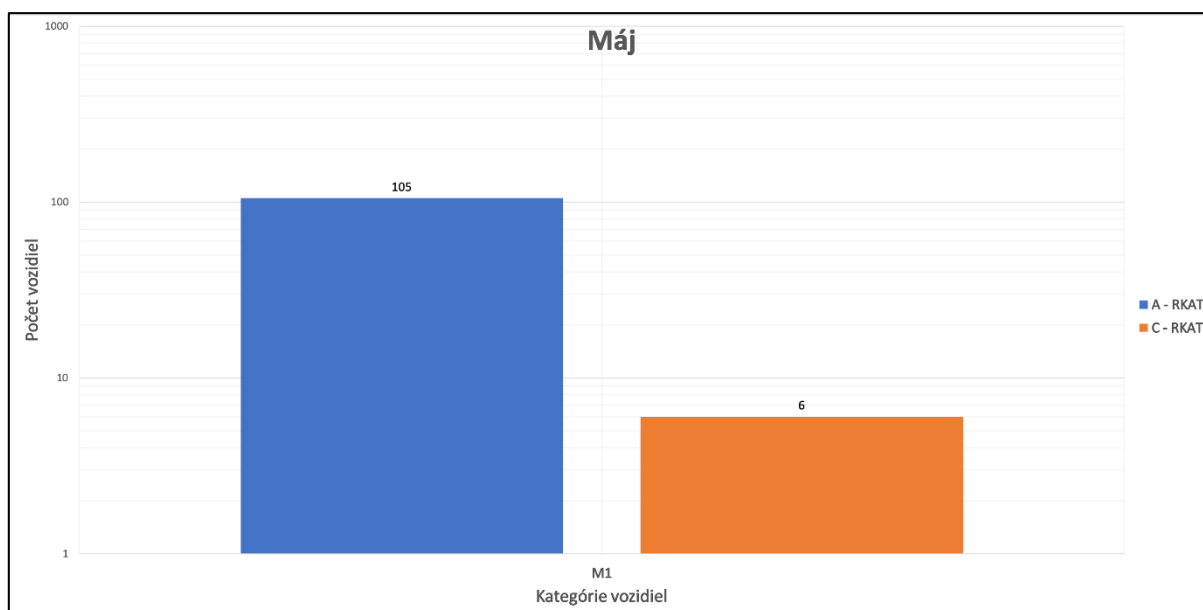
Obrázok 15. štatistika chýb v mesiaci Marec

V mesiaci marec, sme zaznamenali až 97 vozidiel s ľahkou chybou, čo je najviac z pomedzi celého roka vo svojej kategórii A chýb. V jedenástich prípadoch bolo vozidlo vyhodnotené ako nespôsobilé.



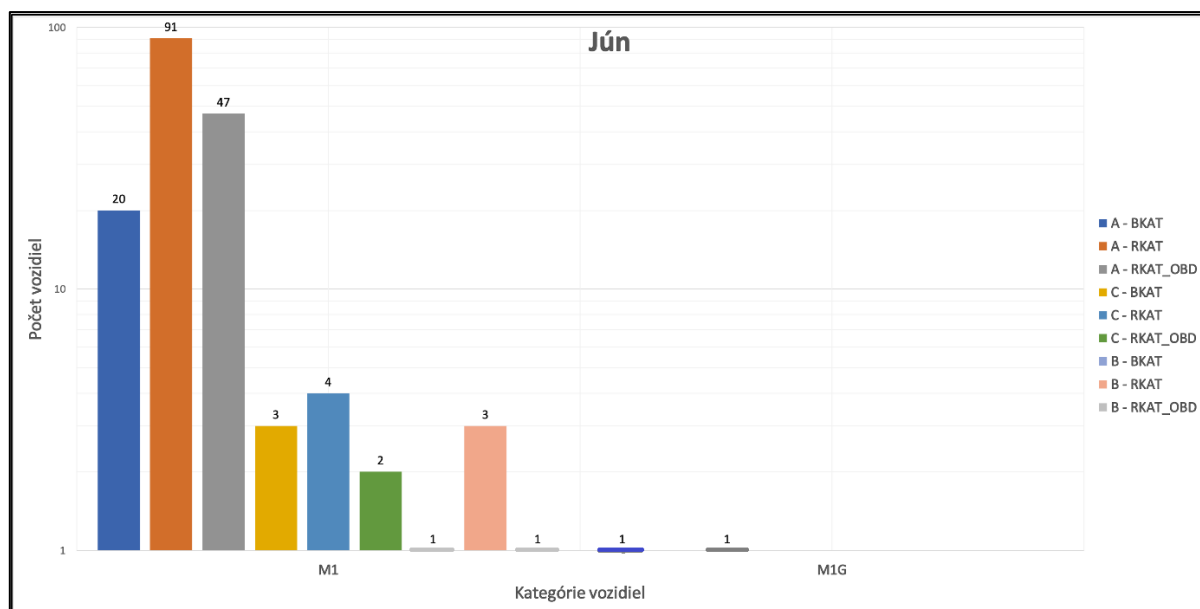
Obrázok 16. štatistika chýb v mesiaci Apríl

V apríli bolo až 96 kontrolovaných vozidiel s emisným systémom s riadeným katalyzátorom vyhodnotené ako spôsobilé s ľahkou chybou.



Obrázok 17. štatistika chýb v mesiaci Máj

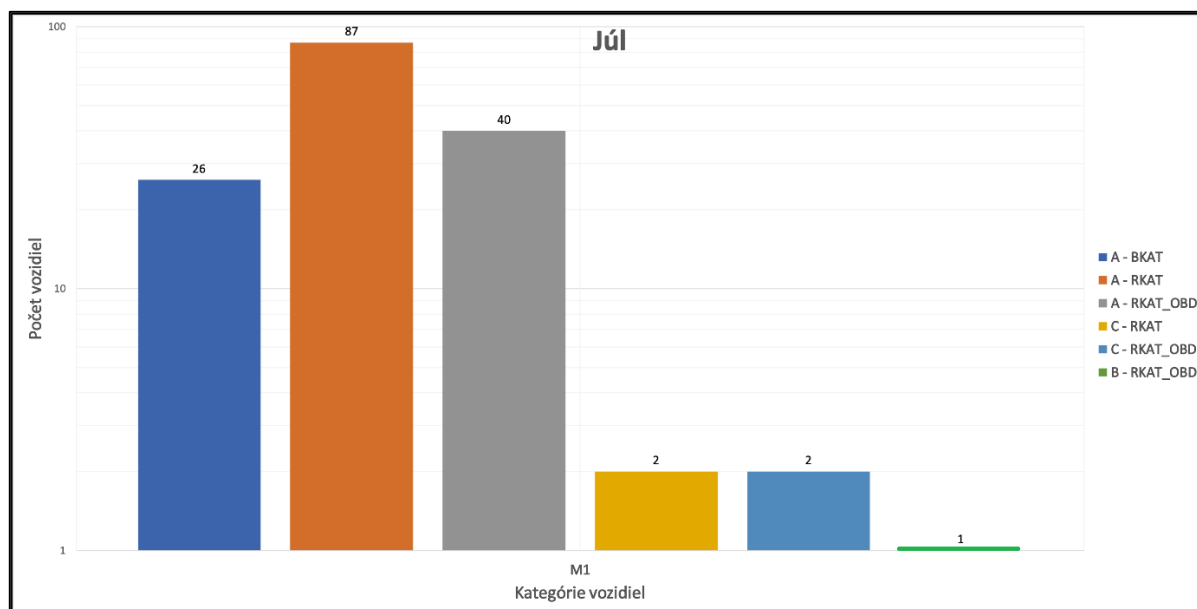
Na grafe obr. 5 vidíme, že pri emisnom systéme s riadeným katalyzátorom 105 ľahkých chýb aj 6 nebezpečných chýb.



Obrázok 18. štatistika chýb v mesiaci Jún

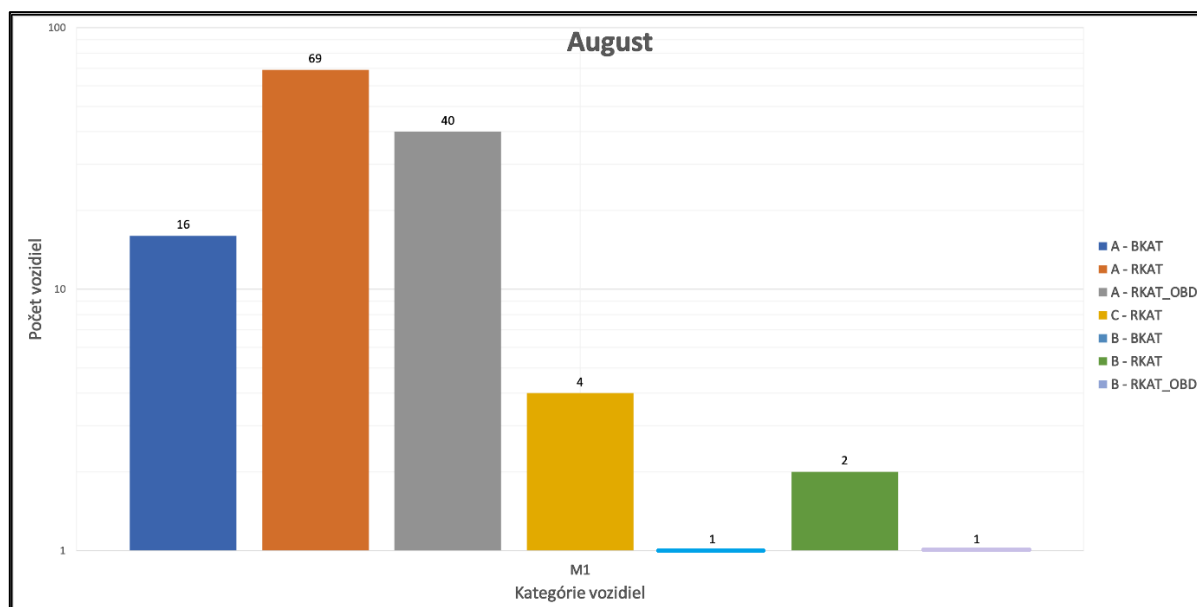
Na grafe obr. 6 vidíme že, v mesiaci jún dominovali chyby ľahkého charakteru, štyri vozidlá s výsledkom dočasne spôsobilé a v siedmich prípadoch bola technická spôsobilosť vozidla na premávku na pozemných komunikáciách vylúčená nebezpečnou chybou na vozidle.

Najčastejšie vyskytovaná chyba pri emisnom systéme BKAT je netesnosť výfukovej sústavy, prípadne uhol zopnutia kontaktov mimo stanovený rozsah, v prípade že vozidlo nie je vybavené bezkontaktným zapáľovaním.



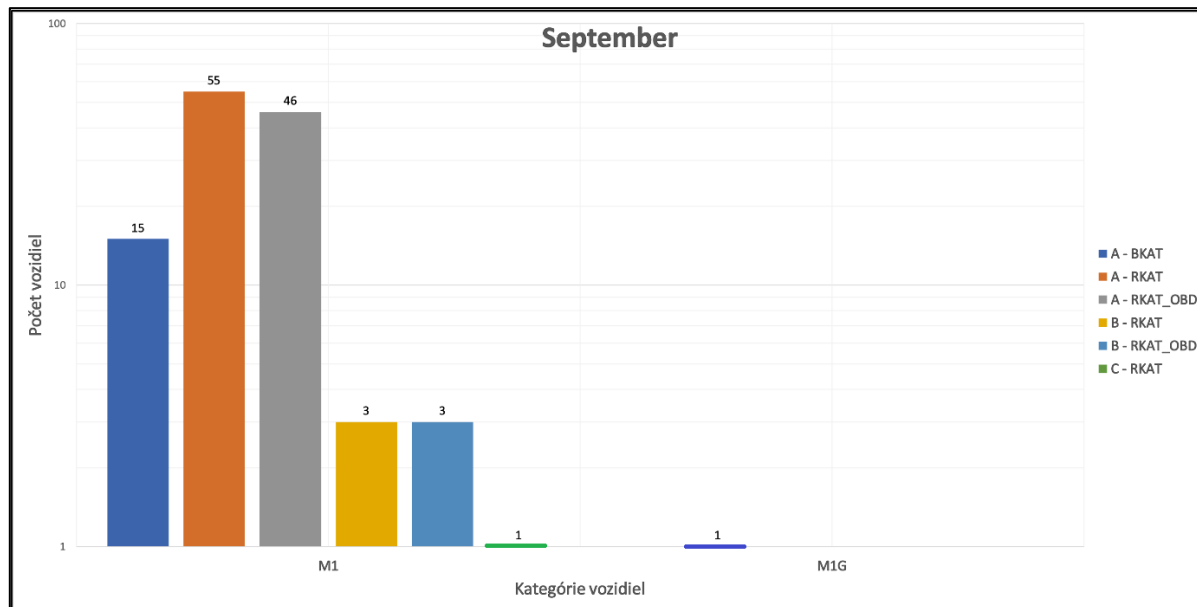
Obrázok 19. štatistika chýb v mesiaci Júl

Na obrázku 7 je možné sledovať pomerane vysoký počet chýb spadajúcich do kategórie A. Zvýšený počet ľahkých chýb môže byť spôsobený neprávny zaznačením údajov pri evidencii vozidla. Väčšina týchto chýb pochádza z čias keď sa ešte technické preukazy vypisovali ručne, sú veľmi časté ľahké chyby, ako nesprávne vypísaná položka v dokladoch od vozidla (jednoznačný preklep).



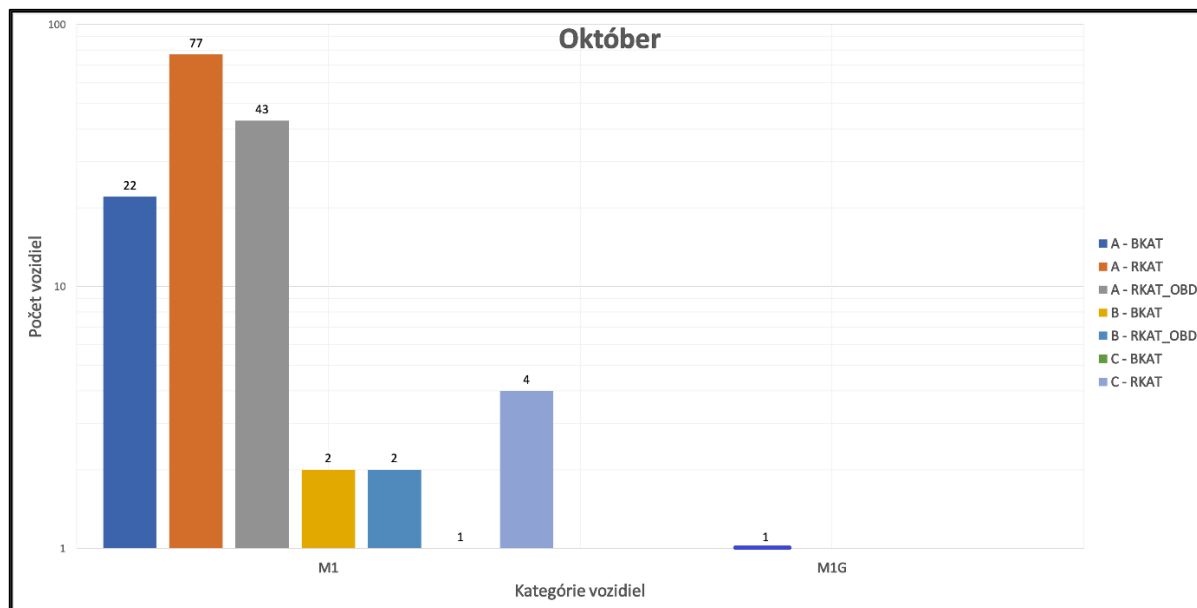
Obrázok 20. štatistika chýb v mesiaci August

V mesiaci August sme zaznamenali 4 nebezpečné chyby pri emisnom systéme RKAT je to 6.1.2.a Neupevnený alebo netesniaci výfukový systém.



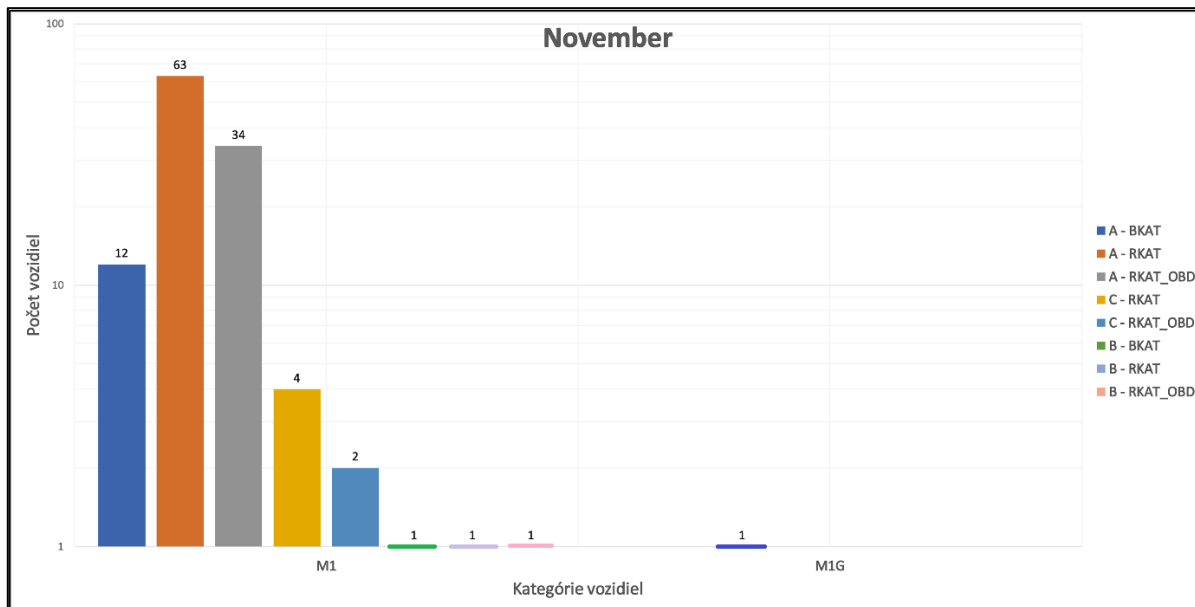
Obrázok 21. štatistika chýb v mesiaci September

Na obr. 9, pri emisných systémoch RKAT OBD je najčastejšou vážnou chybou, že nie je možné nadviazať komunikáciu s palubnou diagnostikou vozidla OBD alebo výskyt chýb P2 a P0 v pamäti chýb.



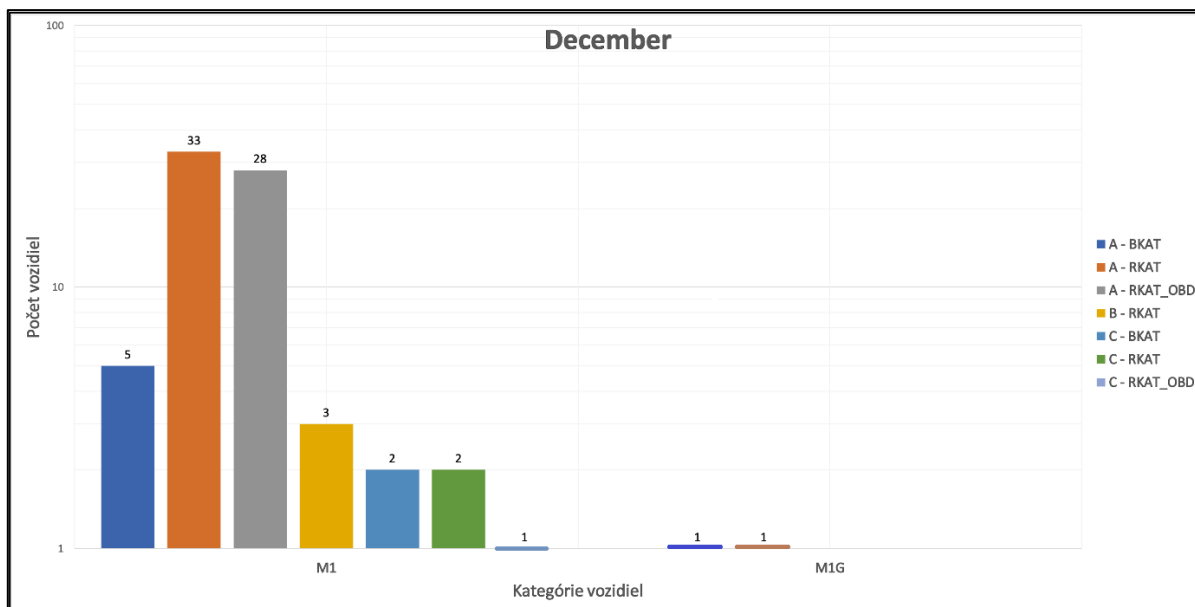
Obrázok 22. štatistika chýb v mesiaci Október

Na grafe obr.10 sme zaznamenali 4 nebezpečné chyby, ktoré sú 8.2.1.2.SK.1 merané parametre mimo stanovený rozsah.



Obrázok 23. štatistika chýb v mesiaci November

Na grafe obr. 11 máme pri emisných systémoch RKAT najčastejšou vážnou chybou hodnoty doplnkových parametrov meraných pri voľnobežných otáčkach mimo stanovený rozsah.



Obrázok 24. štatistika chýb v mesiaci December

V mesiaci december bolo najviac kontrovaných vozidiel s emisným systémom RKAT pri ktorom sa nečastejšie objavovala ľahká chyba ako napr. nízka hladina paliva alebo chladiacej kvapaliny, zakorodované identifikačné číslo motora.

4.1 Odporúčania pre prevádzkovateľov vozidiel

Vozidlo je potrebné na výkon emisnej kontroly pravidelnej dôkladne pripraviť. Odporúča sa vykonať celý rad úkonov, ktoré pri realizácii kontroly uľahčia technikovi priebeh emisnej kontroly a skrátiť čas na odbavenie vozidla na kontrolnej linke. Pred emisnou kontrolou je potrebné aby si prevádzkovateľ vozidla skontroloval stav paliva a či má zátku veka palivovej nádrže. Ďalej či nemá nadmieru opotrebované palivové potrubie a hadice paliva, oleja, kvapaliny a či sú určené pre ropné produkty. Pri elektrickej kabeláži treba upriamiť pozornosť obnaženým častiam káblov, ich trás častokrát vedúcich okolo horúcich, ostrých a rotujúcich častí motora kde je vysoká pravdepodobnosť skratu a následnému vzniku požiaru na vozidle.

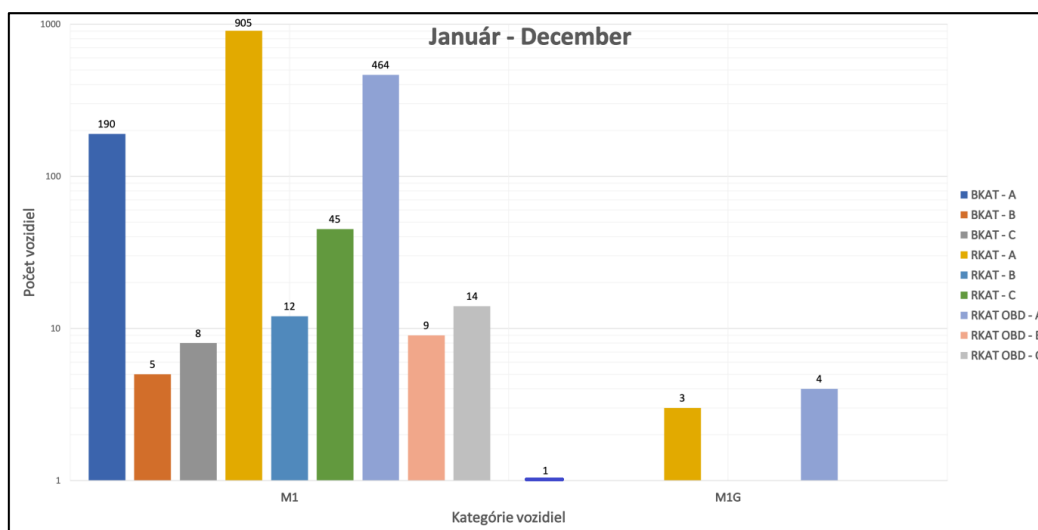
Pred samotnou emisnou kontrolou je potrebná aby motor vozidla mal predpísanú teplotu. Pred samotným meraním je potrebné motor nakondicionovať na prevádzkovú teplotu, najmä v zimnom období.

V neposlednom rade by týmto chceli autori upozorniť prevádzkovateľov vozidiel na fakt, že stanice technických a emisných kontrol nezodpovedajú za škody spôsobené na vozidle pri výkone samotnej technickej a emisnej kontroly. Pri emisných kontrolách sa niekedy stane, že pri dosahovaní výrobcom stanovených emisných limitov môžu nastať neštandardné zvuky na motore, klepot, chvenie, ale i samodeštrukcia motora. Preto je potrebné dbať na to aby prevádzkovatelia používali vozidlo podľa pokynov výrobcu, dodržiavali pravidelné servisné prehliadky a intervaly výmeny prevádzkových náplní. Dodržiavaním správnych postupov a servisných intervalov údržby vozidiel je možné prispieť k vykonaniu emisných kontrol s hodnotením spôsobilé.

5 Záver

Za účelom spracovania výsledkov emisných kontrol za zvolené obdobie boli vyžiadané údaje z meracej stanice. Následne boli tieto údaje štatisticky spracovávané, podrobne sme sa venovali výsledkom emisných kontrol na vozidlách vybavených zážihovým motorom. Štatistické údaje boli získané z vybraného pracoviska stanice technických a emisných kontrol firmy FREUS s.r.o. vo Veľkom Krtíši. Pri spracovávaní výsledkov emisných kontrol sa výskum zameriaval na počet kontrol v jednotlivých mesiacoch s rôznym emisným systémom s výsledkom spôsobilé, dočasne spôsobilé a nespôsobilé. Dosiahnuté výsledky za kontrolované obdobie sme graficky znázornili, podľa jednotlivých mesiacov v roku, kde v každom z nich je vyznačený počet vozidiel s konkrétnymi stupňami chýb.

V ďalšej časti výskumu bol zistený počet vozidiel vybavených zážihovým motorom a následne boli tieto vozidlá rozdelené do kategórii podľa druhu emisného systému na vozidlá bez katalyzátora BKAT, vozidlá s riadeným katalyzátorom RKAT a v poslednom rade na vozidlá s riadeným katalyzátorom so systémom OBD. Následne nato sme skúmali koľko kontrol sa vykonalo na vybranom pracovisku za jeden rok, koľko s výsledkom spôsobilé, dočasne spôsobilé a nespôsobilé.



Obrázok 25. sumárna štatistika chýb za celý sledovaný rok

Z uvedeného grafu na obr. 13 vyplýva, že najviac kontrovaných vozidiel bolo s palivovým systémom RKAT, až 905 vozidiel s ľahkou chybou, kde sa najčastejšie vyskytuje nečitateľný identifikátor typu motora alebo signalizácia minimálneho množstva paliva.

Z celkového počtu 204 kontrolovaných vozidiel s emisným systémom BKAT bolo spôsobilých 93 %, dočasne spôsobilých 3 % a nespôsobilých 4 %.

Ďalej celkového počtu 965 kontrolovaných vozidiel s emisným systémom RKAT bolo 94 % spôsobilých vozidiel, 1 % dočasne spôsobilých a 5 % nespôsobilých vozidiel.

A z celkového počtu 491 kontrolovaných vozidiel s emisným systémom RKAT - OBD bolo spôsobilých 95 %, dočasne spôsobilých 2 % a nespôsobilých vozidiel 3 %.

V praxi to znamená, že najviac kontrolovaných vozidiel sme mali s emisným systémom s riadeným katalyzátorom - RKAT, bolo ich až 965, čo činí až 58 % z celkového počtu prijatých vozidiel vybavených zážihovým motorom.

Tento výskum môže prevádzkovateľom vozidiel alebo autoservisom priblížiť jednotlivé kontrolné skupiny technickej kontroly a na čo zamerať pozornosť v príprave vozidla na výkon emisnej kontroly.

6 Literatúra

- [1] Chen, B., & Kan, H. (2008). Air pollution and population health: a global challenge. *Environmental health and preventive medicine*, 13(2), 94-101. DOI: 10.1007/s12199-007-0018-5
- [2] Krewski, D., & Rainham, D. (2007). Ambient air pollution and population health: overview. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 70(3-4), 275-283. DOI: 10.1080/15287390600884859

- [3] Feng, J., & Yang, W. (2012). Effects of particulate air pollution on cardiovascular health: a population health risk assessment. *PloS one*, 7(3), e33385. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0033385>
- [4] Air pollution, available online: <https://www.eea.europa.eu/sk/themes/air/intro> (cited 25.8.2021)
- [5] Bartram, M. E., & Koel, B. E. (1989). The molecular adsorption of NO₂ and the formation of N₂O₃ on Au (111). *Surface Science*, 213(1), 137-156. DOI: 10.1016/0039-6028(89)90255-0
- [6] Air quality remains a hot topic for many Europeans, available online: <https://www.eea.europa.eu/articles/air-quality-remains-a-hot> (cited 25.8.2021)
- [7] Air quality in Europe, available online: <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2019> (cited 25.8.2021)
- [8] Jereb, B., Stopka, O., & Skrúcaný, T. (2021). Methodology for Estimating the Effect of Traffic Flow Management on Fuel Consumption and CO₂ Production: A Case Study of Celje, Slovenia. *Energies*, 14(6), 1673. DOI: 10.3390/en14061673
- [9] Caban, J. Traffic congestion level in 10 selected cities of Poland. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*. 2021, 112, 17-31. ISSN: 0209-3324. DOI: <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2021.112.2>.
- [10] Panko, J., Kreider, M., & Unice, K. (2018). Review of tire wear emissions: a review of tire emission measurement studies: identification of gaps and future needs. *Non-Exhaust Emissions*, 147-160. DOI: 10.1016/B978-0-12-811770-5.00007-8
- [11] Vyhláška č. 138/2018 Z. z. Vyhláška Ministerstva dopravy a výstavby Slovenskej republiky, ktorou sa ustanovujú podrobnosti v oblasti emisnej kontroly
- [12] Emisná kontrola, dostupné online: <https://www.seka.sk/verejnost/informacie/emisna-kontrola> (cit. 13.10.2022)
- [13] Metodický pokyn EK, dostupné online: https://www.seka.sk/storage/app/media/stranky/legislativa/metodiky/2022/MP_2_2020_plne_znenie_2022.pdf (cit. 13.10.2022)

VÝCHODOSLOVENSKÉ VODNÉ TOKY A ICH POTENCIÁL PRE REKREAČNÚ PLAVBU V POSTCOVIDOVOM OBDOBÍ

Autori:

Jarmila SOSEDOVÁ¹, Artúr LUKÁČ²

Tituly a pôsobisko autorov:

¹doc. Ing. Jarmila Sosedová, PhD., Žilinská univerzita, F PEDAS, Katedra vodnej dopravy, Univerzitná 1, 010 26 Žilina, Slovenská republika, E-mail: jarmila.sosedová@uniza.sk

²Bc. Artúr Lukáč, Žilinská univerzita, F PEDAS, Katedra cestnej a mestskej dopravy, Univerzitná 1, 010 26 Žilina, Slovenská republika, E-mail: lukac48@stud.uniza.sk

Abstrakt: *Východoslovenské vodné cesty, uzatvorené vodné plochy a ich hydrologické podmienky. Možnosť využitia týchto vodných tokov na rekreačnú plavbu. Pravidlá prevádzky plavidiel na vybraných východoslovenských tokoch a uzatvorených vodných plochách. Disponibilná flotila, prepravné relácie, plavebné obdobie, počet prepravených osôb a prepravné výkony. Náčrt možných rozvojových trendov. Cestovný ruch na východnom Slovensku v postcovidovom období a jeho úloha v regionálnom rozvoji najmenej rozvinutých okresov.*

Kľúčové slová: loď, preprava osôb, vodné cesty, uzavreté vodné toky, plavba, cestovný ruch, najmenej rozvinutý okres.

JEL: R41, L91

EAST SLOVAK WATER COURSES AND THEIR POTENTIAL FOR RECREATION NAVIGATION IN THE POST-COVID PERIOD

Abstract: *Characteristics of East Slovak waterways, closed water areas and their hydrological conditions. Possibility to use these watercourses for recreational navigation. Rules of vessel operation on selected East Slovak streams and closed water areas. Available fleet, transport routes, sailing period, number of transported persons and transport performance. Outline of possible development trends. Development of tourism in Eastern Slovakia in the post-covid period and its role in the regional development of the least developed districts.*

Keywords: boat, passenger transport, waterways, closed watercourses, navigation, tourism, least developed district.

1 Úvod

V priebehu vývoja spoločnosti sa cestovný ruch stal neodmysliteľnou súčasťou života ľudí a významným faktorom rozvoja ekonomík väčšiny štátov. Premyslene rozvíjaný cestovný ruch založený na úzkej spolupráci verejného a súkromného sektora, zabezpečuje základné predpoklady svojho rozvoja, t. j.:

- podporuje priateľstvo medzi ľuďmi rôznych štátov a ich lepšie vzájomné porozumenie,
- vytvára podnikateľské príležitosti a zvyšuje zamestnanosť v danej oblasti (región),
- ovplyvňuje rast životnej úrovne obyvateľstva a zlepšuje využívanie voľného času, prostredníctvom účasti na cestovnom ruchu.

Významnú úlohu v rozvoji domáceho a zahraničného cestovného ruchu má doprava. Treba konštatovať, že doprava je jednou z podmienok vzniku a rozvoja cestovného ruchu a zároveň je integrálnou súčasťou komplexu služieb uspokojujúcich potreby účastníkov cestovného ruchu. Jej kvalita ovplyvňuje jednak rozhodovanie zákazníkov o návšteve destinácií a spoluvytvára celkové zážitky z cesty a jednak môže byť kľúčovým faktorom pri rozhodovaní účastníka cestovného ruchu o tom, či sa do danej destinácie vráti alebo nie.

Cestovný ruch pozostáva z troch fáz : cestovanie – pobyt – cestovanie, pričom minimálne dve z týchto troch fáz sú spojené s dopravou. Doprava sa však môže podieľať aj na realizácii tretej fázy, teda fázy „pobyt“. V tomto kontexte ide o špecifické služby cestovného ruchu spojené s funkciou „zážitku“ – jazda na koni, saniach, historických železničiach alebo plavba na výletnej lodi a pod. S ohľadom na zameranie príspevku, potrebu zatraktívnenia konkrétneho regiónu, resp. destinácie, ako aj na potrebu rozvoja voľnočasových aktivít, vystupuje do popredia práve vodná doprava.

Vodná doprava je významnou súčasťou dopravnej sústavy Slovenskej republiky. V súčasnosti zohráva dôležitú úlohu nielen pri zefektívňovaní tovarovej výmeny, ale svoju budúcnosť majú i vodné toky a vodné plochy pre športové a rekreačné využitie. Slovensko v tejto kategórii využitia pôsobí ako „nováčik“ a jestvuje mnoho možností a spôsobov na zlepšenie rekreačného využitia vodných tokov a vodných plôch v kontexte rozvoja cestovného ruchu.

Slovensko sa môže pýšiť dobrou sieťou vodných ciest. Medzi charakteristické vlastnosti týchto riek patrí to, že sú väčšinou meandrovité a neustále menia svoj smer toku. Dno riek je prevažne bahnisté a ílovité. Na východnom Slovensku máme mnoho vodných ciest a vodných plôch, avšak len málo z nich sú splavné, pretože nie sú udržiavané a ich stav nezodpovedá normám pre vnútrozemskú plavbu. Medzi významnejšie východoslovenské rieky patrí Topľa, Ondava, Latorica, Uh, Laborec, Tisa a Cirocha. Tieto rieky sa stávajú súčasťou Čierneho mora, pretože sa postupne spájajú a vytvárajú jeho úmorie. Za najväčšiu rieku spomedzi všetkých východoslovenských tokov sa považuje Bodrog, ktorý spolu so sútokmi odvodňuje najvýchodnejšie územie Slovenska.

Medzi vodné diela nachádzajúce sa na východe Slovenska patria Zemplínska šírava, Veľká a Malá Domaša, Starina, Ružín, Bukovec. Vodné nádrže predstavujú veľký význam pre život, pretože ich využitie je pestré. Tieto vodné diela boli umelo vytvorené človekom, aby slúžili napríklad na zavlažovanie, zásobovanie pitnou vodou, na rybolov, ktorý je povolený v týchto vodných nádržiach a v posledných rokoch vzrastá aj význam v oblasti rekreácie a takisto majú dodnes hydroenergetický a protizáplavový účel.

Plavebné podmienky na jednotlivých riekach sú určené podľa polomerov oblúkov, šírky plavebnej dráhy, plavebnej hĺbky, rýchlosťou toku a prietoku rieky. Tieto podmienky sú premenlivé počas roka a ovplyvňujú nosnosť i obsaditeľnosť jednotlivých plavidiel.

2 Možnosti rozvoja NRO prostredníctvom rekreačnej plavby a vodného turizmu

Ekonomicko-sociálny rozvoj v regiónoch Slovenskej republiky je dlhodobo charakteristický nerovnomerným vývojom a neustálym pretrvávaním medziregionálnych disparít. Vychádzajúc z jestvujúcich hospodárskych rozdielov medzi okresmi a s cieľom aktivizovať lokálnu ekonomiku v menej rozvinutých regiónoch bola v roku 2015 iniciovaná Úradom vlády SR legislatívna úprava [zákon č. 336/2015 Z. z. o podpore najmenej rozvinutých okresov (NRO) a o zmene a doplnení niektorých zákonov] vo vzťahu k ekonomicko-sociálnym opatreniam, ktoré by umožnili cielene riešiť problémy menej rozvinutých regiónov. Podstatnou charakteristikou podpory najmenej rozvinutých okresov je spolupráca medzi vládou Slovenskej republiky, samosprávou a občianskou spoločnosťou vypracovaním Akčného plánu rozvoja najmenej rozvinutého okresu.

Z hľadiska geografického sa NRO rozprestierajú na ploche 9 839,59 km², čo predstavuje cca 20 % celkovej rozlohy SR. NRO patria z administratívneho hľadiska do Banskobystrického (Lučenec, Poltár,

Revúca, Rimavská Sobota, Veľký Krtíš), Prešovského (Kežmarok, Sabinov, Svidník, Vranov nad Topľou) a Košického samosprávneho kraja (Rožňava, Sobrance, Trebišov).

Z pohľadu možného rozvoja NRO prostredníctvom rekreačnej (vyhliadkovej, turistickej, športovej) plavby, disponibilnú infraštruktúru ponúka predovšetkým okres Vranov na Topľou, Michalovce a Trebišov. Vranovský okres sa vyznačuje bohatým prírodným a kultúrno-historickým potenciálom. Najväčšou vodnou plochou v okrese je nádrž Veľká Domaša, ktorá sa v časti nachádza aj v okrese Stropkov. Prostredníctvom jej zmysluplného využitia a skvalitnenie vodného turizmu i rekreačnej plavby na tejto uzatvorenej vodnej ploche možno podporiť ekonomický i sociálny rozvoj NRO Vranov nad Topľou i Stropkov. So zámerom skvalitniť život obyvateľom a zároveň prilákať viac turistov bol zrealizovaný plán na zvýšenie rozvoja michalovského okresu, ktorého jedným z nosných pilierov je zlepšenie využitia potenciálu Zemplínskej šíravy a mesta Michalovce. Zemplín disponuje vzácnou koncentráciou ruín stredovekých hradov, kaštieľmi a inými kultúrnymi pamiatkami, múzeami. Atraktívnou destináciou regiónu je vinohradnícka oblasť Tokaj s koloritom historických vínnych pivníc, tradíciami osláv vinobrania, kultúrnymi folklórnymi podujatiami, ako aj možnosťou atraktívnej plavby po rieke Bodrog.

2.1 Rekreačná plavba na Veľkej Domaši v kontexte rozvoja turizmu NRO

Vodná nádrž Domaša sa nachádza v Ondavskej vrchovine a bola umelo postavená v rokoch 1962 až 1967. Jej účelom je regulácia pitnej a úžitkovej vody, je využívaná na rekreáciu, ale aj ako vodná elektrárňa. Plavba na Domaši je povolená pri danom dostačujúcom vodnom stave a je potrebné sa riadiť príslušnými signálnymi znakmi. Označovanie vodných prekážok a vytyčovanie plavebnej dráhy vykonáva príslušný správca vodného diela. So súhlasom Dopravného úradu, divízie vnútrozemskej plavby, sa uskutočňujú aj jachtárske preteky, ktoré sú známe na celom Slovensku. Malé plavidlá majú povolené sa plaviť celoročne, ak sa na vodnej ceste nenachádza ľad. Pri zamrznutí vodnej hladiny sú majitelia malých plavidiel povinní vytriahnuť svoje plavidlá na breh. Ak to situácia nedovoľuje, tak sú povinní si zabezpečiť svoje plavidlá tak, aby nedošlo k poškodeniu plavidiel a vodnej cesty. Od západu slnka až po východ slnka je plavba povolená výhradne iba vo výtlačnom režime. V zmysle Európskych pravidiel pre plavbu na vnútrozemských vodných cestách – CEVNI musia malé plavidlá niesť nočnú optickú signalizáciu. Po pravej strane vodnej nádrže sa nachádzajú prístaviská Valkov a Dobrá. Na ľavom brehu Domaše sú prístaviská Poľana, Holčíkovce a Nová Kelča. Osobná lodná preprava je povolená, pričom prevádzkovateľ výletnej lode je povinný označiť prístaviská príslušnými signálnymi znakmi. Kapitán lode potrebuje dobre poznať plavebnú dráhu, pretože plavebná dráha nie je presne určená. Rozhodnutím plavebného úradu môže byť povolené zriadenie požičovni malých plavidiel, konanie športových podujatiach a rôznych iných akciách spojených s vodou. Windsurfing a jachting sa môže uskutočňovať na celej vodnej nádrži okrem miest, kde sa nachádzajú zákazové značky. Zakázaná plavba na vodnej nádrži je vtedy, ak sa na vodnej hladine nachádza zákazový znak A.1. Pod kótou 146,2 m.n.m. je minimálna plavebná hladina a nad kótou 162,0 m.n.m. je maximálna plavebná hladina.

Na Veľkú Domašu boli privezené v minulom storočí 4 výletné lode. Prvá výletná loď bola vyrobená v roku 1936 v Berlíne a nazývala sa Dukla. Jej dĺžka bola 11,82 m, šírka 2,77 m a ponor 0,75 m. Privezená bola na Domašu v roku 1966 a bola prevádzkovaná do 80-tych rokov minulého storočia, neskôr bola zošrotovaná. Nasledujúcou výletnou loďou bola loď menom Domaša¹ a prevádzkovaná bola v rokoch 1970-1985. Bol to hydrobus typu 3011. V poradí treťou loďou bola loď Bifa a volala sa tiež Domaša². Prevádzkovaná bola len v období rokov 1988 – 1992, potom bola odpredaná do Českej republiky. Katamarán Domaša³ bol vyrobený v Ruskej federácii a na Domaši bol od roku 1993 až do roku 2006. Loď chýtrala na brehu vodnej nádrže až kým ju nekúpil majiteľ lodnej dopravy na Slňave, ktorý ju zrekonštruoval a od roku 2008 sa plaví pod menom Traján. V roku 2019 sa podarilo obci Kvakovce získať peňažné prostriedky na zakúpenie lode typu Bifa, ktorá sa dovážala z Českej republiky. Jej cesta začala v Prahe a preplávala spolu 3600 km cez 7 krajín. Plavba trvala 24 dní a ukončila sa pri dedine Ladmovce, kde sa vytiahla na breh, následne sa prepravovala 90 km po súši a jej cesta trvala 2 dni. Následne v turistickom stredisku Nová Kelča sa loď spustila na vodu.

2.2 Rekreačná plavba na Zemplínskej šírave v kontexte rozvoja turizmu NRO

Vodná nádrž sa nachádza asi 3 km východne od mesta Michalovce, ktoré je srdcom Zemplína. Zemplínska šírava sa budovala v rokoch 1961 až 1965 a zaujímavosťou je, že pri stavbe vodného diela sa nezatopila ani jedna obec. Je druhou najväčšou vodnou nádržou na Slovensku, jej rozloha je 33 km², dĺžka 11 km, šírka 3,5 km, maximálna hĺbka okolo 16,5 m a priemerná hĺbka cca 9,5 m. Zo severu je obklopená Vihorlatskými vrchmi a z najvyššieho vrchu je nádherný výhľad na celú vodnú nádrž. V lete voda dosahuje teplotu 25°C a v zimnom období vodná hladina zamŕza. Vďaka tomu, že v letnej sezóne je veľa tropických dní a málo dažďových prehánok, je toto vodné dielo využívané hlavne na rekreáciu, rybolov a na kúpanie. Mnoho turistov tu vyhľadáva rôzne vodné športy, napr. jazdu na vodných skútroch, plavbu na výletnej lodi či na plachtenci. Na Zemplínskej šírave sa nachádza sedem rekreačných stredísk – Klokočov, Paľkov, Kamenec, Kaluža, Medvedia hora, Hôrka a Biela hora. Voda do nádrže je privádzaná z rieky Laborec Šíravským kanálom a odvádzaná je Zálužickým kanálom.

Na Zemplínskej šírave sa vystriedalo mnoho lodí. Prvá z lodí, ktorá bola privezená na vodnú nádrž, mala kapacitu 40 osôb a bola vyrobená v roku 1960. Nazývala sa Kijov a pohon mala vznetovým motorom. Nasledujúca loď sa nazývala Laborec a jej kapacita bola 240 osôb. Bol to hydrobus typu 2020 o dĺžke 25,5 m a šírke 4,4 m. Na Šírave bola prevádzkovaná od roku 1968. V roku 1966 sa nachádzal na Šírave ešte jeden Hydrobus typu 3011, ktorý bol prevádzkovaný od roku 1966 až do roku 1992 a názov dostal Vihorlat. Neskôr bol vydražený a zošrotovaný. Od roku 1972 sa na Šírave nachádzala aj loď Zarja. Zaujímavosťou tejto lode bolo to, že kapitánsky mostík sa nachádzal úplne na prope lode. Po dodaní dvoch nových lodí typu BIFA III nemeckej výroby, ktoré mali názov Michalovce a Zemplín, boli prevádzkované od roku 1986. V roku 1994 sa obe nemecké lode predali do Prahy a aj v súčasnosti sa plavia na Vltave pod inými názvami. Posledná loď, ktorá je prevádzkovaná na vodnej priehrade do dnešného dňa je katamarán ruskej výroby, ktorý bol vyrobený v roku 1993 a kapacitu má 60 osôb.

2.3 Rekreačná plavba po vodných tokoch v povodí Bodrogu v kontexte rozvoja turizmu NRO

Povodie rieky Bodrog predstavuje zložitý riečny systém skladajúci sa z piatich hlavných riek (Laborec, Ondava, Topľa, Uh, Latorica,) vzájomne sa stretávajúcich na malom priestore, čo má nepriaznivý dopad na tvorbu veľkých vód a povodňových situácií v tejto oblasti. Z uvedených piatich riek sa len povodia riek Laborec, Ondava a Topľa nachádzajú na našom území. Všetky uvedené rieky pramenia na južných úbočiach východných Karpát, odkiaľ tečú ako bystriny s veľkým spádom, ktorý rýchlo stratia v nížine, do ktorej stekajú. Rieka Latorica priteká na naše územie z Ukrajiny a má celkovú dĺžku 188 km. Horná časť toku dosahuje značný sklon, nad Mukačevom prechádza do nížiny, kde sklon až po ústie postupne klesá. Niekoľko kilometrov nad sútokom s Ondavou priberá veľký pravostranný prítok Laborec. Prítokom Laborca sa doteraz pretiahnutý, zalomený tvar povodia Latorice mení na vejárovitý.

Rieka Bodrog je aj pri najnižšom vodnom stave, t. j. 230 cm bez problémov splavná pre rekreačné plavidlá. Bodrog sa radí medzi jedinú východoslovenskú rieku, na ktorej sa dá plaviť väčšími loďami. Občas sa vyskytnú problémy na slovenskej strane, avšak samotná výška hladiny je dostatočná pre rekreačnú plavbu. Vzduťím vodného diela Tiszaľok v Maďarsku je zabezpečené to, že pod hladinu 230 cm Bodrog neklesne, tzn., že vďaka tejto hĺbke je plavba úplne bezpečná. Vzhľadom na svoju nevelikú šírku sa na rieke nevytvárajú vlny a tak je bez problémov splavná a úplne bezpečná aj pre plavbu na kajakoch či gumených člnoch. Rieka Bodrog je jedinečná na Slovensku tým, že nemá vlastný prameň, vzniká sútokom dvoch riek – Ondavy a Latorice severne od obce Zemplín v okrese Trebišov. Na Slovensku preteká len 15 km a zvyšných 50 km sa nachádza v Maďarsku. Hranicu s Maďarskom pretína pri obci Klin nad Bodrogom, kde sa nachádza aj najnižší položený bod na Slovensku (94,3 m.n.m.). Zaniká v mestečku Tokaj a vlieva sa do rieky Tisa. Následne sa vlieva do Dunaja pri Novom Sade vo Vojvodine v Srbsku. Preprava nákladu a osôb sa dá uskutočniť až do Čierneho mora. Vody Bodrogu spájajú 3 štáty – Ukrajinu, Maďarsko a Slovensko.

Riečny vejár Bodrogu spája najvýznamnejšie toky jeho povodia: Laborec, Ondava, Latorica, Topľa a Uh. Celková dĺžka toku je 281 km, z toho na Slovensku je 161 km. Povodie rieky Bodrog je 11 552 km². Jeho priemerný prietok je 115 m³.s⁻¹, minimálny prietok predstavuje 12,7 m³.s⁻¹ a maximálny prietok až 1007 m³.s⁻¹. Pri hĺbke 350 cm je prietok 82 m³.s⁻¹. Pri hĺbke 495 cm je prietok 160 m³.s⁻¹. Rozdiel medzi najnižším a najvyšším vodným stavom môže byť až 8 metrov. Rieka pri normálnom toku dosahuje rýchlosť 3 km/h. Maximálne rozmery lode, ktoré sa môžu plaviť na rieke Bodrog sú: dĺžka (L) – 70 metrov, šírka (B) – 12 metrov a maximálna povolená rýchlosť 7 km.h⁻¹. Klasifikačná trieda rieky je IV, Va. Vodná cesta je výhľadovo sledovaná.

Plavba je zakázaná ak je vodný stav vyšší ako je hodnota povodňového stavu. Loď nesmie opustiť prístav ak je zamrznutá vodná hladina. Plavba sa zakazuje ak je ľadochod viac ako 30 %. V období zákazu musia byť malé plavidlá vytiahnuté na súš. Väčšie plavidlá musia byť bezpečne vyviazané, resp. zakotvené na vhodnom mieste tak, aby nedošlo k poškodeniu iných plavidiel a vodnej cesty. Správcom vodného toku je SVP š.p. OZ Košice, Správa povodia Bodrogu, Trebišov. CEVNI určujú normy pre značenie plavebnej dráhy pobrežnými signálmi. Plavebné znaky musia byť umiestnené na viditeľnom mieste, a to väčšinou na stavbách a objektoch. Na rieke Bodrog sa nachádza 15 tabúl, ktoré označujú riečny kilometer.

Na rieke sa nachádzajú plastové móla určené pre kajakárov a pre malé člny. Pre pristanie väčších lodí na slovenskej časti slúžia dva prístavy:

- nákladný prístav pri Ladmovciach – r.km 57 (PB) – breh rieky je vybetónovaný tak, aby sa veľká nákladná loď mohla pristaviť k brehu a odtiaľ sa vykladala alebo nakladala,
- osobný prístav v Strede nad Bodrogom – r.km 55,15 – mólo (prístav) je dlhé asi 60 metrov a v minulosti sa využívalo ako vlečné plavidlo.

Na maďarskom úseku je k dispozícii väčší počet prístavov pre malé plavidlá, ale aj pre väčšie lode.

Ponor plavidiel musí vyhovovať plavebným hĺbkam, ktoré sú ovplyvnené aktuálnym stavom vodných ciest. Dopravný úrad, ktorý zohľadňuje aktuálne plavebné podmienky, povoľuje jednorazovú plavbu plavidiel, ktoré majú dĺžku viac než 70 m a šírku viac ako 12 m.

Plavba môže byť uskutočnená iba v tom prípade, ak je posádka v plnom počte a majú plnú odbornú spôsobilosť. Plavidlá musia byť z technického a prevádzkového hľadiska v bezchybnom stave a musia mať lodné listiny podľa príslušných platných predpisov. Povinnosťou vodcov plavidiel je, aby sa v dostatočnom predstihu informovali o plavebných pomeroch na danom úseku vodnej cesty a hlavne o plavebných hĺbkach. Vodcovia plavidiel sú povinní zohľadňovať plavebné signály, ktoré sú osadené v zmysle CEVNI, a to v prípade plavby, ale aj počas státia na danom úseku Bodrogu. Dopravný úrad na žiadosť povodňových orgánov má povinnosť informovať o hydrometeorologických podmienkach, ktoré zakazujú, prerušujú alebo obnovujú plavbu. Plavidlá, ktoré nespádajú do kategórie malé, majú plavbu povolenú len počas dňa, od východu slnka až do jeho západu.

Plaviť sa je možné len v prípade, ak je viditeľnosť viac ako 200 metrov, výnimku majú malé plavidlá bez motorového pohonu. Malé plavidlá (do 20 m, do 12 osôb), ktoré chcú uskutočniť nočnú plavbu, musia byť len vo výtlačnom režime a musia niesť nočnú optickú signalizáciu podľa nariadenia CEVNI. Ak sú vodné stavy väčšie ako 495 cm na vodočte Streda nad Bodrogom, potom musí byť plavba zastavená.

Rieka Ondava pramení v obci Ondávka pod Nízkymi Beskydami asi 2 km od poľských hraníc v nadmorskej výške 550 m.n.m. Rieka má dĺžku 125 r.km a je ôsmou najdlhšou riekou Slovenska. Tečie naprieč celým východným Slovenskom zo severu na juh a postupne sa na ňu napájajú rieky Lodomirka, Chotčianka, Ofka, Topľa a Trnávka. Ondava preteká cez geomorfologické celky Ondavská vrchovina, Beskydské predhorie, Východoslovenská pahorkatina a Východoslovenská rovina. Plochu povodia má 3380 km², priemerný prietok je 22,9 m³.s⁻¹, minimálny prietok má 1,49 m³.s⁻¹ a maximálny prietok predstavuje 772 m³.s⁻¹. Na celom úseku rieky sú osadené 4 vodočty (hladinomery) a vodočetné late, ktoré merajú hladinu rieky. Prvá vodomerná stanica, ktorá meria vodný stav, sa nachádza v meste Svidník, druhá pri obci Miňovce, v poradí tretia v Hencovciach a posledná v Horovciach. Ondavu možno rozdeliť podľa obtiažnosti na 3 úseky – horný, stredný a dolný. Pre väčšie plavidlá Ondava nie je vyhovujúca, pretože hladina vody je nízka a tak isto aj šírka rieky nie je dostatočne široká. Horný úsek vodného toku nie je splavný ani kajakmi a malými člmi. Stredný tok rieky je splavný kajakmi na jar alebo po väčších dažďoch. Hĺbka na vodočte

(Svidník) musí byť aspoň 90 cm a viac, aby bolo možné sa plaviť od úseku zo Stropkova. Dolný úsek Ondavy sa dá splavovať celoročne. Hĺbka na vodočte (Hencovce) musí byť viac ako 158 cm. Ak hĺbka je vyhovujúca, tak je možné sa plaviť od Slovenskej Kajni.

Rieka Laborec sa rozprestiera na východnom Slovensku a považuje sa za 10. najdlhšiu rieku Slovenskej republiky. Je to vďaka jeho dĺžke, ktorá predstavuje 132,5 km. Pre Laborec je charakteristické, že je braný ako symbol Zemplína s tým, že preteká cez takmer celé územie tohto regiónu. Z hľadiska rozlohy jeho povodia je Laborec umiestnený na 5. mieste pri porovnaní slovenských riek. Povodie zaberá 4522,5 km². Priemerný prietok predstavuje hodnotu 54,5 m³.s⁻¹, maximálny prietok dosahuje hodnoty 457 m³.s⁻¹ a minimálny prietok bol zaznamenaný s hodnotami 0,49 m³.s⁻¹. Z hľadiska rekreácie je Laborec pomerne dobre splavná rieka. V úseku od Strážskeho až po ústie Laborca je plavba povolená celoročne a tento úsek je vhodný aj na nenáročnú vodnú turistiku. V úseku od Radvane nad Laborcom po Humenné a pokračovaním až do Strážskeho sa možno plaviť cez vodácky najzaujímavejšiu časť. Na splavenie je potrebné minimálne 80 cm na vodočte v Koškovciach. Pri splave z mesta Humenné je potrebné, aby vodná hladina dosiahla minimálne 125 cm na vodočte Humenné. V blízkosti rieky sa nachádzajú požičovne lodí, ktoré zabezpečujú rôzne výpravy na rieke Laborec, ale aj Ondava.

Latorica, podobne ako Uh pramení na Ukrajine vo východných Karpatoch v geomorfologickom celku Polonyns'kyj chrebet. Na naše územie vstupuje na Východoslovenskej rovine na rozhraní katastrálnych území obcí Ptruksa a Boľany. Najprv tečie severozápadným smerom, južne od obce Čičarovce sa stáča na západ a približne od sútoku s Laborcom (95,0 m n. m.) pokračuje na juhozápad. S Ondavou sa spája severovýchodne od obce Zemplín (94,5 m n. m.) a ďalej pokračuje ako Bodrog. Má celkovú dĺžku 188 km, odvodňuje územie s plochou 7 700 km², pričom na území Slovenska meria 38 km a plocha povodia je 2 486 km². Maximálny prietok rieky je 483 m³.s⁻¹, minimálny prietok je okolo 2,6 m³.s⁻¹ a priemerný prietok predstavuje hodnotu okolo 86,8 m³.s⁻¹. Je využiteľná na rekreačnú a turistickú plavbu malými plavidlami.

2.4 Plavby po Bodrogu v období rokov 2014 – 2022

Od svojho uvedenia do prevádzky v roku 2008 až po vyradenie a odpredanie firma Lumix Trade vykonala s loďou LX-ARTUR celkovo viac ako 225 plavieb. V roku 2008 bolo realizovaných 20 plavieb. V roku 2009 spoločnosť Lumix Trade zabezpečila 34 plavieb, čo medzioročne predstavovalo nárast o 70 %. V roku 2010 bolo uskutočnených 35 plavieb, čo predstavuje medzioročný nárast o cca 3 %. V roku 2011 LX-ARTUR vykonala 42 plavieb, čo v percentuálnom vyjadrení znamená nárast o 20 %. V roku 2012 s týmto plavidlom spoločnosť Lumix Trade realizovala 51 plavieb, čo medzioročne znamená nárast o viac ako 21 percent. Index rastu 2012/2008 činí 2,55.

Na základe vyššie uvedeného možno konštatovať, že od roku 2008 sa firme Lumix Trade postupne zvyšovali výkony v podobe počtu zrealizovaných plavieb loďou LX – ARTUR. O tento priaznivý trend sa výraznou mierou pričinil zdvorilý prístup personálu lode k cestujúcim a kvalita služieb nimi poskytovaných. Prevádzkovateľ plavidla sa snaží trvalo zachovávať si svoje dobré meno a preto nevyužíva platenú reklamu, ale reklamu, ktorá sa šíri ústnym podaním medzi zákazníkmi na základe osobných pozitívnych skúseností jednotlivých účastníkov plavby.

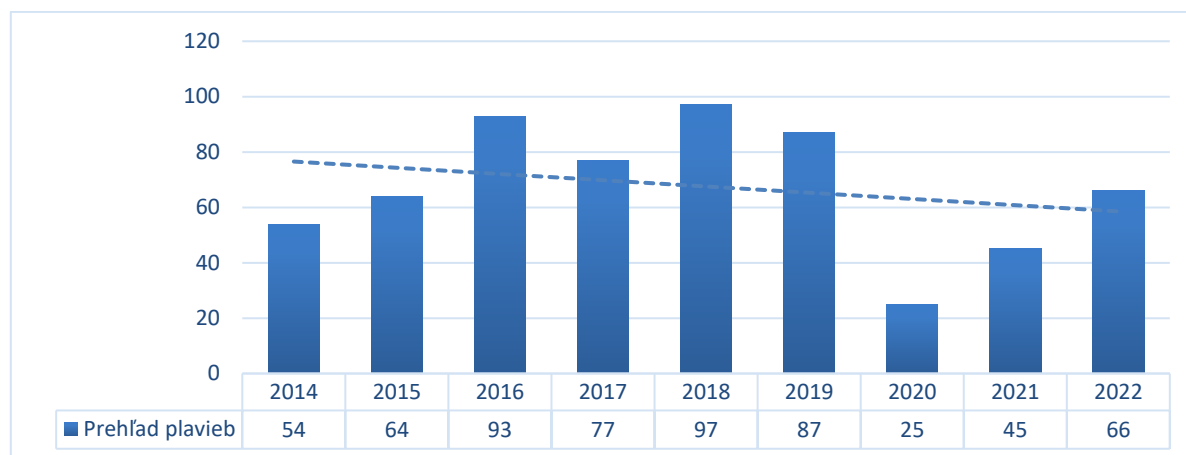
V štruktúre prepravovaných osôb dominovali deti – školské výlety, ale aj rodiny s deťmi a seniori. Veľkej obľube sa plavby realizované loďou LX ARTUR tešili nielen medzi domácimi, ale aj zahraničnými návštevníkmi, predovšetkým z Maďarska, Česka a Poľska.

Od uvedenia do prevádzky lode LX-FLORA v roku 2014 bolo týmto plavidlom po rieke Bodrog vykonaných viac než 600 plavieb. V roku 2014 spoločnosť Lumix Trade zabezpečila 54 plavieb, v roku 2015 to už bolo o 10 viac, čo predstavuje medzioročný nárast o 18,5 %. V roku 2016 loď LX – FLORA podnikla 93 plavieb, čo predstavuje nárast oproti predchádzajúcemu roku o 29 plavieb, t.j. o 45 %. V roku 2017 bol zaznamenaný mierny pokles (o cca 18 %) počtu realizovaných plavieb na Bodrogu spoločnosťou Lumix Trade zapríčinený poveternostnými podmienkami. V roku 2018 bol s loďou LX – FLORA uskutočnený rekordný počet plavieb, t.j. 97, čo predstavuje medzioročne nárast o viac ako štvrtinu. V roku 2019 firma Lumix Trade loďou Flora vykonala 87 plavieb, čo oproti predchádzajúcemu roku predstavuje mierny pokles (o cca 10 %), ale aj tak ho možno považovať na základe predchádzajúceho vývoja za nadpriemerný výkon.

Index rastu 2019/2014 predstavuje hodnotu 1,61. V roku 2021 bolo realizovaných 45 plavieb. V roku 2022 loďou Flora bolo vykonaných 66 plavieb.

V štruktúre prepravovaných osôb dominovali seniori. Veľkej obľube sa plavby realizované loďou LX – FLORA tešili nielen medzi tuzemskými, ale aj zahraničnými návštevníkmi, predovšetkým z Maďarska, Česka, Poľska, ale aj Rakúska a Spojených arabských emirátov.

V tomto kontexte možno konštatovať, že od roku 2014 sa v zásade počet plavieb každoročne zvyšoval až po rok 2020, kedy celý svet zasiahla pandémia COVID-19. Výrazne to postihlo ekonomiku Slovenska a aj turizmus. Plavby sa zrušili, pretože sa uzatvorili hranice medzi Slovenskom a Maďarskom, čo negatívne ovplyvnilo trend vývoja počtu plavieb realizovaných loďou LX – FLORA zobrazený na obr. 1.



Zdroj: Vlastné spracovanie

Obr. 1: Vývoj počtu plavieb za obdobie rokov 2014 – 2022

V roku 2021 firma Lumix Trade obstarala 100-miestnu dvojmotorovú loď maďarskej výroby a pomenovala ju LX – DÁŠA. Loď po rekonštrukcii exteriéru i interiéru bola uvedená do prevádzky v júli tohto roku. Na svoju prvú plavbu sa vydala 5.7. 2022 z prístavu Streda nad Bodrogom s 95 cestujúcimi na palube. Takže od roku 2022 prevádzkuje Lumix Trade 2 lode o kapacite 153 osôb (Obr. 2). Posádka lodí vzrástla zo 4 na 8 osôb. Pribudli traja lodníci a jedna stewardka. LX – FLORA obsluhuje 1 kapitán, 1 lodník a 1 steward, LX – DÁŠA obsluhuje 1 kapitán, 2 lodníci a 2 stewardky. Obidve lode sú vybavené kamerovým systémom a alarmom.

Najmenej rozvinuté okresy Slovenska disponujú geologickým, historickým, archeologickým, ekologickým a kultúrnym potenciálom. Ich kľúčovým problémom optikou cestovného ruchu je však nedostatočné využitie tohto potenciálu, ktorý pociťujú všetci zainteresovaní aktéri. V samosprávach sa prejavuje nízkymi príjmami do miestnych rozpočtov, podnikateľom v odvetví generuje nízke zisky a domácim obyvateľom poskytuje len malý počet pracovných príležitostí v sektore služieb CR. Napriek nepopierateľnému turistickému potenciálu sa NRO chronicky nedarí pritiahnuť dostatočný počet turistov. MDV SR sa pokúsilo identifikovať príčiny aktuálneho nepriaznivého stavu odvetvia v týchto okresoch a vymedziť oblasti, ktoré sú príčinami stagnácie a zároveň môžu poslúžiť na udanie smeru budúceho rozvojového úsilia.

Spoločným menovateľom týchto odporúčaní je nevyhnutnosť vytvorenia a realizácie ucelenej turistickej ponuky na vymedzenom území, ktorá by napomohla dotvoriť komplexnosť produktu cestovného ruchu v najmenej rozvinutých okresoch. V tomto zmysle treba za rozhodujúce považovať vytvorenie konceptu modelu destinácie s druhovo komplementárnou a objemovo vyváženou turistickou ponukou vzájomne sa podporujúcich, vyvážených a nadväzujúcich služieb na uspokojovanie potrieb a očakávaní jednotlivých cieľových skupín návštevníkov.

Zostavenie takejto turistickej ponuky spočíva v spojení najsilnejších stránok destinácie (vyplývajúcich z analýzy SWOT) do komplexných produktov CR. V tomto kontexte jedným z možných riešení s cieľom podporiť a rozvinúť cestovný ruch NRO je i systematický proces skvalitňovania a rozširovania ponuky služieb vodného turizmu – ako integrálnej súčasti „turistického balíka“ – prostredníctvom ďalšieho rozvoja rekreačnej, turistickej a športovej plavby na Veľkej Domaši, Zemplínskej šírave, Bodrogu a vodných tokoch v jeho povodí.



Zdroj: Bc. Artúr Lukáč

Obr. 2: Lode LX – FLORA a LX – DÁŠA v prístave Sárospatak

3 Literatúra

- [1] FILOVÁ, E., SOSEDOVÁ, J.: Vodná doprava ako podmieňujúci faktor a nástroj rozvoja turizmu Medzibodrožia. In: *Perner's Contacts*. Roč. 4, č. 1 (2009), s. 101-118, ISSN 1801-674X.
- [2] FILOVÁ, E., LEDNICKÝ, M., SOSEDOVÁ, J.: Water transport in the context of tourism development. In: *TRANSCOM 2011: 9-th European conference of young research and scientific workers*. Žilina, June 27-29, 2011, Žilina: University of Žilina, 2011, s.49-53, ISBN 978-80-554-0369-4.
- [3] HEJHALOVÁ, B., SOSEDOVÁ, J.: Cestovný ruch ako nástroj regionálneho rozvoja. In: *Globalizácia a jej sociálno-ekonomické dôsledky '11, zborník z medzinárodnej vedeckej konferencie*: Rajecké Teplice 4.-5. október 2011, Žilina: Žilinská univerzita, 2011, s.151-155, ISSN 1336-5878.
- [4] LUKÁČ, A.: Rekreačná plavba na východoslovenských vodných cestách a uzatvorených vodných plochách: bakalárska práca. Žilina: Žilinská univerzita v Žiline, 2021, 64 s.
- [5] SOSEDOVÁ, J.: Transport and tourism in the post COVID-19 era. In: *Acta Logistica Moravica*. Roč. 12, č. 1 (2022), s. 21-31, ISSN 1804-8315.
- [6] [akcny_plan_rozvoja_okresu_vranov_nad_toplou.pdf \(gov.sk\)](#)
- [7] [akcny_plan_trebisov_v_zneni_dodatku_c__3.pdf \(gov.sk\)](#)

- [8] Plavebné opatrenie č.70/2014 ktorým sa určujú pravidlá prevádzky plavidiel na vodnej ceste Bodrog [PO70-2014 \(nsat.sk\)](#)
- [9] Plavebné opatrenie č. 6/2010 ktorým sa určujú podmienky prevádzky plavidiel na UVC VD Domaša [0079 - PO06 - KE-Domaša \(nsat.sk\)](#)
- [10] Plavebné opatrenie UVC č. 71/2015, ktorým sa určujú podmienky prevádzky plavidiel na UVC VN Zemplínska Šírava [PO71-2015 - UVC \(nsat.sk\)](#)

PodĎakovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: *Identifikácia a možnosti implementácie nových technologických opatrení v doprave pre dosiahnutie bezpečnej mobility v čase pandémie spôsobenej ochorením COVID-19* (kód ITMS: 313011AUX5), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

REKONŠTRUKCIA NEHODOVÉHO DEJA – VOZIDLO A CHODEC

Autori:

Eduard KOLLA¹, Ľudmila MACUROVÁ², Ján ONDRUŠ³, Katarína MALINOVÁ⁴

Tituly a pôsobisko autorov:

¹ doc. Ing. Eduard KOLLA, PhD., Žilinská univerzita v Žiline, Ústav znaleckého výskumu a vzdelávania. Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, Slovensko. E-mail: eduard.kolla@uzvv.uniza.sk

² Ing. Ľudmila MACUROVÁ, PhD., Žilinská univerzita v Žiline, Ústav znaleckého výskumu a vzdelávania. Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, Slovensko. E-mail: ludmila.macurova@uzvv.uniza.sk

³ doc. Ing. Ján ONDRUŠ, PhD., Žilinská univerzita v Žiline, fakulta PEDAS, Katedra cestnej a mestskej dopravy. Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, Slovensko. E-mail: jan.ondrus@fpedas.uniza.sk

⁴ Ing. Katarína MALINOVÁ, Žilinská univerzita v Žiline, Ústav znaleckého výskumu a vzdelávania. Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, Slovensko. E-mail: katarina.malinova@uzvv.uniza.sk

Abstrakt: V súčasnosti sa často stretávame so zvyšujúcimi sa štatistikami dopravnej nehodovosti, kde sú účastníkmi najmä chodci a vodiči cestných motorových vozidiel. Tieto dopravné kolízie chodcov s vozidlami vznikajú v rôznych konfiguráciách a najčastejšie sú spojené s nerešpektovaním pravidiel cestnej premávky. V rámci znaleckého dokazovania je základným podkladom pre analýzu dopravných nehôd zadokumentovanie miesta dopravnej nehody, kde vozidlá a iní účastníci cestnej premávky zanechávajú rôzne stopy. Napríklad podľa rozsahu a charakteru škôd na vozidlách a podľa zranení účastníkov je možné určiť charakter zrážky a približnú nárazovú rýchlosť vozidla. Príspevok sa zaoberá analýzou nehodovej udalosti v konfigurácii vozidlo Peugeot 2008, vozidlo Mercedes Benz a chodkyňa, ktorá sa stala v intraviláne obce, na geometricky komplikovanej križovatke. Okrem grafickej analýzy priebehu dopravnej nehody v simulačnom programe PC-Crash (ver. 13.1) sa posudzuje aj technika jazdy vodičov a pohybu chodkyne. Zároveň sa zisťujú možnosti odvrátenia dopravnej nehody zo strany jednotlivých účastníkov cestnej premávky.

Kľúčové slová: analýza, dopravná nehoda, chodec, simulácia, vozidlo.

JEL: klasifikácia článku podľa JEL

THE ROAD TRAFFIC ACCIDENT RECONSTRUCTION - VEHICLE AND PEDESTRIAN

Abstract: Nowadays, we often encounter increasing traffic accident statistics, where the participants are mainly pedestrians and drivers of motor vehicles. These traffic collisions between pedestrians and vehicles occur in various configurations and are most often associated with disregard of road traffic rules. As part of expert evidence, the basic basis for the analysis of traffic accidents is the documentation of the scene of the traffic accident, where vehicles and other road users leave various traces. For example, the nature of the collision and the approximate impact speed of the vehicle can be determined based on the extent and nature of the damage to the vehicles and the injuries to the participants. The paper deals with the analysis of an accident event in the configuration of a Peugeot 2008 vehicle, a Mercedes Benz vehicle and a pedestrian, which happened in the inner city, at a geometrically complicated intersection. In addition to the graphic analysis of the progress of the traffic accident in the simulation program PC-Crash (ver. 13.1), the driver's driving technique and the movement of the pedestrian are also assessed. At the same time, the possibilities of avoiding a traffic accident on the part of individual road traffic participants are determined.

Keywords: analysis, traffic accident, pedestrian, simulation, vehicle.

1 Úvod

V oblasti cestnej premávky predstavujú dopravné nehody s účasťou chodcov spravidla také udalosti, ku ktorým dochádza pri stretnutí pohybu vozidla s chodcom. Tieto dopravné nehody sú charakteristické rôznymi hmotnými a materiálnymi škodami, ľahkými a ťažkými následkami na zdraví účastníkov cestnej premávky, ale často aj nenahraditeľnými stratami na ľudských životoch. [4] Na dopravnú nehodovosť vplýva súhrn rôznych faktorov, ktorými sú najmä vodiči a ostatní účastníci cestnej premávky (chodci, cyklisti a motocyklisti), ich telesné a fyzické parametre, vek, zdravotný stav a praktické skúsenosti v súvislosti s ich možnosťami správania sa vo fázach prednehodového a nehodového deja podľa rôznych hľadísk.[7] Významný vplyv má aj okolité prostredie (cestná infraštruktúra a jej dopravné vybavenie, hustota dopravy, prekážka na cestnej komunikácii, poveternostné podmienky) a všeobecné technicko-fyzikálne vlastnosti vozidiel. Pri cestných motorových vozidlách je to najmä druh a typ vozidla, technický stav, druh a stav pneumatík, ako aj okamžité zaťaženie vrátane prevádzkových náplní.[1]

Vznik a priebeh rôznych dopravných kolízií skúma analýza dopravných nehôd. Dopravné nehody cestných motorových vozidiel s účasťou chodcov sú v porovnaní s inými typmi dopravných nehôd špecifické tým, že už pri relatívne nízkych nárazových rýchlostiach vozidiel do chodcov môže dôjsť k vážnym, až smrteľným zraneniam jednotlivých účastníkov. Analýza takýchto dopravných nehôd je oveľa náročnejšia a vyžaduje si spravidla komplexnejší forenzný prístup v porovnaní s dopravnými nehodami, pri ktorých dochádza ku zrážke vozidla s iným vozidlom, prípadne k nárazu vozidla do iných prekážok.

2 Význam znaleckej činnosti v oblasti cestnej dopravy

Znalecká činnosť predstavuje špecializovanú činnosť, ktorú vykonávajú znalci podľa odborných znalostí v príslušnom odbore pre zadávateľa (súdy a orgány štátnej moci) v súlade s platnými právnymi predpismi predovšetkým v trestných, správnych a občianskoprávných konaniach. Úkonmi znaleckej činnosti sú znalecký posudok (prípadne jeho doplnenie), odborné stanovisko a odborné vyjadrenie. Znaleckú činnosť a podmienky jej výkonu riadi a upravuje Ministerstvo spravodlivosti SR, ktoré okrem iného upravuje práva a povinnosti znalcov, ako aj činnosť znaleckých ústavov. [10]

Pri dopravných nehodách existujú často prípady, pri ktorých by absencia spolupráce znalcov ako analytikov dopravných nehôd nemusela viesť k úspešnému skončeniu právneho konania. Znalci sú prizývaní najmä v prípadoch závažných dopravných nehôd, ak sú pochybnosti o priebehu nehodového deja (po prvotnej ohliadke, výsluchu zúčastnených osôb, ďalších svedkov) alebo ak vznikla technická porucha vozidla. Vzhľadom k svojej odbornej erudovanosti sa znalci zameriavajú výhradne na skutkové okolnosti, ktoré sú pre posúdenie nehodového deja a ďalších z neho vyplývajúcich otázok dôležité. [2,6]

Znalci z odboru cestnej dopravy vykonávajú technickú analýzu nehodového deja, určujú príčinu dopravnej nehody, zaoberajú sa možnosťami odvrátenia dopravnej nehody, posudzujú vznik a príčiny dopravných nehôd cestných vozidiel aj mimo cestných komunikácií. Analýzu nehodového deja vykonávajú na základe spisového materiálu (najmä zadokumentovaných stôp uvedených v zápisnici o obhliadke miesta dopravnej nehody), fotodokumentácie, kamerového záznamu, iných posudkov a odborných vyjadrení, ako aj výpovedí účastníkov a svedkov. Ide predovšetkým o riešenie nepriamych príčinných problémov (objektívne zistenie skutkového stavu), kde vzhľadom na dôsledky, štruktúrne a procesné vlastnosti je potrebné zistiť priebeh a príčiny dopravnej nehody. [2,5]

Následne znalci spracovávajú analýzu nehodového deja pomocou aktuálnych výpočtových a simulačných programov, ako napríklad PC-Crash, Virtual-Crash, PC-Rect. Tieto softvérové programy poskytujú vypracovanie podrobnej analýzy nehodového deja, kde je možné nasimulovať ľubovoľné jazdné manévry vozidla (napríklad brzdenie, rozjazd, prejazd zákrutou, rotáciu vozidla), ako aj zrážku s chodcom alebo iným účastníkom cestnej premávky. Vypočítaná konečná poloha a trajektória pohybu počas nehodového deja musí čo najviac zodpovedať skutočnej konečnej polohe a skutočnej trajektórii pohybu dopravných prostriedkov a účastníkov dopravnej nehody. Zároveň sa musí prihliadať na vzájomné silové pôsobenie vozidiel (interakcia) a fyzikálne vlastnosti vozidiel a účastníkov dopravnej nehody. [3]

3 Analýza nehodovej udalosti

K dopravnej nehode medzi osobnými motorovými vozidlami Peugeot 2008 a Mercedes Benz došlo počas dňa, v intraviláne obce, na geometricky komplikovanej križovatke. Pri zrážke bolo motorové vozidlo Peugeot 2008 odhodené a pri rotácii narazilo zadnou časťou do tela chodkyne, ktorá sa v danom časovom okamihu nachádzala na ochrannom ostrovčeku. Telo chodkyne bolo po zrážke s vozidlom odhodené do stĺpika dopravného značenia. Chodkyňa utrpela ťažké zranenia, nezlučiteľné so životom (ložiskové pomliaždenie mozgu, zlomená kľúčna kosť vpravo, tržná rana na čele vpravo, opuch mozgu, atď.). [8]

Miesto dopravnej nehody sa nachádza na križovatke ulíc, kde šírka vozovky v mieste zrážky je 7,3 m. Je to štvoramenná križovatka s dvoma jazdnými pruhmi, kde prednosť v jazde je vyznačená zvislými dopravnými značkami. Povrch vozovky tvorí živica, kvalita povrchu je dobrá. V blízkosti miesta dopravnej nehody sa nachádza viacero priechodov pre chodcov. [8] Podrobnejšia lokalizácia miesta dopravnej nehody je zobrazená na Obr. 1.



Obr. 1. Lokalizácia miesta dopravnej nehody – pohľad zhora

Zdroj: [8]

Dopravná nehoda bola situovaná na jazdnom pruhu, kde je určený rýchlostný limit 40 km/h. V čase dopravnej nehody nebola viditeľnosť znížená vplyvom poveternostných podmienok a rozhľadové podmienky boli dobré. [8]

3.1 Poškodenie vozidiel

Posúdenie korešpondencie poškodenia vozidiel bolo vykonané za účelom definovania vzájomnej polohy vozidiel v okamihu zrážky na základe fotodokumentácie a kamerového záznamu. Vzájomné silové pôsobenie vozidiel v čase zrážky zanechalo na jednotlivých vozidlách určité deformácie, ktoré musia spolu korešpondovať s ohľadom na druh, veľkosť a vzájomnú polohu vozidiel v čase zrážky.



Obr. 2. Vozidlo Peugeot 2008 - celkový pohľad na poškodenie pravej časti vozidla (vľavo), ľavých zadných dverí a vrchnej časti ľavej bočnice vozidla (vpravo)

Zdroj: [8]

Podľa Obr. 2 vyplýva, že vozidlo Peugeot 2008 má deformáciu pravej bočnej časti, ktorá vznikla pri zrážke s vozidlom Mercedes Benz. Zároveň má vozidlo deformáciu zadnej časti, ktorá vznikla po sekundárnom kontakte s dopravnou značkou (predné a zadné dvere, zadný nárazník a blatník, podbeh, predný blatník, sklá). Vozidlo má aj poškodenia na ľavej bočnej časti, ktoré vznikli pri strete s chodkyňou (ľavé zadné dvere, stĺpik, podbeh).



Obr. 3. Vozidlo Mercedes Benz - celkový pohľad na poškodenie prednej časti vozidla

Zdroj: [8]

Na Obr. 3 je zobrazený celkový pohľad na poškodenie vozidla Mercedes Benz. Uvedené vozidlo má deformáciu prednej časti, ktorá vznikla pri zrážke s vozidlom Peugeot 2008 (maska, kapota, čelné sklo, nárazník, blatníky).

Kamerový záznam s rozlíšením 1920x1080, so snímkovou frekvenciou 25 fps zachytával priebeh dopravnej nehody. Z analýzy kamerového záznamu vyplývajú nasledujúce skutočnosti:

- vzájomná poloha vozidiel a chodkyne v časovom okamihu tesne pred vjazdom vozidla Peugeot 2008 na hlavnú cestu v čase cca 01:27,46 kamerového záznamu (frame č. 2187),
- časový okamih zrážky vozidiel a poloha chodkyne v čase cca 01:28,19 kamerového záznamu (frame č. 2205);
- časový okamih počiatku stretu vozidla Peugeot 2008 s chodkyňou v čase cca 01:28,79 kamerového záznamu (frame č. 2220);
- konečná poloha vozidiel po zrážke v čase cca 01:32,39 kamerového záznamu (frame č. 2310).

Zároveň bolo možné z analýzy kamerového záznamu vypočítať približnú rýchlosť jazdy vozidla Peugeot 2008 a Mercedes Benz pred dopravnou nehodou, kde je však potrebné zohľadniť zvýšenú mieru tolerance vzhľadom na kvalitu a skreslenie kamerového záznamu:

- približná poloha vozidla Peugeot 2008 voči perspektívnej mriežke v čase 01:25,93 kamerového záznamu (frame č. 2149),
- približná poloha vozidla Peugeot 2008 voči perspektívnej mriežke po prejení dráhy vlastného rázvoru v čase 01:26,13 kamerového záznamu (frame č. 2154),
- približná poloha vozidla Mercedes Benz voči perspektívnej mriežke v čase 01:27,59 kamerového záznamu (frame č. 2190),
- približná poloha vozidla Mercedes Benz voči perspektívnej mriežke po prejení dráhy vlastného rázvoru v čase 01:27,79 kamerového záznamu (frame č. 2195),
- konečná poloha vozidiel po zrážke pri c. 01:32,39 z kamerového záznamu (snímka č. 2310).

Vozidlo Mercedes Benz za vypočítaný čas cca 0,20 s (5 framov) prešlo dráhu vlastného rázvoru cca 2,7 m + cca 0,1 m. Z uvedeného je možné vypočítať približnú priemernú rýchlosť jazdy na danom úseku:

- $v = s/t = 2,8/0,20 = 14 \text{ m/s} = \text{cca } 50 \text{ km/h}$, pri zohľadnení tolerance výpočtu $\pm 10\%$ je rýchlosť vozidla Mercedes Benz cca 45 až 55 km/h.

Vozidlo Peugeot 2008 za vypočítaný čas cca 0,20 s (5 framov) prešlo dráhu vlastného rázvoru cca 2,5 m + cca 0,1 m. Z uvedeného je možné vypočítať približnú priemernú rýchlosť jazdy na danom úseku:

- $v = s/t = 2,6/0,20 = 13 \text{ m/s} = \text{cca } 47 \text{ km/h}$, pri zohľadnení tolerance výpočtu $\pm 10\%$ je rýchlosť vozidla Peugeot 2008 cca 42 až 52 km/h.

Pre posúdenie vzniku a priebehu deja nehodovej udalosti je potrebné vykonať analýzu pohybu vozidiel a chodkyne pred zrážkou a v čase zrážky, posúdiť techniku jazdy vodičov, ako aj určiť možnosti zabránenia vzniku dopravnej nehody zo strany jednotlivých účastníkov. Matematicko-grafická analýza pohybu vozidiel bola spracovaná pomocou aplikačného programu PC-Crash (verzia 13.1) určeným pre simuláciu vzájomného pôsobenia vozidiel a telies.

3.2 Matematicko-grafická analýza

Na nasledujúcich obrázkoch je graficky znázornený priebeh celkovej situácie pred zrážkou (vzájomná poloha vozidiel) pomocou 3D zobrazenia v časovom okamihu cca 2,5 s; 1,5 s; 0,6 s pred zrážkou, v okamihu zrážky (vzájomná poloha vozidiel a chodkyne), ako aj v okamihu nárazu vozidla Peugeot 2008 do chodkyne (vzájomná poloha vozidiel a chodkyne).



Obr. 4. Vzájomná poloha vozidiel v čase cca 2,5 s pred zrážkou

Zdroj: [9]

V časovom okamihu cca 2,5 s pred zrážkou sa vodič vozidla Mercedes Benz pohyboval rýchlosťou jazdy cca 49 km/h a nachádzal sa cca 34 m pred miestom zrážky. Vodič vozidla Peugeot 2008 sa pohyboval rýchlosťou jazdy cca 49 km/h a v rovnakom časovom okamihu sa nachádzal cca 34 m pred miestom zrážky.



Obr. 5. Vzájomná poloha vozidiel v čase cca 1,5 s pred zrážkou

Zdroj: [9]

V časovom okamihu cca 1,5 s pred zrážkou sa vodič vozidla Mercedes Benz pohyboval rýchlosťou jazdy cca 49 km/h a nachádzal sa cca 20 m pred miestom zrážky. Vodič vozidla Peugeot 2008 sa pohyboval rýchlosťou jazdy cca 49 km/h a v rovnakom časovom okamihu sa nachádzal cca 20 m pred miestom zrážky.

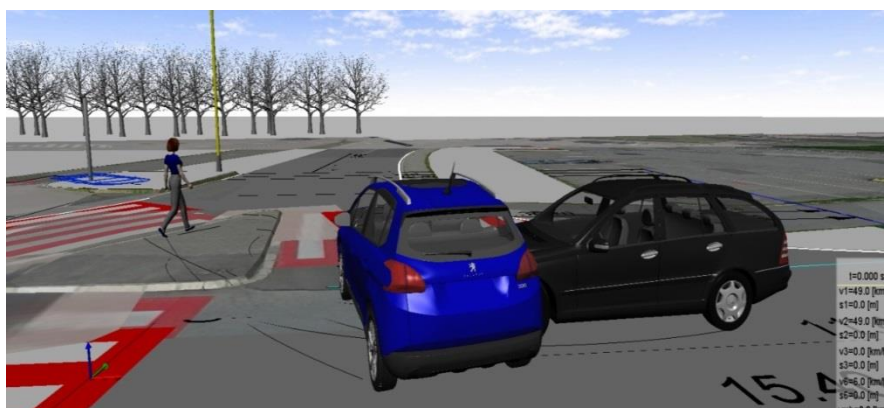
Je možné skonštatovať, že vozidlo Mercedes Benz muselo byť v tomto časovom okamihu dostatočne viditeľné. Vzhľadom na vzdialenosť a rýchlosť jazdy uvedeného vozidla muselo byť vodičovi vozidla Peugeot 2008 zrejmé, že vodič vozidla Mercedes Benz nedokáže zastaviť pred miestom zrážky, a tiež nedokáže iným spôsobom zabrániť dopravnej nehode.



Obr. 6. Vzájomná poloha vozidiel v čase cca 0,6 s pred zrážkou

Zdroj: [9]

V časovom okamihu cca 0,6 s pred zrážkou sa vodič vozidla Mercedes Benz pohyboval rýchlosťou jazdy cca 49 km/h a nachádzal sa cca 8 m pred miestom zrážky. Vodič vozidla Peugeot 2008 sa pohyboval rýchlosťou jazdy cca 49 km/h a v rovnakom časovom okamihu sa nachádzal cca 8 m pred miestom zrážky.



Obr. 7. Vzájomná poloha vozidiel a chodkyne v okamihu zrážky

Zdroj: [9]



Obr. 8. Vzájomná poloha vozidiel a chodkyne v okamihu nárazu vozidla Peugeot 2008 do chodkyne

Zdroj: [9]

Vzhľadom na vyššie uvedené je možné skonštatovať, že ku zrážke medzi vozidlami Peugeot 2008 a Mercedes Benz došlo bez toho, aby vodiči na vývoj dopravnej situácie akýmkoľvek spôsobom reagovali.

3.3 Posúdenie techniky jazdy vodičov vozidiel a pohybu chodkyne

Vodič vozidla Peugeot 2008 sa v predmetnom úseku pohyboval prevádzkovou rýchlosťou jazdy cca 47 km/h až 51 km/h (pri zohľadnení tolerance výpočtu $\pm 5\%$), pričom pre daný úsek bola najvyššia dovolená rýchlosť jazdy 50 km/h. Do križovatky vchádzal z úseku vedľajšej cesty, kde pred vjazdom na hlavnú cestu s vozidlom nezastavil, pričom mal možnosť pohľadom vpravo rozpoznať približujúce sa vozidlo Mercedes Benz, ktoré sa nenachádzalo v oblasti zakrytého výhľadu.

Na vzniknutú dopravnú situáciu reagoval vodič vozidla Peugeot 2008 až v časovom okamihu zrážky vozidiel, čo je možné vyhodnotiť z technického hľadiska ako reakciu oneskorenú vzhľadom na skutočnosť, že v danom časovom okamihu sa pohyboval rýchlosťou jazdy cca 47 km/h až 51 km/h. Vodič vozidla Peugeot 2008 z technického hľadiska nedal prednosť v jazde vodičovi vozidla Mercedes Benz, a to vo vzťahu k rýchlosti jazdy najvyššie dovolenej (40 km/h) v predmetnom úseku, ako aj vo vzťahu k jeho prevádzkovej rýchlosti jazdy (cca 49 km/h).

Na základe technicky prijateľných analýz priebehu nehodového deja je možné s najväčšou pravdepodobnosťou uviesť, že technika jazdy vodiča vozidla Peugeot 2008 nebola z technického hľadiska správna. Nesprávnym prvkom v technike jeho jazdy bola tá skutočnosť, že sa plne nevenoval vedeniu vozidla a dostatočne nesledoval situáciu v cestnej premávke, z čoho vyplynula jeho oneskorená reakcia na vývoj dopravnej situácie. Tento nesprávny prvok v technike jazdy vodiča vozidla Peugeot 2008 bol tým prvkom nehodového deja, ktorý vyvolal kolíznu situáciu a zároveň znemožnil zabrániť dopravnej nehode.

Vodič vozidla Mercedes Benz sa v predmetnom úseku pohyboval prevádzkovou rýchlosťou jazdy cca 47 km/h až 51 km/h (pri zohľadnení tolerance výpočtu $\pm 5\%$), pričom pre daný úsek bola najvyššia dovolená rýchlosť jazdy 40 km/h. Na vzniknutú dopravnú situáciu reagoval vodič vozidla Mercedes Benz až v časovom okamihu zrážky vozidiel, čo je možné vyhodnotiť z technického hľadiska ako reakciu oneskorenú, ktorá však kolíznu situáciu nevyvolala, ani neznamenala zabrániť vzniku dopravnej nehody.

Na základe technicky prijateľných analýz priebehu nehodového deja je možné s najväčšou pravdepodobnosťou uviesť, že technika jazdy vodiča vozidla Mercedes Benz nebola z technického hľadiska správna. Nesprávnym prvkom v technike jeho jazdy bola tá skutočnosť, že v úseku s najvyššou dovolenou rýchlosťou jazdy 40 km/h sa vodič vozidla pohyboval prevádzkovou rýchlosťou jazdy cca 49 km/h. Ďalším nesprávnym prvkom v technike jeho jazdy bola skutočnosť, že na vznik kolíznej situácie reagoval z technického hľadiska oneskorene.

Čo sa týka chodkyne, tak na základe technicky prijateľných analýz priebehu nehodového deja je možné s najväčšou pravdepodobnosťou uviesť, že technika pohybu chodkyne bola správna. Zároveň je možné skonštatovať, že chodkyňa nemala žiadnu možnosť zabrániť vzniku dopravnej nehody.

Z pohľadu bezpečnosti účastníkov cestnej premávky, ako aj bezpečnosti a plynulosti v cestnej premávke je vzhľadom na výsledky vykonaných simulácií priebehu nehodového deja možné skonštatovať, že vodič vozidla Peugeot 2008 svojím spôsobom jazdy cez križovatku vytvoril pre vodiča vozidla Mercedes Benz z technického hľadiska prekážku náhlu, nakoľko vodič vozidla Mercedes Benz nemohol zastaviť s vozidlom pred miestom zrážky ani pri jeho správnej technike jazdy.

3.4 Určenie možností odvrátenia zrážky vozidiel

Podľa výsledkov z vykonaného posúdenia techniky jazdy vodiča vozidla Peugeot 2008 je možné skonštatovať, že vodič mal možnosť zabrániť vzniku dopravnej nehody v nasledujúcich prípadoch:

- ak by sa v predmetnom úseku pohyboval správnou technikou jazdy,
- ak by s vozidlom vchádzal na úsek hlavnej cesty takým spôsobom, že by dal prednosť v jazde pre vozidlá pohybujúce sa po hlavnej ceste,
- ak by svoj pohyb pri vjazde na hlavnú cestu prerušil a zastavil by s vozidlom pred koridorom pohybu vozidla Mercedes Benz.

Pre technické posúdenie priebehu nehodového deja je potrebné vypočítať, akou rýchlosťou jazdy by sa vodič vozidla Mercedes Benz musel v predmetnom úseku pohybovať, aby bolo možné za daných okolností zastaviť vozidlo pred koridorom pohybu vozidla Peugeot 2008, ak by na vývoj dopravnej situácie reagoval včas a po uplynutí reakčného času by vozidlo brzdil s využitím maximálneho brzdného spomalenia.

Podľa výsledkov vyplývajúcich z analýzy nehodového deja a vykonaných jednotlivých simulácií je možné skonštatovať, že vodič mal možnosť zabrániť vzniku dopravnej nehody v nasledujúcich prípadoch:

- ak by sa v predmetnom úseku pohyboval rýchlosťou jazdy 40 km/h (najvyššie dovolenou rýchlosťou) a na vývoj dopravnej situácie by reagoval včas, pričom po uplynutí reakčného času by vozidlo brzdil s využitím maximálneho brzdného spomalenia, nedošlo by k zabráneniu dopravnej nehody, ale rýchlosť v čase zrážky by bola 40 km/h.

- ak by sa v predmetnom úseku pohyboval rýchlosťou jazdy do 33 km/h a na vývoj dopravnej situácie by reagoval včas, pričom po uplynutí reakčného času by vozidlo brzdil s využitím maximálneho brzdného spomalenia, došlo by k zabráneniu dopravnej nehody s tesným minutím vozidiel,
- ak by sa v predmetnom úseku pohyboval rýchlosťou jazdy do 16 km/h a na vývoj dopravnej situácie by reagoval včas, pričom po uplynutí reakčného času by vozidlo brzdil s využitím maximálneho brzdného spomalenia, došlo by k zabráneniu dopravnej nehody zastavením vozidla pred koridorom pohybu vozidla Peugeot 2008.

4 Záver

Dopravné nehody so vzájomným kontaktom vozidiel a chodcov vznikajú najmä z dôvodu protiprávneho konania účastníkov cestnej premávky. Najčastejšie typy vzájomných kolízií vozidiel a chodcov predstavuje čelná zrážka s úplným prekrytím, čelná zrážka s čiastočným prekrytím, bočná zrážka (typická, atypická) a prejedenie (jednoduché, zložené). [2]

Vznik a priebeh rôznych dopravných kolízií skúma analýza dopravných nehôd, ktorá predstavuje oblasť súdneho inžinierstva v odbore cestnej dopravy. Znalci v tomto odbore vzhľadom k svojej odbornej erudovanosti vykonávajú analýzu nehodového deja, kde určujú príčiny dopravných nehôd, posudzujú techniku jazdy vodičov vozidiel a pohybu ostatných účastníkov cestnej premávky, hľadajú možnosti na odvrátenie dopravnej nehody, pričom používajú rôzne súdno-inžinierske metódy so softvérovým vybavením v podobe špecifických programov určených na zistenie priebehu nehodového deja.

V príspevku bola vykonaná analýza špecifickej dopravnej nehody, pri ktorej došlo k zrážke osobných motorových vozidiel Peugeot 2008 a Mercedes Benz. Pri zrážke bolo vozidlo Peugeot odhodené, rotovalo a zadnou časťou narazilo do tela chodkyne, ktorá sa v tom čase nachádzala na ochrannom ostrovčeku. V rámci analýzy nehodovej udalosti bola spracovaná matematicko-grafická analýza vzájomných polôh vozidiel a chodkyne pomocou 3D zobrazenia, bola vyhodnotená technika jazdy vodičov vozidiel a tiež boli určené možnosti odvrátenia vzniku dopravnej nehody zo strany jednotlivých účastníkov.

Na záver je možné skonštatovať, že technickou príčinou dopravnej nehody bola nesprávna technika jazdy vodiča vozidla Peugeot 2008, ktorý sa plne nevenoval vedeniu vozidla a dostatočne nesledoval situáciu v cestnej premávke, z čoho vyplynula jeho oneskorená reakcia na vývoj dopravnej situácie. Zároveň je možné potvrdiť, že vodič uvedeného vozidla svojím spôsobom jazdy cez geometricky komplikovanú križovatku vytvoril pre vodiča vozidla Mercedes Benz z technického hľadiska prekážku náhlu. Vodič vozidla Mercedes Benz ani pri správnej technike jazdy nemohol zastaviť s vozidlom pred miestom zrážky.

Predmetná dopravná nehoda bola špecifická v tom, že chodkyňa ako účastníčka cestnej premávky predstavovala nezainteresovanú osobu do vzájomnej kolízie vozidla Peugeot 2008 a vozidla Mercedes Benz, avšak napriek tomu po zrážke týchto dvoch vozidiel utrpela chodkyňa zranenia nezlučiteľné so životom. Ďalšou zaujímavosťou je skutočnosť, že z výpočtov, ako aj z analýzy kamerového záznamu vyplynuli rovnaké rýchlosti pohybu vozidiel Peugeot 2008 a Mercedes Benz pred zrážkou a nakoľko ani jeden z vodičov nebrzdil, tak vyplynuli aj rovnaké nárazové rýchlosti.

Vzhľadom na vykonanú analýzu špecifickej dopravnej nehody vyplýva, že v záujme efektívneho minimalizovania dopravnej nehodovosti a jej následkov je potrebné venovať veľkú pozornosť dôležitým aspektom, a to najmä účastníkom cestnej premávky, dopravným prostriedkom a cestným komunikáciám. Téma bezpečnosti a ohľaduplnosti na cestných komunikáciách je stále veľmi aktuálna, perspektívna a potrebná vzhľadom aj na rozvoj počtu ďalších alternatívnych spôsobov dopravy.

5 Literatúra

- [1] CHMELÍK, J. a kol. *Dopravní nehody*. Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk. 2009. Praha, 2009. ISBN 978-80-7380-211-0
- [2] JURINA, R. - KASANICKÝ, G. *Vybrané kapitoly súdneho inžinierstva*. Vysoká škola v Sládkovičove, Fakulta práva Janka Jesenského. 2013. 380 s. ISBN 978-80-89267-91-0
- [3] KASANICKÝ, G. – KOHÚT, P. *Teória pohybu a rázu pri analýze a simulácii nehodového deja*. ŽU v Žiline, Ústav súdneho inžinierstva. Vydavateľstvo EDIS: ŽU v Žiline, 2004. 350 s. ISBN 80-8070-312-4
- [4] KOHÚT, P. – MACUROVÁ, Ľ. – SVENTEKOVÁ, E. – BALLAY, M. *Safety analysis of pedestrian as the users of rad traffic in the Slovak Republic*. In: Transport Means 2019 - 23th Proceedings of the International Conference 2019, Trakai, Lithuania. 2-4. October 2019. pp. 446-452 ISSN 1822296X
- [5] KOHÚT, P. *Technicko-právna problematika analýzy dopravných nehôd*. ŽU v Žiline, Ústav súdneho inžinierstva. Vydavateľstvo EDIS: ŽU v Žiline, 2011. 179 s. ISBN 978-80-554-0345-8
- [6] KUBICA, M. a kolektív. *Znalcstvo*. Vysokoškolská učebnica. Vydavateľstvo: Wolters Kluwer, s.r.o. Praha 2016. 332 s. ISBN 978-80-7552-499-7
- [7] RÉDL, M. - ONDRUŠ, J. - FELCAN, M. *Using measuring system Viewpointssystem® by perception of road accident*. In: Transport Means 2021 - 25th Proceedings of the International Conference 2021, Trakai, Lithuania. 6-8. October 2021. pp. 812-817 ISSN 1822296X
- [8] Ústav súdneho inžinierstva ŽU v Žiline – archív znaleckých posudkov z oblasti cestnej dopravy
- [9] SW PC Crash (13.1.), SW XL Vision™
- [10] Zákon NR SR č.382/2004 Z. z. o znalcoch, tlmočníkoch a prekladateľoch a o zmene a doplnení niektorých zákonov

PodĎakovanie

Tento príspevok bol podporený Agentúrou pre podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-20-0626. Tento príspevok bol vypracovaný v rámci projektu APVV-20-0626: Biomechanicky verná náhrada ľudského tela pre zvýšenie objektivity forenzej analýzy cestných dopravných nehôd.

MONITOROVANIE VIBRÁCIÍ AKO NÁSTROJ NA SLEDOVANIE A HODNOTENIE TECHNICKÉHO STAVU KONŠTRUKČNÝCH CELKOV LIETADLA

Autori:

Pavol PECHO¹, Michal Hruz¹, Patrik VEL'KÝ¹, Frederik CHODELKA¹

Tituly a pôsobisko autorov:

¹Ing. Pavol Pecho, PhD., Žilinská Univerzita, Katedra leteckej dopravy, Univerzitná 8215/1 010 26, Žilina, Slovensko E-mail: pavol.pecho@fpedas.uniza.sk

¹Ing. Michal Hruz, Žilinská Univerzita, Katedra leteckej dopravy, Univerzitná 8215/1 010 26, Žilina, Slovensko E-mail: michal.hruz@stud.uniza.sk

¹Ing. Patrik Veľký, Žilinská Univerzita, Katedra leteckej dopravy, Univerzitná 8215/1 010 26, Žilina, Slovensko E-mail: patrik.velky@stud.uniza.sk

¹Ing. Frederik Chodelka, Žilinská Univerzita, Katedra leteckej dopravy, Univerzitná 8215/1 010 26, Žilina, Slovensko E-mail: frederik.chodelka@stud.uniza.sk

Abstrakt:

Životný cyklus lietadla pozostáva z fáz návrhu, výroby, prevádzky a vyradenia z prevádzky. Hlavný dôraz kladú letecké spoločnosti na proces údržby počas prevádzkovej fázy lietadla, keďže náklady na údržbu predstavujú obrovský podiel z celkových nákladov leteckých spoločností. Údržba leteckej techniky ma rôzne formy a stratégie, ktoré sú v posledných rokoch predmetom neustáleho zlepšovania. Systém údržby pozostáva z viacerých faktorov, akými sú: systémové vybavenie, pracovná sila, organizácia práce, logistika náhradných dielov, stratégie údržby, atď. Všetky tieto faktory musia spolu korelovať, aby bolo možné dosiahnuť čo najefektívnejší výkon údržbových činností. V súčasnosti sa kladie dôraz na využitie proaktívnych a prediktívnych prístupov, ktoré umožňujú stanoviť príčinu poruchy a predpovedať jej ďalší priebeh. Monitorovanie vibrácií predstavuje efektívnu metódu sledovania technického stavu lietadlových konštrukčných celkov, keďže každý mechanický systém je sprevádzaný vybudeným mechanickým kmitaním, ktorého mohutnosť determinuje aktuálny stav systému. Článok je zameraný na využitie monitorovania vibrácií ako jednu z metód na sledovanie a hodnotenie technického stavu konštrukčných celkov lietadla, pričom sa primárne zameriava na vibrácie leteckého motora. Okrem využitia mechanického kmitania článok poskytuje prehľad o tradičných, ako aj súčasných trendoch monitorovania technického stavu jednotlivých konštrukčných celkov či už ide o monitorovanie na zemi alebo počas letu.

Kľúčové slová: Konštrukčné celky lietadla, Sledovanie technického stavu, Vibrácie

JEL: L93

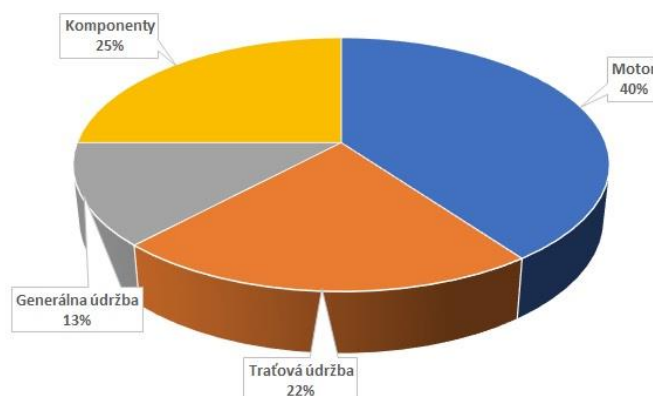
VIBRATION MONITORING AS A TOOL FOR CONDITION MONITORING AND EVALUATION OF AIRCRAFT STRUCTURAL HEALTH.

Abstract: The life cycle of an aircraft consists of design, production, operation and retirement phases. The main focus of airlines is on the maintenance process during the operational phase of the aircraft, as maintenance costs represent a huge proportion of the airlines' total costs. Aviation maintenance takes different forms and strategies, which have been subject to continuous improvement in recent years. The maintenance system consists of several factors such as: system equipment, manpower, work organisation, spare parts logistics, maintenance strategies, etc. All these factors must correlate in order to achieve the most efficient performance of maintenance activities. Today, emphasis is placed on the use of proactive and predictive approaches to determine the cause of failure and predict its future course. Vibration monitoring is an effective method of monitoring the technical condition of aircraft structural assemblies, as each mechanical system is accompanied by a built-up mechanical vibration, the magnitude of which determines the current state of the system. The article focuses on the use of vibration monitoring as one of the methods for monitoring and evaluating the technical condition of aircraft structural units, primarily focusing on aircraft engine vibration. In addition to the use of mechanical vibration, the article provides an overview of traditional as well as current trends in the monitoring of the technical condition of individual structural units, whether it is ground-based or in-flight monitoring.

Keywords: Structural Health Monitoring, Condition Monitoring, Vibrácie

1 Úvod

Zaistovanie prevádzkovej schopnosti lietadlovej techniky priamo závisí od úrovne jej prevádzkovej spoľahlivosti. Riešenie otázok spoľahlivosti a priebežné vyhodnocovanie kvantitatívnych ukazovateľov spoľahlivosti je v leteectve dnes už nevyhnutnou a životne dôležitou podmienkou. Nahrádzaním tradičných preventívnych metód novými progresívnymi prediktívnymi metódami je možné zvýšiť spoľahlivosť jednotlivých komponentov lietadla a v konečnom dôsledku celkovú spoľahlivosť lietadla ako celku [1]. Týmto metódami je možné znížiť časy údržby, redukovať počet neplánovaných údržieb lietadla čo sa v konečnom dôsledku výrazne odzrkadlí na celkových výdavkoch prevádzkovateľov. Náklady na údržbu predstavujú jedny z najväčších podielov celkových nákladov [2], preto je v súčasnosti kladený dôraz práve na ich znižovanie pri zachovaní až zvyšovaní súčasných úrovní bezpečnosti. Motor spolu s komponentami zostávajú najnákladnejšími položkami spomedzi segmentov lietadla, ako môžeme vidieť na Obr. 1.



Zdroj: Spracované autorom na základe [2]

Obrázok 26. Priame náklady na údržbu podľa segmentu lietadla

V súčasnosti, keď sa jedným z najvýznamnejších problémov stáva zabezpečenie spoľahlivosti prevádzky novonavrhovaných mechanických sústav, sú otázky zisťovania vzniku, šírenia a izolácie kmitania jednotlivých častí strojov a strojových sústav veľmi aktuálne. Kmitanie predstavuje nežiadúci jav, ktorý iniciuje zdroj poškodení a urýchljuje ich priebeh. Zároveň, keď v oblasti letectva pozorujeme snahu vyvíjať inovatívne procesy v oblasti monitorovania technického stavu lietadlových celkov, sa dôraz kladie na progresívne proaktívne a prediktívne stratégie údržby práve za účelom znižovania nákladov, pracovnej sily, skracovania prestojov lietadiel v hangári čo v konečnom dôsledku vedie ku zvyšovaniu celkovej bezpečnosti a letovej spôsobilosti lietadiel. Vibrodiagnostika predstavuje samostatný vedný odbor využívaný pre stanovenie aktuálneho technického stavu objektu na základe meraní a analýzy vibrácií. Predstavuje užitočný nástroj modernej proaktívnej údržby vo všetkých prevádzkach, v ktorých sa nachádzajú stroje s rotačným alebo vratným pohybom. Jej hlavnou úlohou je možnosť stanovenia technického stavu stroja alebo strojových sústav priamo v prevádzkových podmienkach bez nutnosti ich demontáže, čím nahrádza personálne, časovo i finančne nákladné periodické inšpekcie vykonávané formou nedeštruktívneho testovania. Dnes už je známym faktom, že pomocou frekvenčnej analýzy signálu vibrácií je možné priradiť jednotlivé zložky vibrácií priamo k ich zdrojom, reprezentujúcim súčasti stroja alebo strojovej sústavy, ako sú ozubené kolesá, ložiská, hriadele atď. alebo k prevádzkovým príčinám, ktorými sú napríklad nevyváženie rotačných súčastí, nesprávne uloženie hriadele, elektroporucha a pod.

Monitorovanie vibrácií zohráva markantnú úlohu nie len v leteckom priemysle ale aj v príbuzných priemysloch, akými sú automobilový, strojársky, stavebný alebo energetický. K vibráciám dochádza pri každom stroji či sústave, ktorá sa pohybuje, pričom so súčasnými možnosťami výpočtovej techniky a pomocou pokročilých vibračných analýz je možné vibrácie sledovať a následne vzhľadom na ich charakteristické rysy aj vyhodnocovať, respektíve stanoviť konkrétne príčiny ich vzniku. Počas vývojového procesu inžinieri overujú návrh prototypu lietadla vykonaním experimentálnych skúšok vibrácií lietadla. Na lietadle sa vykonáva simulácia scenárov, ktoré môžu nastať počas reálnej prevádzky lietadla pri jeho lete s cieľom overiť rázové a vibračné výkonnosti všetkých aspektov lietadla vrátane jeho radiacích plôch. Vibrácie je možné monitorovať nie len na zemi ale aj v reálnom čase počas samotného letu lietadla. Najdôležitejšie vibrácie predstavujú vibrácie motora, ktoré sú snímané prostredníctvom vhodne umiestnených vibračných senzorov. Tieto údaje poskytujú ucelený prehľad o aktuálnom technickom stave motora. Existuje veľa príčin vzniku vibrácií lietadla, vrátane samotných udalostí vysunutia alebo zatiahnutia podvozku, vysunutia rýchlостných bŕzd – spojlerov alebo ide o vôle pohyblivých radiacích povrchov či závažnejšie zlyhania systémov. Nie len údržbový technický personál ale aj posádka lietadla potrebuje poznať príčiny a dôsledky vibrácií lietadla, aby zabezpečila bezpečnosť samotného letu a zároveň zabránila nadmernému opotrebeniu, prípadne poškodeniu draku lietadla. Bežné a abnormálne vibrácie sa vyskytujú z niekoľkých dôvodov. Na ich vznik vplýva aerodynamika, mechanické zlyhania a vonkajšie faktory. Všetky vibrácie majú svoju charakteristickú frekvenciu a veľkosť, ktoré môžu byť ľahko identifikovateľné alebo sotva citeľné pre posádku a cestujúcich. V prípade vibrácií, ktoré sú spojené s prevádzkou leteckého motora má posádka lietadla k dispozícii vyhradené prístroje na meranie ich veľkosti. Každé lietadlo vykazuje jedinečné rysy svojich bežných vibrácií, ktoré na ňom vznikajú. Ide o dôsledok distribúcie hmoty a tuhosti jeho konštrukcie, ktoré vedú k vibračným režimom pri určitých frekvenciách. Prevádzka leteckého motora v prípade nevyváženého hriadeľa môže pri niektorých rýchlostiach mať za následok zvýšené vibrácie, keďže práve táto nevyváženosť budí motor a vybudené vibrácie sa ďalej prenášajú na drak lietadla. Prevádzka niektorých mechanických komponentov, ako sú napríklad čerpadlá, môže byť nakoniec spojená s bežnými vibráciami a hlukom. Najľahšie identifikovateľné abnormálne vibrácie sú vibrácie, ktoré majú náhly nástup a môžu byť sprevádzané hlukom. Tieto vibrácie môžu byť prerušované alebo ustálené s odlišnou frekvenciou, alebo môže ísť o náhodný typ trepania – buffet. Abnormálne vibrácie zvyčajne súvisia s jednou alebo viacerými z nasledujúcich príčin: nevyváženosť rotora motora, porucha funkčnosti mechanického príslušenstva a rozrušenia vzduchu prúdiaceho okolo dverí a ovládacích plôch, ktoré sú vychýlené, nesprávne vysunuté, nadmerne opotrebované alebo majú nadmernú vôľu. Abnormálne vibrácie sú iba zriedka spôsobené štrukturálnou poruchou alebo nestabilným systémom riadenia výkonu. Cieľom článku je poukázať na skutočnosť, že vibrodiagnostika naďalej predstavuje efektívny nástroj na sledovanie a hodnotenie technického stavu konštrukčných celkov a mechanických sústav, ktoré sa vyskytujú aj v leteckom priemysle v podobe konštrukčných celkov lietadla, najmä pohonnej jednotky. Autori kladú dôraz na definovanie a charakteristiku ako zaužívaných nedeštruktívnych metód testovania, tak aj nových metód, akými sú práve Condition Monitoring a Structural Health Monitoring, ktorému v posledných rokoch venuje veľká pozornosť nie len v leteckom priemysle.

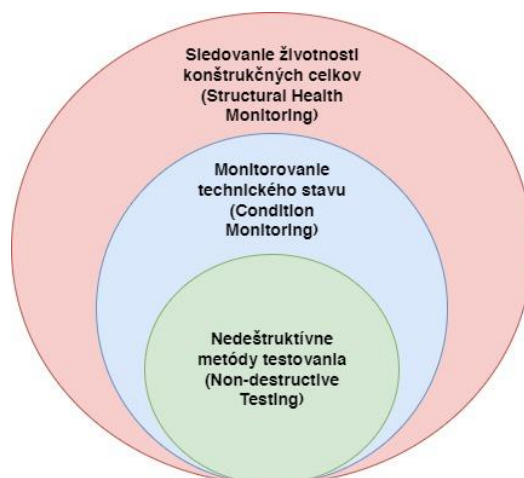
2 Sledovanie a hodnotenie technického stavu

Nasledujúca kapitola sa bude zaoberať v súčasnosti najpoužívanejšími tradičnými a progresívnymi metódami sledovania a hodnotenia technického stavu konštrukčných celkov. Jednotlivé metódy, ktorými sa bude kapitola venovať sú si navzájom veľmi podobné, avšak povaha sledovania význačných parametrov alebo indikátorov, rovnako ako objekty záujmu ktoré sa sledujú, sa v závislosti od použitej metódy líšia. Záver kapitoly sa venuje monitorovaniu vibrácií lietadla ako na zemi tak aj počas letu, kde sa článok zameriava primárne na monitorovanie vibrácií pohonného systému – leteckého motora.

Na sledovanie a hodnotenie technického stavu sa tradične využívajú. Metódy nedeštruktívneho testovania sú najrozšírenejšími metódami na odhaľovanie ako viditeľných tak aj skrytých štrukturálnych poškodení konštrukčných celkov lietadla. Ide prevažne o vizuálne kontroly a testy pomocou špeciálneho vybavenia, pričom povaha týchto meraní, ako už z názvu vyplýva je nedeštruktívna. Objekt plní svoju funkciu aj po vykonaní testovania a ostáva naďalej v prevádzkyschopnom stave. Markantnou nevýhodou nedeštruktívneho testovania je nutnosť uzemnenia lietadla v hangári, kde testovanie prebieha. V najlepšom prípade ide o preventívne úkony vykonávané školeným technickým personálom pri naplánovanej údržbe na základe cyklov alebo letových hodín. V tom horšom prípade je to počas nákladnej neplánovanej údržby, kedy sa počas letu zistilo poškodenie komponentu, ktorý naďalej nie je schopný spoľahlivo vykonávať svoju činnosť alebo funkciu. Na rozdiel od sledovania životnosti konštrukčných celkov (Structural Health Management) a monitorovania technického stavu rotačných prvkov (Condition monitoring), ktorým sa bude kapitola venovať, nedeštruktívne metódy testovania nedisponujú prediktívnym charakterom. Ide prevažne o preventívne úkony na posúdenie miery vzniknutého poškodenia. Sensory používané pri týchto metódach nie sú schopné vykonávať trendovanie a predikovanie správania poruchy, čomu sa venujú nasledujúce metódy.

2.1 Sledovanie životnosti konštrukčných celkov (Structural Health Monitoring)

Slovné spojenie „Structural Health Monitoring“ (SHM), ktoré by sa dalo voľne preložiť ako sledovanie životnosti konštrukčných celkov je proces implementácie stratégie zameranej na detekciu a charakterizáciu porúch konštrukčných celkov [3]. Cieľom SHM je presne a efektívne monitorovať správanie konštrukcie alebo štruktúry v sledovanom mieste, hodnotiť jej výkonnosť pri rôznych prevádzkových zaťaženiach, zisťovať poškodenie alebo opotrebenie a v konečnom dôsledku určiť zdravie, respektíve technický stav konštrukčného celku. Proces SHM zahŕňa pozorovanie systému v priebehu času pomocou periodický vzorkovaných meraní jeho dynamickej odozvy pomocou senzorov a extrakciu význačných javov indikujúcich poruchy z meraní a štatistickú analýzu týchto javov na určenie aktuálneho technického stavu systému. SHM systém by mal poskytnúť spoľahlivé informácie týkajúce sa bezpečnosti a celistvosti konštrukcie. Poskytnuté informácie sa môžu začleniť do údržbových a organizačných stratégií a tým viesť k zlepšenému návrhu smerníc. Bezprostrednosť a citlivosť SHM môže umožniť krátkodobé overenie inovatívnych návrhov, včasnú detekciu problémov, vyhnutie sa katastrofickým zlyhaniam, efektívne prideľovania zdrojov, znížiť počet prestojov a šetriť náklady na údržbu. Na Obr. 1 môžeme vidieť jednotlivé metódy, ktoré sú súčasťou SHM a s ktorými je často zamieňaný. Fyzický diagnostický nástroj SHM predstavuje komplexná integrácia rôznych snímacích zariadení a pomocných systémov, vrátane monitorovacieho systému, systému určeného pre zber údajov, systém spracovania údajov, komunikačný systém, systém vybavený detekčným modelom poškodení.

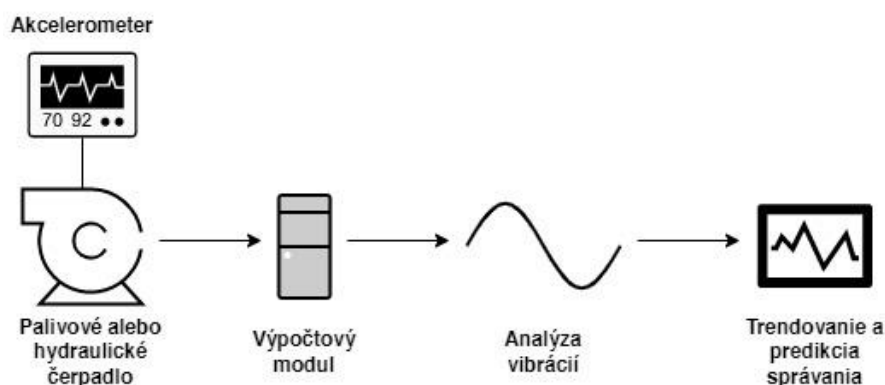


Zdroj: Vlastné spracovanie

Obr. 27. Diagram vzájomného vzťahu jednotlivých odborov zameraných na sledovanie a hodnotenie technického stavu

2.2 Monitorovanie technického stavu rotačných prvkov (Condition Monitoring)

Monitorovanie technického stavu (Condition monitoring (CM)) je založené na schopnosti monitorovania aktuálneho technického stavu a zároveň predpovedania budúceho technického stavu stroja alebo strojovej sústavy počas jej prevádzky, na základe jej dynamických prejavov. CM a metódy nedeštruktívneho testovania (NDT) sú akýmsi podkategóriami SHM, ako môžeme vidieť na Obrázok 1., pričom CM sa zameriava na monitorovanie strojových sústav a výlučne ich rotačných prvkov, akými sú práve hriadele, ložiská, ozubené kolesá, čerpadlá a pod. Na rozdiel od metód nedeštruktívneho testovania, ktoré môžu byť využívané už pri výrobných procesoch, ako forma detekcie nečistôt alebo anomálií v materiáloch alebo vo forme periodických meraní zariadenia počas jeho prevádzky sa CM využíva výlučne počas prevádzky zariadenia, pričom táto metóda je schopná nahradiť periodické metódy NDT. Existujú dve hlavné metódy ktoré využíva CM na získavanie informácií o internom stave zariadenia a to sú analýza vibrácií, ktorej princíp môžeme vidieť na Obr. 3. a analýza maziva (tribometria).



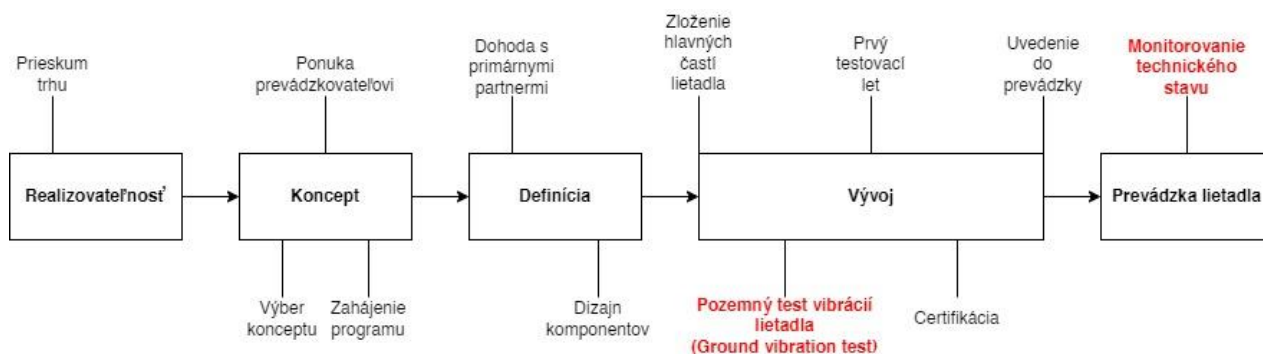
Zdroj: Vlastné spracovanie

Obrázok 28. Základná schéma sledovania technického stavu na základe monitorovania vibrácií rotačných prvkov

Stroj alebo mechanická sústava aj v prípade svojho bezzávadového technického stavu, pri svojej prevádzke nevyhnutne vytvára svoje charakteristické vibrácie. Vývoj blížiaci sa poruchy mení charakteristiku vibrácií spôsobom, ktorý môže indikovať túto poruchu. Mnohé z týchto vibrácií sú priamo spojené s periodickými javmi súvisiacimi s prevádzkou stroja, ktoré sú spôsobené rotáciou hriadeľa, záberom ozubených kolies, rotujúcimi elektrickými poliami atď. Frekvencia, s akou sa tieto javy opakujú, často poskytuje priamu indikáciu zdroja vibrácií, a preto sú mnohé výkonné diagnostické metódy založené práve na frekvenčnej analýze. Niektoré vibrácie sú však spôsobené javmi, ktoré nie sú fázovo viazané na rotáciu, ako tomu je v prípade hriadeľa, napríklad v prípade spaľovacej komory, kedy sú vibrácie budené stálym počtom spaľovacích javov v dôsledku cyklov spaľovania motora, napriek tomu, že tieto javy nie sú úplne periodické. Tento fakt predstavuje určitú výhodu, pretože je možné tieto javy pri vyhodnocovaní zdroja vibrácií oddeliť od tých úplne periodických. Vibrácie môžu byť budené prúdením tekutín, ako je to v prípade čerpadiel a plynových turbín, ktoré sa zvyčajne vyznačujú jedinečnými charakteristikami. Pretože sú stroje zložité a rozsah použitia techník spracovania signálu je široký, musí si byť užívateľ vedomý ich sily a obmedzení. V prípade vykonania tribometrie, mazivo ktoré preteká vnútro stroja vie poskytnúť cenné informácie o stave stroja na základe opotrebovaných častí, chemických nečistôt atď., ktoré sa v mazive môžu vyskytnúť. Analýza sa týka hlavne cirkulačných olejových mazacích sústav, avšak niektoré analýzy je možné aplikovať na iný druh maziva, napríklad na vazelíny. Táto metóda poskytuje dodatočný prínos, kedy vieme na základe zvyškov materiálu identifikovať opotrebovaný komponent v prípade, ak už došlo k identifikácii poškodenia pomocou analýzy vibrácií [4].

2.3 Monitorovanie vibrácií lietadla na zemi (Ground Vibration Testing)

Pozemné testy vibrácií lietadla sa typicky vykonávajú v najneskoršej časti jeho vývojového procesu. Hlavným účelom tohto demonštračného testu je získanie experimentálnych údajov v podobe vibrácií a modálnych parametrov celej konštrukcie lietadla, teda lietadla ako celku. Tieto údaje sú použité na validáciu a vylepšenie dynamických modelov konštrukcie. Využitím spomenutých modelov je možné predikovať správanie javov ako sú napr. trepotanie – flutter a trepanie – buffeting [5]. Táto predikcia je z hľadiska bezpečnosti veľmi dôležitá, pretože určuje hranice bezpečnej letovej obálky testovaného lietadla pred vykonaním prvého testovacieho letu, viď Obr. 4.



Zdroj: Vlastné spracovanie

Obrázok 29. Vývojový proces lietadla

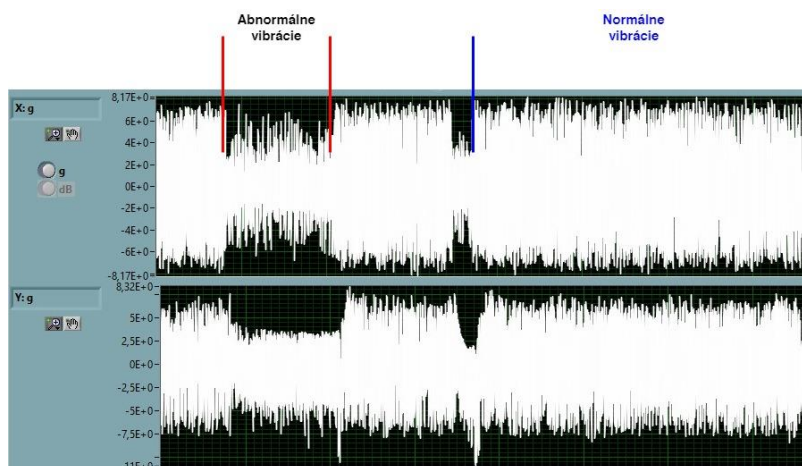
Vzhľadom na veľké vývojové náklady, obmedzenej dostupnosti lietadla na pozemné testy vibrácií a skutočnosti, že je dôležité testovať niekoľko možných konfigurácií lietadla, vzniká veľká časová tieseň na získanie výsledkov testov. Práve z tohto dôvodu vzniká potreba zníženia časovej náročnosti jednotlivých testov a s nimi súvisiacich analýz bez toho, aby bola ohrozená presnosť výsledkov. Po vykonaní skúšobných letov sa aktualizujú analytické modely, vykonávajú sa konečné výpočty trepotania – flutteru a lietadlo získa osvedčenie o letovej spôsobilosti. Pozemný test vibrácií zobrazený na Obr. 4 je povinný pre nové lietadlá a pre súčasné lietadlá, ktoré prechádzajú modifikáciami. Vykonáva sa taktiež na vrtuľníkoch a kozmických

lodiach. Výstupne údaje testov zameraných na trepotanie a trepanie (Flutter a Buffeting) poskytujú údaje o zaťažení lietadla počas letu, na základe ktorých je možné definovať vstupy skutočných podmienok pre budúce požiadavky štrukturálneho testovania [6]. Virtuálna simulácia dramaticky urýchľuje celkový proces vývoja lietadla. Fyzické testovanie však zostáva rozhodujúcim aspektom prispievajúcim k celkovej validácii simulačných modelov a zároveň k pochopeniu štrukturálnych charakteristík nových materiálov a výrobných procesov.

2.4 Monitorovanie vibrácií lietadla počas letu (Vibration Monitoring System)

Pokročilý systém sledovania vibrácií (VMS – Vibration Monitoring System) pozostávajúci z palubných a pozemných operácií patrí medzi aktuálne systémy VMS v praxi. Palubná časť VMS zahŕňa detekciu výskytu vibrácií sledovaním definovaných hodnôt amplitúdy vibrácií a porovnaním s predpísanými absolútnymi a relatívnymi limitmi vibrácií, kde sú relatívne vibračné limity špecifické pre každý konkrétny motor. Táto hodnota vyjadruje hodnotu vibračnej energie. Prekročenie definovaných limitov alarmov vibrácií spúšťa výstrahu v kabíne. Spracovanie a získavanie rôznych súborov údajov o vibráciách pomocou viacerých algoritmov sú ďalšími úlohami funkcie monitorovania vibrácií na palube. Pozemná časť VMS zahŕňa trendovú analýzu vibračných signálov, ako aj sofistikované metódy založené na umelej inteligencii na diagnostiku vibračných udalostí, ktoré zahŕňajú údaje generované na krídle (On Wing), skúšobné lôžko a výsledky numerických simulácií vykonávaných s použitím rozsiahlych štrukturálnych modelov motorov využívajúc analýzy konečných prvkov.

Jedným z najcitlivejších parametrov nepretržitého monitorovania stavu leteckých motorov sú vibrácie motora. Tieto vibrácie sú zachytené jedným alebo viacerými akcelerometrami umiestnenými na vybraných polohách skrine motora. Najčastejšou veličinou, ktorá sa sleduje v prípade vibrácií je veľkosť amplitúdy kmitania alebo efektívna hodnota kmitania, tzv. RMS hodnota. S týmito získanými signálmi a ďalšími prevádzkovými parametrami, používanými na riadenie lietadla a motora, je možné spoľahlivo sledovať „technické zdravie“ motorov a v prípade potreby diagnostikovať dôvody poruchy motora. Na Obr. 5 môžeme vidieť priebeh a porovnanie správania abnormálnych a normálnych vibrácií motora, ktoré môže značiť poruchu niektorého z komponentov alebo prvkov motora.



Zdroj: Vlastné spracovanie

Obrázok 30. Priebeh a porovnanie abnormálnych a normálnych vibrácií v osiach x a y nameraných na motore

Analýza údajov týkajúcich sa vibrácií sa vykonáva pomocou monitorovacej jednotky motora (EMU – Engine Monitoring Unit) počas prevádzky motora na základe periodického časového cyklu 0,5s na

zhromažďovanie a analýzu údajov [7,8,9]. Počas každého z týchto cyklov sa vytvoria súčasne dve sady vibračných vzoriek v časovej oblasti, jeden pre každý vibračný menič [8]. Tieto súbory vzoriek vibrácií zodpovedajú jednotlivým rýchlostným pásmam, ktoré sú charakterizované definovanými rýchlosťami a zmenami rýchlosti akcelerometrov vzhľadom na čas a sú základom funkcie sledovania vibrácií. Pomocou sledovacích parametrov a súvisiacich údajov sa v rámci systému monitorovania vibrácií môžu vykonávať nasledujúce úlohy:

- detekcia prítomnosti vibrácií s následnými indikáciami a upozoreniami
- analýza trendov vibrácií a,
- diagnostika vibrácií.

S ohľadom na tieto skutočnosti sa vibrácie vyhodnocujú priamo v kabíne pre včasnú identifikáciu situácií ako:

- nárast nevyváženosti dôvodu "bežného" zhoršenia a používania,
- namŕzanie kompresorových lopatiek a vytváranie ľadu v podmienkach námrazy,
- dotyk rotorových lopatiek plášťa motora,
- kmitanie konštrukcie lietadla,
- nadmerné nevyváženie kvôli prítomnosti cudzích objektov (FOD - foreign object debris), stret s vtákom, strata lopatky rotora, vniknutie cudzích predmetov do motora,
- nestabilita v dôsledku poruchy uvoľnených kĺbových spojov,
- nesúosovosť kvôli vnútorným skresleniam - rozbité ložiskové podpery / montážne väzby.

Spomenuté poruchy je potrebné riešiť bezprostredne po zistení zvýšených vibrácií motora. Zvýšenie úrovne vibrácií v určitom čase je napríklad dôsledkom vytvorenia nesymetrickej vrstvy ľadu v predných stupňoch nízkotlakového kompresora a následne vytvára vysokú úroveň nerovnováhy. Po vypustení vrstvy ľadu sa motor vráti do stabilného stavu a úroveň vibrácií motora sa vráti do normálnych hodnôt.

Významnou aplikáciou systému sledovania vibrácií je zistenie vyšších úrovní vibrácií v dôsledku priameho styku rotorových lopatiek a plášťa motora. Táto dočasná deformácia rotora vysokotlakovej časti môže spôsobiť veľmi vysoké amplitúdy vibrácií spôsobené budením rôznych primárnych režimov rotora. V dôsledku týchto vysokých úrovní vibrácií môže dôjsť k významnému poškodeniu obloženia a tesnení kompresora, čo spôsobí značné predčasné poškodenie motora. V prípade zvýšených vibrácií, ktoré svojou hodnotou nepresiahli kritickú hladinu, no predstavujú potenciálne nebezpečenstvo v dôsledku uvoľnenia jednotlivých väzieb, alebo v dôsledku rezonancie niektorých častí je možné sa využitím vhodnej analýzy dostať k údajom, ktoré pomôžu identifikovať príčiny vibrácií. Vibračné analýzy sú stále veľmi aktívnou oblasťou výskumu práve kvôli svojim diagnostickým a prognostickým potenciálom.

3 Diskusia a záver

Článok opisuje súčasné známe tradičné, ako aj progresívne metódy monitorovania vibrácií konštrukčných celkov lietadla. Článok potvrdzuje skutočnosť, že vibrodiagnostika so svojimi diagnostickými a prognostickými vlastnosťami naďalej predstavuje účinný nástroj na sledovanie a hodnotenie technického stavu, ako konštrukčných celkov, mechanických sústav, tak aj rotačných prvkov, na základe ktorých tieto celky a sústavy plnia svoju funkciu. Autori vyzdvihli hlavné rozdiely jednotlivých veľmi podobných metód sledovania technického stavu. Charakterizovalo sa monitorovanie vibrácií v počiatočných fázach výroby lietadla, respektíve testovaniu vibrácií na zemi pred jeho certifikáciou a zavedením do prevádzky, ako aj monitorovanie mechanického kmitania jednotlivých častí, najmä motora počas letu. Článok predstavuje komplexný prehľad o dôležitosti monitorovania významných parametrov, akými sú práve vibrácie. Okrem toho definuje limitácie jednotlivých metód spoľahlivo vibrácie zaznamenávať, analyzovať a na základe ich zberu za určité časové obdobie ich využívať ako indikátor pre predikciu nežiadúcich porúch, ktoré boli taktiež prezentované.

Pod'akovanie

Predložený článok je výstupom projektu Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky KEGA 040ŽU-4/2022 Transfer progresívnych metód vzdelávania do študijného programu "Technológia údržby lietadiel" a "Letecká doprava".

4 Literatúra

- [1] BUGAJ, M. – PECHO, P. – JANOVEC, M. Failure rate analysis in aircraft maintenance procedures. In *Zvyšovanie bezpečnosti a kvality v civilnom letectve*. 2020. Vol. 21, no. 1/2020, s. 29-31. Dostupné na internete: <https://doi.org/10.26552/zbk.Z.2020.1.5>
- [2] International Air Transport Association. Airline Maintenance Cost Executime Commentary FY2020 Data. 2021. Dostupné na internete: https://www.iata.org/contentassets/bf8ca67c8bcd4358b3d004b0d6d0916f/fy2020-mctg-report_public.pdf
- [3] Saidin, S. S. – Kudus, S. A. – Jamadin, A. – Anuar, M. A. – Amin, N. M. – Ya, A. B. – Sugiura, K. Vibration-based approach for structural health monitoring of ultra-high-performance concrete bridge. In *Case Studies in Construction Materials*. 2022. Vol. 18, no. e01752 [cit. 2022- 08- 21].
- [4] RANDALL, R. B. Vibration-based condition monitoring: Industrial, Aerospace and Automotive Applications. 1 vyd. ISBN:9780470747858. 2010.
- [5] GÖGE, D. - BÖSWALD, M. – FÜLLEKRUG, U. – LUBRINA, P. Ground Vibration Testing of Large Aircraft - State-of-the-art and Future Perspectives. In IMAC XXV 2007. Orlando, Florida. Dostupné na internete: <https://www.semanticscholar.org/paper/Ground-Vibration-Testing-of-Large-Aircraft-and-Göge-Böswald/285e14078d79b097143792554205f7225fef2f98>
- [6] DESSENA, G. – IGNATYEV, D. I. – WHIDBORNE, J. F. – PONTILLO, A. – FRAGONARA, L. Z. Ground Vibration Testing of a Flexible Wing: A Benchmark and Case Study. In *Aerospace*. 2022, Vol. 9, no. 8. s. 438. Dostupné na internete: <https://doi.org/10.3390/aerospace9080438>
- [7] FURUTA, H. Structural Health Monitoring And Intelligent Vibration Control Of Cable-Supported Bridges: Research And Application. In *KSCE Journal of Civil Engineering*, 2003. Vol. 7, no. 6, s. 701-716.
- [8] BARRAGAN, J. M. Engine Vibration Monitorin And Diagnosis Based On On-Board Captured Data. In *RTO A VTSymposiun on "Ageing Mechanisms and Control*. 2001. Manchester: RTO-MP-079, Vol 1. s. 7-1 – 7-14.
- [9] LAW, L. C. Recent Advancements in Aircraft Engine Health Management (EHM) Technologies and Recommendations for the Next Step. In *Proceedings of the ASME Turbo Expo 2005: Power for Land, Sea, and Air. Volume 1: Turbo Expo 2005*. Reno, Nevada, USA. June 6–9, 2005. s. 683-695. ASME. Dostupné na internete: <https://doi.org/10.1115/GT2005-68625>