

Svet Dopravy

01/2025



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 Jaśkiewicz, 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

PRIEMYSELNÉ A SERVISNÉ ROBOTY V SÚČASNOM PRIEMYSLE A LOGISTIKE	4
DIGITÁLNY ROZHODOVACÍ RÁMEC PRE TVORBU INTEGROVANÝCH A UDRŽATEĽNÝCH DOPRAVNÝCH SYSTÉMOV	13
ANALÝZA VYBRANÝCH CHARAKTERISTÍK REGIONÁLNEJ AUTOBUSOVEJ DOPRAVY NA SLOVENSKU A V ČESKEJ REPUBLIKE	23
RIADENIE BEZPEČNOSTI POZEMNÝCH KOMUNIKÁCIÍ	31

PRIEMYSELNÉ A SERVISNÉ ROBOTY V SÚČASNOM PRIEMYSELE A LOGISTIKE

Autor:

Dominik BENČO¹,

Tituly a pôsobisko autorov:

¹ Ing. Dominik Benčo, 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: dominik.benco@stud.uniza.sk

Abstrakt: Článok sa zaoberá významom a vývojom priemyselných a servisných robotov v súčasnom priemysle a logistike. Začína zdôraznením rastúceho významu automatizácie podporovanej technologickými inováciami, ktoré prispievajú k vyššej efektívnosti, produktivite a bezpečnosti pracovných procesov. Priemyselné roboty, ako sú definované v norme ISO 8373:2021, sa najčastejšie používajú vo výrobe, kde dominujú odvetvia, ako je automobilový priemysel, elektrotechnika a strojárstvo. V roku 2023 bolo na celom svete nainštalovaných viac ako 500 000 robotov, pričom najväčší podiel inštalácií zaznamenala Ázia. Na druhej strane servisné roboty nachádzajú uplatnenie v doprave, logistike a ďalších oblastiach mimo tradičného priemyslu. Osobitná pozornosť sa venuje mobilným robotickým platformám AGV a AMR porovnanie týchto dvoch systémov poukazuje na rozdiely v navigácii, flexibilitě, nákladoch a vhodnosti použitia. AGV využíva pevnú infraštruktúru, zatiaľ čo AMR ponúka väčšiu autonómiu a prispôsobivosť v dynamickom prostredí. V príspevku sa uvádzajú aj štatistické údaje o globálnom trhu s týmito technológiami, ktoré potvrdzujú ich dynamický rast a kľúčovú úlohu v budúcnosti automatizovanej logistiky a výroby.

Kľúčové slová: priemyselné roboty, servisné roboty, AGV, AMR

JEL: L91

INDUSTRIAL AND SERVICE ROBOTS IN CONTEMPORARY INDUSTRY AND LOGISTICS

Abstract: The article discusses the importance and development of industrial and service robots in contemporary industry and logistics. It begins by highlighting the growing importance of automation supported by technological innovations that contribute to greater efficiency, productivity and safety of work processes. Industrial robots, as defined in ISO 8373:2021, are most commonly used in manufacturing-dominated industries such as automotive, electrical and mechanical engineering. In 2023, more than 500,000 robots were installed worldwide, with Asia accounting for the largest share of installations. On the other hand, service robots are finding applications in transportation, logistics, and other areas outside traditional industries. Particular attention is paid to AGV and AMR mobile robotic platforms. A comparison of the two systems highlights the differences in navigation, flexibility, cost and suitability of use. AGV uses a fixed infrastructure, while AMR offers greater autonomy and adaptability in dynamic environments. The paper also provides statistics on the global market for these technologies, confirming their dynamic growth and key role in the future of automated logistics and manufacturing.

Keywords: industrial robots, service robots, AGV, AMR

1 Úvod

V posledných rokoch zaznamenal trh s robotikou výrazný rast, ktorý bol spôsobený technologickými inováciami a rastúcim dopytom po automatizácii v rôznych priemyselných odvetviach. Priemyselné a servisné roboty zohrávajú kľúčovú úlohu pri zvyšovaní efektívnosti, produktivity a bezpečnosti v priemyselných a komerčných aplikáciách.

Automatizácia pomocou priemyselných a servisných robotov prináša aj významné ekonomické výhody. Roboty môžu pracovať nepretržite, 24 hodín denne, 7 dní v týždni, bez potreby prestávok. Okrem toho roboty vďaka svojej vysokej presnosti a opakovateľnosti minimalizujú výrobné chyby a plytvanie, čo prispieva k vyššej kvalite finálnych výrobkov. Moderné servisné roboty sú vybavené pokročilými senzormi a kamerami, ktoré im umožňujú navigovať a zisťovať prekážky v ich prostredí. Používajú algoritmy strojového učenia, ktoré zlepšujú ich schopnosť prispôbiť sa zmenám a optimalizovať ich pohyb [1,2].

V posledných rokoch sú popri tradičných priemyselných robotoch čoraz populárnejšie aj mobilné robotické platformy, ako sú automatizované riadené vozidlá a autonómne mobilné roboty. Tieto technológie nachádzajú uplatnenie najmä v oblasti logistiky, skladovania a vnútropodnikovej logistiky. Automatizované riadené vozidlá sa pohybujú po vopred definovaných trasách a sú ideálne na opakujúce sa úlohy v stabilnom prostredí, zatiaľ čo autonómne mobilné roboty využívajú pokročilé senzory a algoritmy na samostatné rozhodovanie a navigáciu v dynamických a menej usporiadaných priestoroch. Vzhľadom na ich rastúci význam a rýchly vývoj sa stávajú kľúčovým nástrojom automatizácie v moderných logistických a výrobných reťazcoch [2].

2 Priemyselné roboty

Medzinárodný štandard ISO 8373:2021, ktorý poskytuje slovník pojmov týkajúcich sa robotiky, definuje priemyselné roboty ako "automaticky riadené, programovateľné, viacúčelové manipulátory, programovateľné v troch alebo viacerých osiach, ktoré môžu byť pevné alebo pohyblivé, určené na použitie v priemyselnej automatizácii" [3].

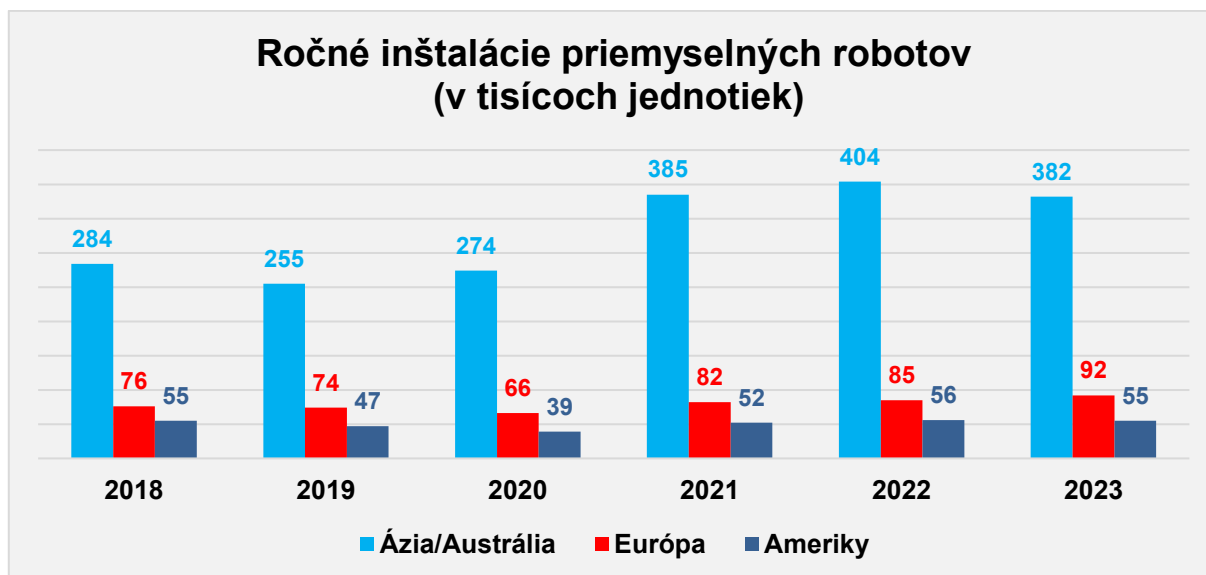
Prvé priemyselné roboty boli predstavené v polovici 20. storočia, keď spoločnosť Unimation uviedla na trh robot Unimate, ktorý sa stal prvým robotom používaným v automobilovom priemysle. Odvtedy sa technológia výrazne zlepšila a trh s priemyselnými robotmi zaznamenal exponenciálny rast. Technologický pokrok v oblasti priemyselných robotov pokračuje rýchlym tempom [2].

2.1 Ročné inštalácie priemyselných robotov

Tretí rok po sebe prekročili ročné inštalácie hranicu 500 000 kusov. Napriek náročným makroekonomickým podmienkam bol počet inštalácií len o 2 % nižší ako rekordných 552 946 jednotiek dosiahnutých v roku 2022. V roku 2023 presiahol prevádzkový stav priemyselných robotov hranicu štyroch miliónov kusov. Od roku 2018 sa prevádzkový stav priemyselných robotov každoročne zvyšoval v priemere o 12 % [4].

Ázia je najväčším svetovým trhom s priemyselnými robotmi. V roku 2023 bolo nainštalovaných 382 073 priemyselných robotov, čo predstavuje pokles o 6 % v porovnaní s rokom 2022, keď bolo zaznamenaných 404 391 inštalácií. Až 70 % všetkých novo nasadených robotov bolo inštalovaných v Ázii. V období rokov 2018 až 2023 rástol počet ročných inštalácií robotov v priemere o 6 % ročne. Tri z piatich najväčších trhov s priemyselnými robotmi sa nachádzajú v Ázii, pričom Čína si udržiava pozíciu jednoznačne najväčšieho trhu. V roku 2023 bol každý druhý novo nainštalovaný robot na svete umiestnený práve v Číne. V roku 2023 bolo v Európe nainštalovaných 92 393 priemyselných robotov, čo predstavuje medziročný nárast o 9 %. V Nemecku, ktoré je najväčším trhom v Európe a jediným európskym štátom zaradeným medzi päť najväčších svetových trhov, vzrástol počet inštalácií o 7 % na 28 355 jednotiek. V Taliansku, ako druhom

najväčšom európskom trhu, došlo k poklesu o 9 % na 10 412 jednotiek. Francúzsko, tretí najväčší trh v regióne, zaznamenalo pokles o 13 %, pričom bolo inštalovaných 6 386 robotov [4]. Na obrázku č.1 sú znázornené ročné inštalácie priemyselných robotov.



Zdroj: Vlastné spracovanie na základe [4]

Obr. 1 Inštalácie priemyselných robotov podľa regiónov

V regióne Ameriky sa počet inštalácií priemyselných robotov v roku 2023 stabilizoval na veľmi vysokej úrovni. Bolo nainštalovaných 55 389 jednotiek, čo predstavuje mierny pokles o 1 % v porovnaní s rekordným rokom 2022, keď bolo nainštalovaných 55 880 jednotiek. Najväčším trhom v rámci regiónu Ameriky zostávajú Spojené štáty, na ktoré pripadá 68 % všetkých inštalácií spolu 37 587 jednotiek, čo predstavuje medziročný pokles o 5 %. Ďalšie dva hlavné trhy regiónu sú tiež v Severnej Amerike v Mexiku bolo nainštalovaných 5 832 robotov (pokles o 3 %) a v Kanade bolo nainštalovaných 4 311 jednotiek, čo predstavuje výrazný nárast o 37 % v porovnaní s predchádzajúcim rokom [4].

2.2 Rast trhu priemyselných robotov podľa odvetví

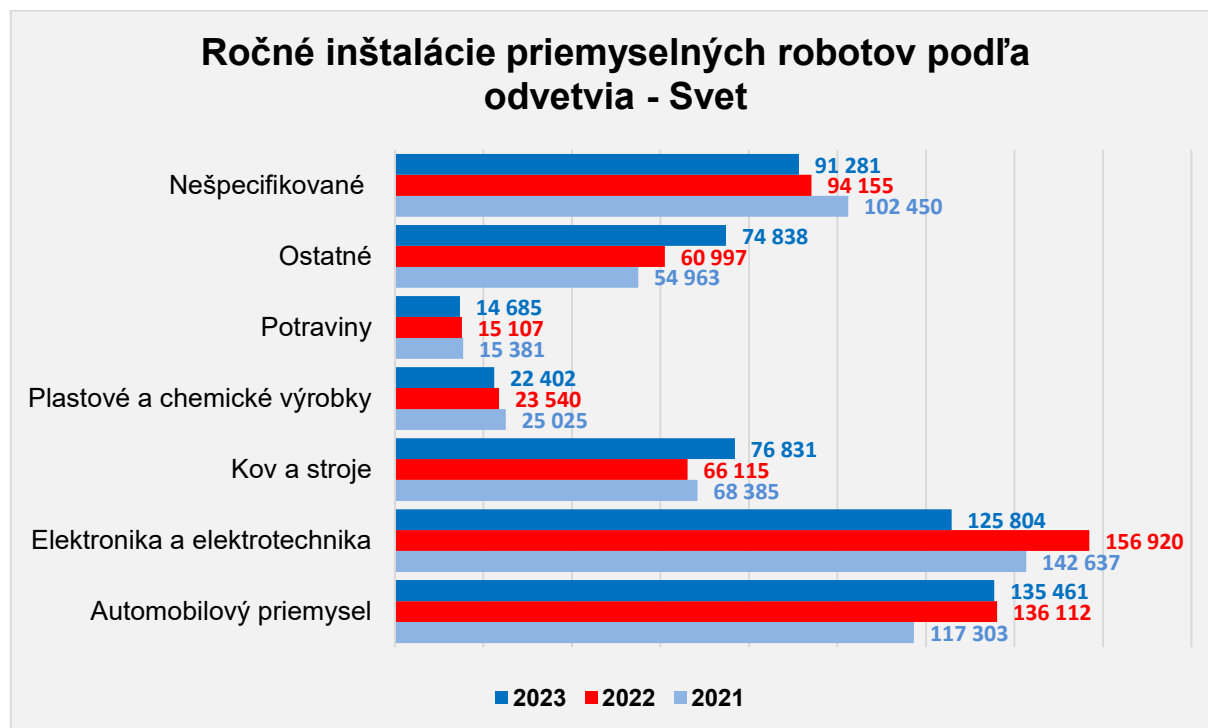
V roku 2023 si automobilový priemysel opäť upevnil pozíciu najväčšieho zákazníka v oblasti inštalácií priemyselných robotov. Dopyt zostal stabilný na veľmi vysokej úrovni bolo nainštalovaných 135 461 robotov, čo je len o 651 menej než rekordných 136 112 jednotiek v roku 2022. Investície v sektore boli orientované najmä na transformáciu výrobných procesov spojenú s prechodom od spaľovacích motorov k alternatívnym pohonom [4].

Elektrotechnický a elektronický priemysel sa v roku 2023 posunul na druhé miesto medzi najväčšími odberateľmi priemyselných robotov, keďže počet inštalácií v tomto odvetví medziročne poklesol o 20 % na 125 804 jednotiek. V roku 2022 pritom toto odvetvie dosiahlo historické maximum 156 936 inštalovaných robotov najmä vo výrobe domácich spotrebičov, elektrotechnických zariadení, polovodičov, solárnych panelov, výpočtovej techniky, telekomunikačných zariadení a elektroniky pre zábavný priemysel [4].

Sektor spracovania kovov a výroby strojov sa v roku 2023 etabloval ako tretí najväčší odberateľ priemyselných robotov. Výrobcom kovových produktov aj priemyselných strojov v posledných rokoch vo výraznej miere investovali do robotizácie [4].

Počet inštalácií v tomto sektore rástol od roku 2018 priemerným ročným tempom 12 %. V roku 2023 došlo k nárastu o 16 % na novú rekordnú úroveň 76 831 robotov [4].

Na obrázku č.2 sú zobrazené ročné inštalácie priemyselných robotov podľa odvetvia.



Zdroj: Vlastné spracovanie na základe [4]

Obr. 2 Inštalácie priemyselných robotov podľa odvetví

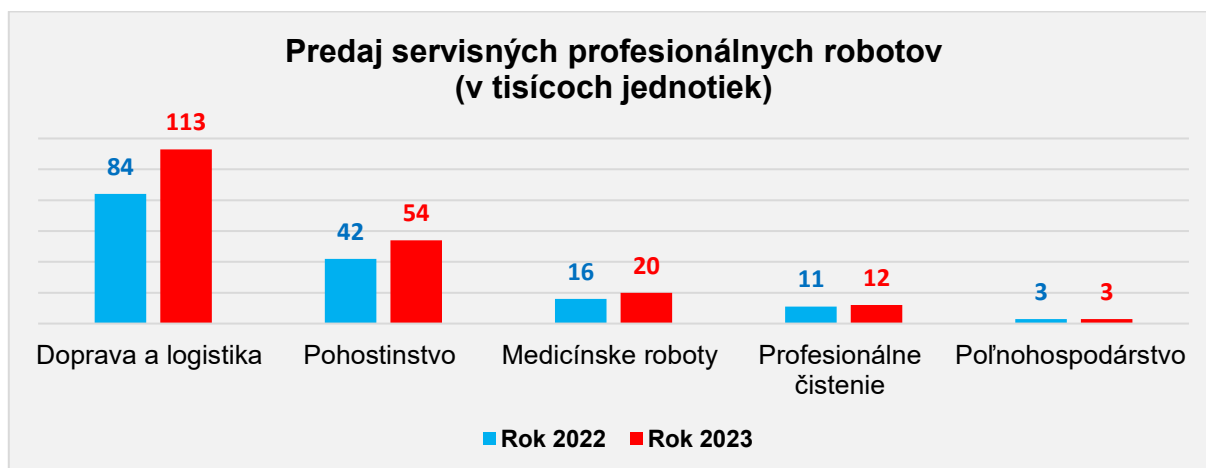
3 Servisné roboty

Medzinárodný štandard ISO 8373:2021, ktorý poskytuje slovník pojmov týkajúcich sa robotiky, definuje servisné roboty ako "robot určený na osobné alebo profesionálne použitie, ktorý vykonáva užitočné úlohy pre ľudí alebo zariadenia. Tieto úlohy môžu zahŕňať manipuláciu alebo servis predmetov, dopravu, fyzickú podporu, poskytovanie informácií, prípravu jedla, čistenie a ďalšie" [5].

Servisné roboty predstavujú špičkové technologické riešenia, ktoré zvyšujú efektivitu a bezpečnosť v rôznych sektoroch mimo priemyselných prostredí. Tieto roboty sú navrhnuté s množstvom pokročilých technických vlastností, ktoré im umožňujú vykonávať rôznorodé úlohy. Energetická úspornosť je kľúčovou vlastnosťou servisných robotov. Väčšina z nich používa dobíjacie batérie s vysokou kapacitou, ktoré zabezpečujú dlhodobú autonómnú prevádzku. Optimalizované algoritmy a energeticky úsporné komponenty predlžujú životnosť batérií a znižujú náklady na prevádzku [5].

3.1 Rast trhu priemyselných robotov podľa odvetví

Na obrázku č.3 je znázornený predaj servisných profesionálnych robotov v rokoch 2022 a 2023, rozdelený podľa piatich hlavných kategórií. Najvýraznejší nárast je vidieť v kategórii doprava a logistika, kde sa predaj zvýšil zo 84 tisíc kusov v roku 2022 na 113 tisíc kusov v roku 2023 [5].



Zdroj: Vlastné spracovanie na základe [5]

Obr. 3 Predaj servisných robotov podľa odvetví

Roboty v doprave a logistike predstavujú významný pokrok v automatizácii skladovacích a distribučných procesov. Tieto roboty sú navrhnuté na efektívnu prepravu tovaru vo vnútornom aj vonkajšom prostredí. Vo vnútorných prostrediach, ako sú sklady a výrobné závody, zvyšujú produktivitu rýchlym a presným premiestňovaním materiálov. Vonkajšie roboty zabezpečujú prepravu v prístavoch a na letiskách, pričom špeciálne navrhnuté jednotky môžu doručovať balíky priamo zákazníkovi. Roboty v doprave a logistike celkovo znižujú náklady a zvyšujú efektívnosť dodávateľských reťazcov [5].

3.2 Servisné roboty využívané v logistike

Servisné roboty hrajú kľúčovú úlohu v moderných logistických procesoch. Tieto roboty sú navrhnuté tak, aby zvyšovali efektívnosť, presnosť a bezpečnosť pri manipulácii s materiálmi, prepravou tovarov a optimalizáciou skladových operácií. V logistike sa často využívajú autonómne riadené vozidlá a autonómne riadené roboty.

Rozdiel medzi AGV a AMR

Autonómne riadené vozidlá (AGV) sa pohybujú po vopred definovaných trasách, ktoré si vyžadujú fyzickú infraštruktúru, ako sú vodiace pásy, magnetické pásy alebo vodiace čiary. Tieto systémy sú spoľahlivé, ale menej flexibilné v dynamicky sa meniacom prostredí. V prípade prekážok sa vozidlá AGV zvyčajne zastavia a čakajú na manuálny zásah [6].

Autonómne mobilné roboty (AMR) na druhej strane používajú senzory, kamery a algoritmy umelej inteligencie na vytváranie a aktualizáciu mapy prostredia. Dokážu sa flexibilne pohybovať, vyhýbať sa prekážkam v reálnom čase a prispôbovať sa zmenám v usporiadaní skladu bez potreby ľudského zásahu. AMR predstavujú pokročilejšie riešenie vhodné pre dynamické a nepredvídateľné prevádzkové činnosti [6].

Nasledujúca tabuľka porovnáva hlavné charakteristiky systémov AGV a AMR z hľadiska navigácie, inštalácie, flexibility, reakcie na prekážky, nákladov a oblastí využitia.

Tab. 1 Porovnanie charakteristík systémov AGV a AMR

	AGV	AMR
Spôsob navigácie	Nasleduje pevne určené trasy	Využíva dynamické mapovanie prostredia
Inštalácia	Vyžaduje fyzické vedenie trás	Nemusí sa meniť infraštruktúra, prispôbuje sa prostrediu
Využitie	Výrobná logistika	Distribúcia v skladoch, E-commerce
Vyhýbanie sa prekážkam	AGV sa zastaví, ak narazí na prekážku vyčkáva, kým nie je prekážka manuálne odstránená	AMR autonómne obchádza prekážky a optimalizuje trasu podľa internej mapy prostredia
Flexibilita	Pridávanie nových trás alebo cieľových bodov je technicky náročnejšie a menej prispôsobivé	Jednoduché predefinovanie trás a určenie nových cieľových bodov v reálnom čase
Náklady	AGV má jednoduchšiu konštrukciu a softvér, preto je cenovo výhodnejší ako AMR	AMR je drahší kvôli presnejším snímačom a komplexnejšiemu riadiacemu softvéru

Zdroj: Vlastné spracovanie podľa [7]

Z tabuľky 1 vyplýva, že najvýraznejší rozdiel spočíva v spôsobe navigácie. Zatiaľ čo vozidlá AGV používajú pevné trasy a vyžadujú fyzickú infraštruktúru, ako sú vodiace pásy alebo značky, vozidlá AMR pracujú na princípe dynamického mapovania prostredia a môžu sa autonómne prispôbovať zmenám v prostredí.

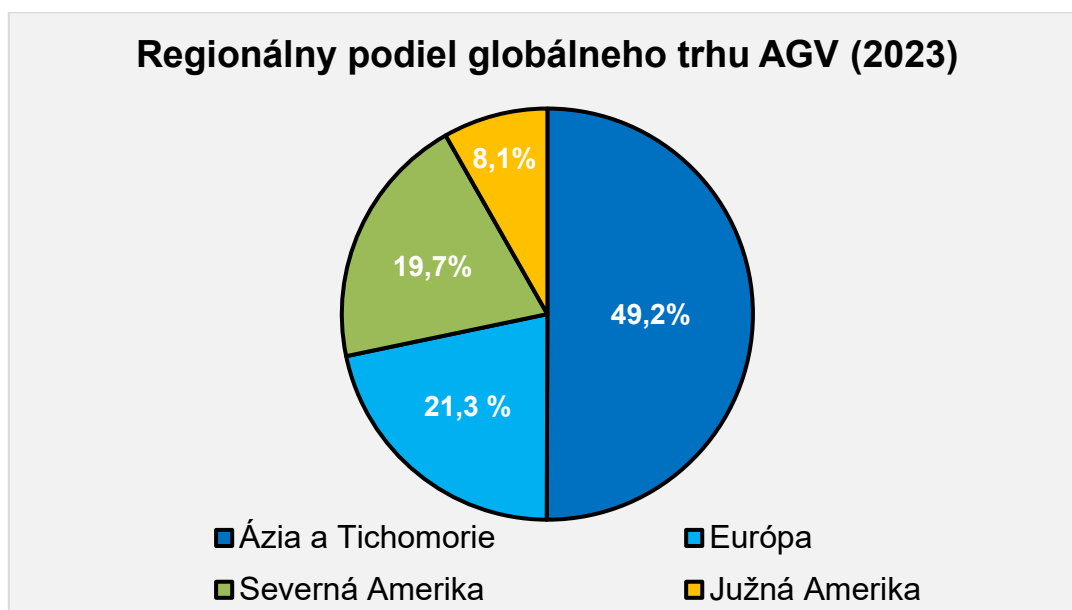
Z hľadiska inštalácie sú vozidlá AGV jednoduchšie z hľadiska konštrukcie systému, ale ich nasadenie je technicky náročnejšie vzhľadom na potrebu úprav prostredia. AMR sú flexibilnejšie nevyžadujú si žiadne zásahy do infraštruktúry, čím šetria čas a náklady pri implementácii. Použitie AGV je typické pre výrobnú logistiku so stabilnými trasami, zatiaľ čo AMR sa používajú najmä v skladoch, distribučných centrách a elektronickom obchode, kde sa prostredie často mení [7].

Ďalším zásadným rozdielom je správanie pri výskyte prekážok. AGV sa zastaví a čaká, kým sa prekážka odstráni, čo si vyžaduje manuálny zásah. Na druhej strane AMR využíva senzory a internú mapu na prepočítanie trasy a samostatné obídenie prekážky. Hoci vozidlá AMR predstavujú vyššiu investíciu, ich výhody v oblasti autonómie a prevádzkovej flexibility môžu v konečnom dôsledku výrazne prevážiť počiatočné náklady najmä v zložitých a dynamických prostrediach [7].

3.3 Rozdelenie trhu AGV

Ázijsko-tichomorský región si upevnil svoju pozíciu globálneho lídra na trhu AGV tým, že v roku 2023 dosiahol trhovú podiel 49 % na globálnom trhu, čo predstavuje absolútnu hodnotu vo výške 3 miliardy USD (obrázok). Predpokladá sa, že tento región zaznamená silný rast s predpokladanou hodnotou 14,9 miliardy USD do roku 2032. Tento dynamický vývoj je spôsobený najmä intenzívnym rozvojom priemyselnej automatizácie a rastúcim významom výrobného sektora v krajinách regiónu [8].

Európa si udržiava pozíciu druhého najväčšieho trhu s AGV a v roku 2023 dosiahla hodnotu 1,3 miliardy USD. Rast v Európe je výsledkom systematického zavádzania technológií AGV v moderných výrobných závodoch a logistických operáciách, najmä v krajinách s vysokou úrovňou technologickej pripravenosti. Severná Amerika dosiahla v roku 2023 veľkosť trhu 1,2 miliardy USD, pričom v roku 2032 sa predpokladá hodnota 4,8 miliardy USD pri priemernej ročnej miere rastu 19,3 %. Tento rast je spôsobený vysokou úrovňou inovácií, rýchlym zavádzaním pokročilých automatizačných riešení a priaznivým regulačným a podnikateľským prostredím [8]. Na obrázku č.4 je znázornené regionálne rozdelenie trhu s AGV v roku 2023.



Zdroj: Vlastné spracovanie na základe [8]

Obr. 4 Regionálne rozdelenie podielu trhu AGV

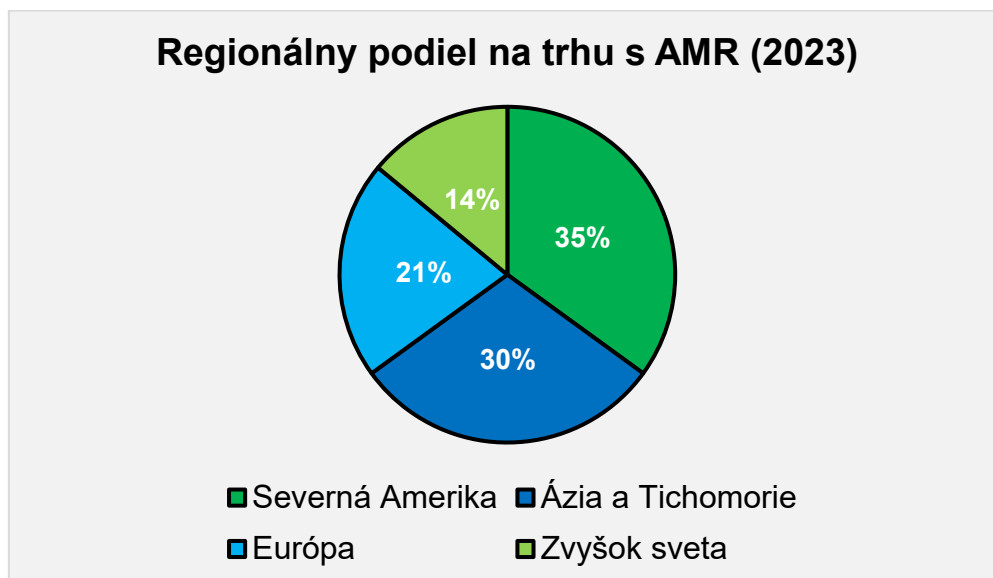
Trhy Blízkeho východu a Afriky a Južnej Ameriky vykazujú sľubný rastový potenciál, hoci zatiaľ dosahujú nižšie absolútne objemy. V roku 2023 mal trh s AGV v týchto regiónoch hodnotu 98,8 milióna USD, resp. 493,3 milióna USD a predpokladá sa, že do roku 2032 vzrastie na 335,8 milióna USD, resp. 1,8 miliardy USD [].

3.4 Rozdelenie trhu AMR

Podľa prieskumu spoločnosti Market Research Future by mal globálny trh s AMR v roku 2023 dosiahnuť hodnotu 1,4 miliardy USD a rásť by mal zloženou ročnou mierou rastu 9 %. Dlhodobá prognóza na obdobie 2023 - 2032 predpokladá priemernú ročnú mieru rastu 8 %, čo je o niečo menej ako v predchádzajúcich štúdiách. Za predpokladu tohto tempa by mal trh do roku 2032 dosiahnuť hodnotu 2,8 miliardy USD [9].

Spoločnosť Next Move Strategy Consulting rozdeľuje globálny trh s AMR na štyri hlavné regióny: Severná Amerika, Európa, ázijsko-tichomorský región a zvyšok sveta. Severná Amerika zostáva významným účastníkom trhu - predpokladá sa, že základná hodnota 362 miliónov USD v roku 2022 vzrastie do roku 2030 na 904 miliónov USD, čo predstavuje zloženú priemernú ročnú mieru rastu 11,21 % [9].

Na obrázku č.5 je znázornené regionálne rozdelenie trhu s AMR v roku 2023.



Zdroj: Vlastné spracovanie na základe [9]

Obr. 5 Regionálne rozdelenie podielu trhu AMR

Najvýraznejší rast sa očakáva v ázijsko-tichomorskom regióne, kde sa predpokladá, že hodnota trhu do roku 2030 dosiahne 1,235 miliardy USD, čo predstavuje 18,47 % ročný priemerný rast. V roku 2023 Severná Amerika a Európa spolu predstavovali približne 56 % celosvetového trhového podielu, pričom samotná Severná Amerika predstavovala 35 % [9].

Naopak, odhaduje sa, že Ázia a ostatné regióny sveta budú predstavovať zvyšných 44 % trhu. Očakáva sa, že do roku 2030 sa ich spoločný podiel zvýši na 54,35 %, čo odráža rýchlejší rast v týchto rozvíjajúcich sa regiónoch [9].

4 Záver

Priemyselné roboty sa stali kľúčovým nástrojom najmä vo veľkosériovej výrobe, kde ich schopnosť pracovať nepretržite a minimalizovať chyby predstavuje významnú konkurenčnú výhodu. Na druhej strane servisné roboty najmä tie, ktoré sa nasadzujú v logistike preukázali svoj potenciál pri distribúcii, skladovaní a procesoch internej logistiky. Významná je najmä rozdielnosť medzi AGV a AMR, ktorá odráža rozdielne požiadavky na pohyblivosť, orientáciu v priestore a prispôsobivosť na nepredvídateľné podmienky.

Prognózy globálneho trhu naznačujú výrazný rast najmä v oblasti autonómnych mobilných robotov, čo zodpovedá rastúcemu významu elektronického obchodu, digitalizácii logistiky a tlaku na znižovanie prevádzkových nákladov. Vysoký potenciál rastu v ázijsko-tichomorskom regióne zároveň poukazuje na potrebu strategických investícií do výskumu a vývoja robotických systémov aj v európskom priestore s cieľom zabezpečiť technologickú konkurencieschopnosť.

Záverom možno konštatovať, že robotika už nie je len doplnkovým nástrojom, ale neoddeliteľnou súčasťou komplexnej transformácie moderného priemyslu a logistiky a jej význam bude naďalej rásť s rastúcimi požiadavkami na automatizáciu.

5 Literatúra

- [1] M.A.K. BAHRAIN, M.F. OTHMAN, N.H.N. AZLI, M.F. TALIB, *INDUSTRY 4.0: A Review on Industrial Automation and Robotic*, Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering), 78(6–13), pp. 137–143, 2016.
- [2] ROLAND BERGER *Strategy Consultants, Industry 4.0, The New Industrial Revolution: How Europe Will Succeed*. pp. 1–24, 2014.
- [3] Medzinárodný štandard ISO 8373 – 2021. [cit. 28. 5.2024]. Dostupné na internete: <https://www.iso.org/standard/75539.html>
- [4] Svetová robotika - Priemyselné roboty. [online]. [cit. 4. 5. 2025]. Dostupné na internete: <https://ifr.org/wr-industrial-robots/>
- [5] Svetová robotika - Servisné roboty. [online]. [cit. 4. 5. 2025]. Dostupné na internete: <https://ifr.org/wr-service-robots/>
- [6] KUBASÁKOVÁ, I.; KUBÁŇOVÁ, J.; BENČO, D.; FÁBRYOVÁ, N. *Application of Autonomous Mobile Robot as a Substitute for Human Factor in Order to Increase Efficiency and Safety in a Company*. Appl. Sci. 2024, 14, 5859. <https://doi.org/10.3390/app14135859>
- [7] AGV Network. AGV vs AMR – Aký je rozdiel? [online]. [cit. 4. 5.2024]. Dostupné na internete: <https://www.agvnetwork.com/agv-vs-amr>
- [8] MELISSA, RIKA. AGV Market Analysis: Global Growth, Trends, and Forecast 2024–2032. [online]. [cit. 4. 5. 2025]. Dostupné na internete: <https://statzon.com/insights/automated-guided-vehicle-market>
- [9] STATZON. Global Autonomous Mobile Robot Market. [online]. [cit. 4. 5. 2025]. Dostupné na internete: <https://statzon.com/insights/global-autonomous-mobile-robot-market>

DIGITÁLNY ROZHODOVACÍ RÁMEC PRE TVORBU INTEGROVANÝCH A UDRŽATEĽNÝCH DOPRAVNÝCH SYSTÉMOV

Autori:

Zdenka BULKOVÁ ¹, Jaroslav MAŠEK ² Milan DEDÍK ³

Tituly a pôsobisko autorov:

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

²doc. Ing. Jaroslav Mašek, PhD., Žilinská univerzita v Žiline, Univerzitná 8215/1, Žilina, 010 26, Slovensko, jaroslav.masek@uniza.sk

³Ing. Milan Dedík, PhD., Žilinská univerzita v Žiline, Univerzitná 8215/1, Žilina, 010 26, Slovensko, milan.dedik@uniza.sk

Abstrakt: *Súčasná mestá a regióny čelia rastúcim nárokom na tvorbu dopravných systémov, ktoré musia byť nielen funkčne integrované, ale aj dlhodobu udržateľné. Digitálne technológie prinášajú nové možnosti pre zber, spracovanie a vyhodnocovanie dát, ktoré môžu výrazne prispieť k zefektívneniu rozhodovacích procesov v doprave. Predkladaný článok predstavuje digitálny rozhodovací rámec, ktorý integruje nástroje dátovej analýzy, participatívne platformy pre zapojenie zainteresovaných strán a viacúrovňové hodnotenie na základe kritérií udržateľnosti. Navrhovaný rámec je modulárny a uplatniteľný najmä pri strategickom plánovaní dopravných systémov. Výsledkom je transparentný, flexibilný a dôkazovo podložený rozhodovací proces podporujúci harmonizovaný rozvoj jednotlivých druhov mobility.*

Kľúčové slová: inteligentné dopravné systémy, digitálny rozhodovací rámec, udržateľná mobilita, integrovaná doprava, digitálne technológie

JEL: klasifikácia článku podľa JEL

DIGITAL DECISION-MAKING FRAMEWORK FOR DESIGNING INTEGRATED AND SUSTAINABLE TRANSPORT SYSTEMS

Abstract: *Contemporary cities and regions are facing increasing demands in developing transport systems that are not only functionally integrated but also long-term sustainable. Digital technologies offer new opportunities for data collection, processing, and evaluation, which can significantly enhance decision-making processes in transport. This paper presents a digital decision framework that integrates data analytics tools, participatory platforms for stakeholder engagement, and multi-level evaluation based on sustainability criteria. The proposed framework is modular and applicable primarily in the strategic planning of transport systems. The outcome is a transparent, flexible, and evidence-based decision-making process that supports the harmonized development of various modes of mobility.*

Keywords: intelligent transport systems, digital decision-making framework, sustainable mobility, integrated transport, digital technologies

1 Úvod

V súčasnosti sa dopravné systémy nachádzajú na kritickej križovatke, keď čelia bezprecedentnému tlaku spôsobenému urbanizáciou, klimatickými zmenami, rastúcimi nárokmi na mobilitu a očakávaniami

verejnosti v oblasti kvalitných a dostupných služieb [1]. Tieto trendy nielenže zintenzívňujú zložitosť pohybových vzorcov, ale zároveň spochybňujú schopnosť tradičných plánovacích nástrojov efektívne a spravodlivo reagovať. Kľúčovou výzvou pre mestá a regióny je navrhnúť a implementovať dopravné politiky, ktoré zabezpečia funkčnú integráciu rôznych druhov dopravy vrátane verejnej, individuálnej, alternatívnej a nákladnej a zároveň budú v súlade s dlhodobými cieľmi udržateľnosti [2]. To si vyžaduje plánovacie stratégie, ktoré presahujú rámec izolovaných opatrení a zohľadňujú systémové, medziodvetvové a dynamické aspekty mobility.

V tomto kontexte význam inteligentných technológií výrazne rastie. Pokročilé dátové infraštruktúry, senzorické technológie a digitálne platformy dnes umožňujú zber, analýzu a interpretáciu komplexných dopravných dátových tokov v reálnom čase [3]. Tieto technológie nielenže zvyšujú efektívnosť operatívneho riadenia dopravných sietí, ale zároveň prispievajú k strategickému plánovaniu prostredníctvom poskytovania poznatkov založených na dôkazoch a prediktívnych schopnosti [4]. Ich integrácia do rozhodovacích procesov predstavuje výrazný potenciál pre transparentnejšie, adaptabilnejšie a inkluzívnejšie prístupy k plánovaniu mestskej mobility [5]. Významnou otvorenou otázkou však zostáva, ako tieto technologické inovácie efektívne zosúladiť s priestorovými, environmentálnymi a inštitucionálnymi špecifikami dopravných systémov, ako aj s participatívnymi potrebami rôznorodých skupín zainteresovaných strán [6].

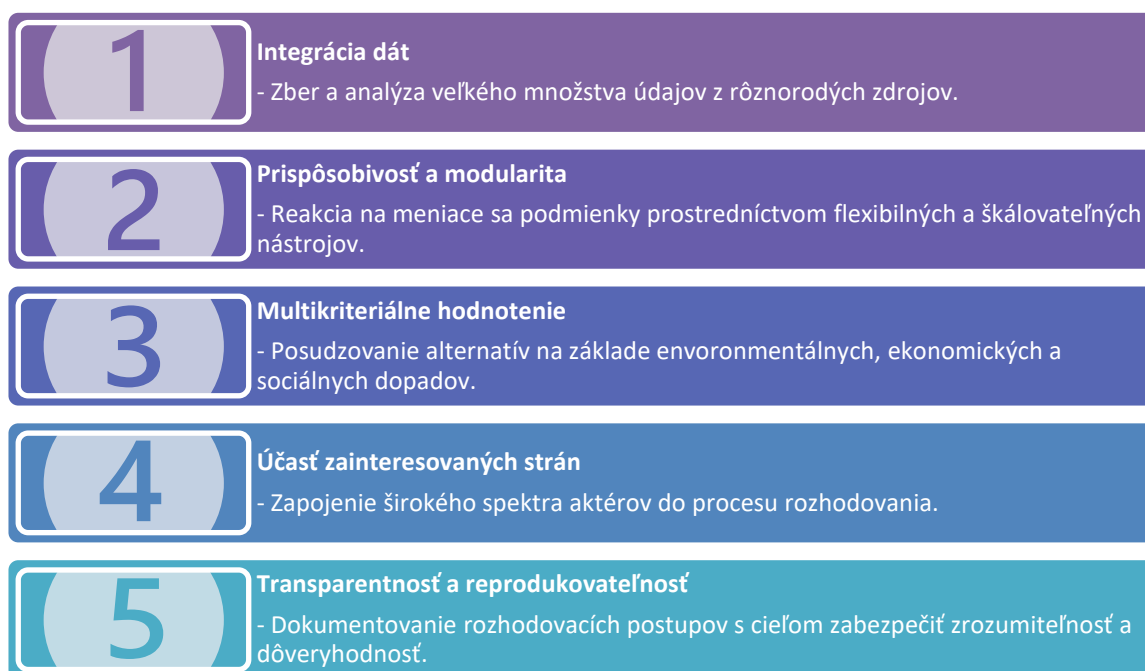
V posledných rokoch narastá význam digitalizácie a inteligentných dopravných systémov (ITS). Aplikácie ITS umožňujú monitorovanie dopravných tokov v reálnom čase, dynamickú optimalizáciu trás a modelovanie správania cestujúcich, čím prispievajú k flexibilnejšiemu a odolnejšiemu systému mestskej mobility [7]. Paralelne sa rozvíjajú digitálne nástroje rozhodovania, schopné generovať vizualizácie, simulácie a predikcie dopadov, ktoré otvárajú nové možnosti pre strategické predvídanie a plánovanie scenárov [8]. Napriek týmto pokrokom zostáva ich integrácia do politík a plánovacích procesov fragmentovaná, najmä pokiaľ ide o komplexné hodnotenie udržateľnosti a aktívne zapojenie zainteresovaných strán.

Cieľom tohto článku je preto predstaviť metodiku tvorby digitálneho rozhodovacieho rámca, navrhnutého na podporu plánovania, riadenia a hodnotenia integrovaných a udržateľných dopravných systémov. Táto metodika vznikla ako reakcia na potrebu multidisciplinárneho prístupu, ktorý prepája technické inovácie, strategické ciele správy vecí verejných a praktické potreby zainteresovaných strán v rôznorodých územných kontextoch. Navrhovaná metodika tvorby rámca vychádza z prepojenia systémového plánovania, dátovej analytiky a princípov participatívneho navrhovania. Jej jadrom je modulárna štruktúra, schopná flexibilne reagovať na rôzne požiadavky dopravného plánovania a riadenia v odlišných geografických, technologických a inštitucionálnych podmienkach. Tento prístup nielenže zvyšuje funkčnosť a interoperabilitu rozhodovacích nástrojov, ale zároveň posilňuje ich legitimitu, transparentnosť a súlad s dlhodobými transformačnými cieľmi v oblasti udržateľnosti.

2 Teoretické východiská digitálneho rozhodovania

Digitálne rozhodovanie v dopravnom plánovaní predstavuje súbor nástrojov, procesov a metodík, ktoré využívajú digitálne technológie na podporu informovaného, transparentného a participatívneho rozhodovania [9,10]. V kontexte súčasného rozvoja inteligentných miest a adaptívnych dopravných systémov sa otvárajú nové možnosti integrácie týchto nástrojov do strategického aj operatívneho riadenia mobility [11]. Tieto koncepty sú v súlade so širšími paradigmatickými posunmi vo verejnej správe, ktoré kladú dôraz na otvorenosť údajov, interdisciplinaritu a flexibilitu rozhodovania v rámci zložitých systémov.

Digitálny rozhodovací rámec vychádza z viacerých navzájom prepojených princípov, ktoré spoločne tvoria základ metodologicky pevného prístupu. Na obrázku 1 sú znázornené kľúčové princípy digitálneho rozhodovacieho rámca.



Zdroj: Vlastné spracovanie

Obr. 1. Kľúčové princípy digitálneho rozhodovacieho rámca.

Popis kľúčových princípov digitálneho rozhodovacieho rámca:

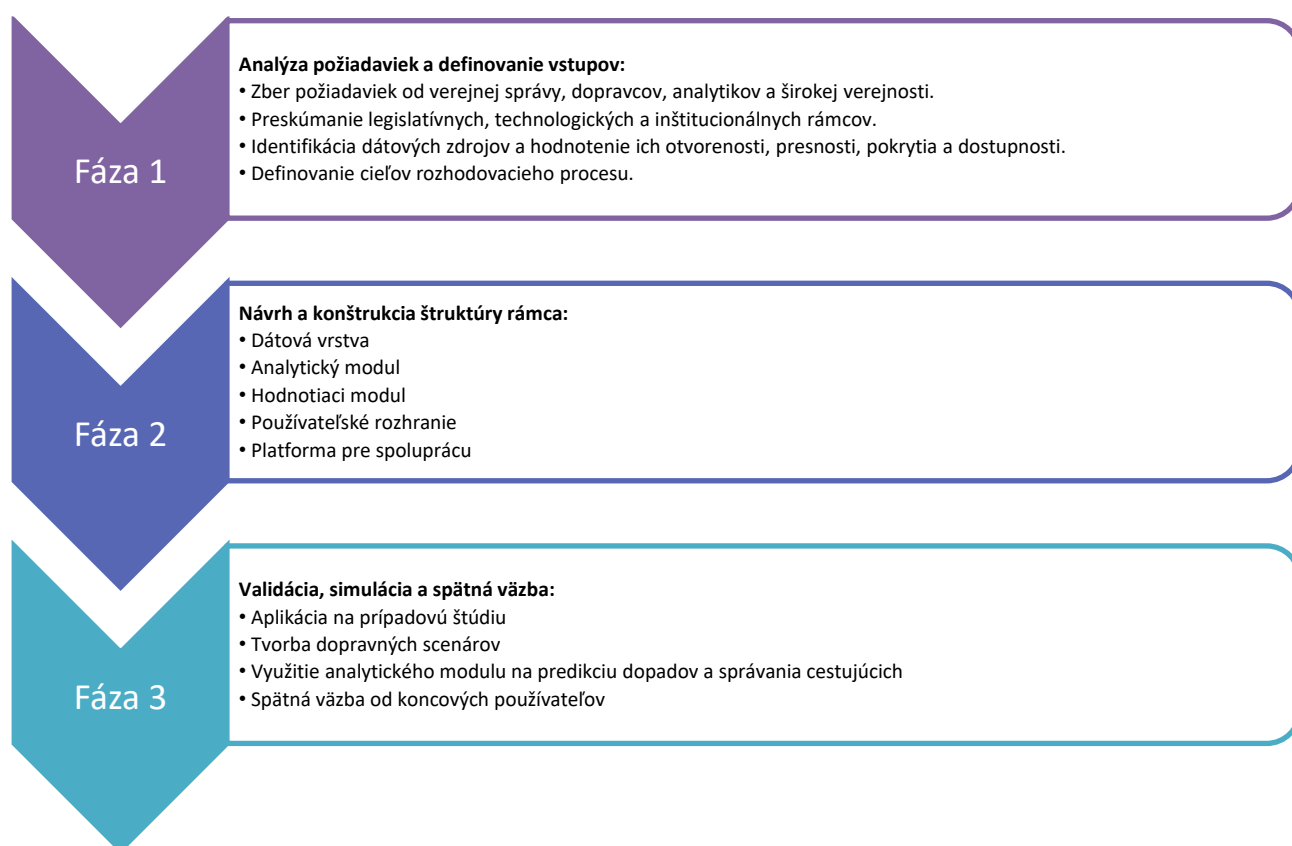
- **Integrácia dát** – Zber, agregácia a analýza veľkých objemov dát z rôznorodých zdrojov (senzory, mobilné aplikácie, verejné registre, platformy otvorených dát, satelitné snímky, detektory dopravy) umožňujú komplexné porozumenie dopravným javom v reálnom čase. Digitálny rámec vytvára jednotné dátové prostredie, ktoré slúži ako základ pre analytické, simulačné a predikčné modely. Integrácia dát zvyšuje schopnosť systému detegovať kritické situácie, identifikovať vzorce správania a predvídať budúce dopady rozhodnutí.
- **Prispôsobivosť a modularita** – Rozhodovacie systémy musia reagovať na meniace sa podmienky – od dopravných špičiek a sezónnych výkyvov až po mimoriadne udalosti (napr. nehody, klimatické extrémny, spoločenské nepokoje). Modulárna architektúra umožňuje flexibilné nasadenie a aktualizáciu nástrojov podľa špecifických potrieb prostredia alebo plánovacej fázy. Táto architektúra podporuje škálovateľnosť systému a bezproblémovú integráciu s existujúcou infraštruktúrou.
- **Multikriteriálne hodnotenie** – V digitálnom prostredí je možné súčasne hodnotiť viacero dopadov, ako napr. environmentálnych (emisie, hluk, spotreba energie), ekonomických (náklady, návratnosť investícií, prevádzková efektívnosť) a sociálnych (dostupnosť, spravodlivosť, spokojnosť používateľov). Modely ako AHP (Analytic Hierarchy Process), entropické „váhovanie“, fuzzy logika alebo metóda prvkov a vlastností umožňujú kombinovať subjektívne preferencie s objektívnymi dátami. Výsledkom sú transparentné a kvantifikovateľné hodnotenia alternatív.
- **Účasť zainteresovaných strán** – Digitálne nástroje zvyšujú schopnosť zapájať široké spektrum aktérov (samosprávy, dopravcov, organizácie občianskej spoločnosti, verejnosť) do rozhodovacích procesov prostredníctvom online konzultácií, crowdsourcingu, spätných väzieb, vizualizácií alebo participatívnych simulácií. Zapojenie zainteresovaných strán nielen zvyšuje legitimitu procesu, ale zároveň zlepšuje kvalitu rozhodnutí prostredníctvom integrácie miestnych poznatkov, potrieb a preferencií rôznych skupín obyvateľstva.
- **Transparentnosť a reprodukovateľnosť** – Jednou z výhod digitálnych systémov je schopnosť uchovávať a dokumentovať rozhodovacie postupy, parametre modelov, váhovacie schémy, analytické výstupy a použité algoritmy. To uľahčuje overovanie rozhodnutí, zjednodušuje

auditovanie a posilňuje dôveru verejnosti. Zároveň podporuje inštitucionálne učenie a prenos osvedčených postupov medzi mestami a regiónmi.

Digitálny rámec teda nepredstavuje len technické riešenie, ale komplexný metodologický prístup k plánovaniu. Podporuje iteratívne učenie na základe dát, dynamické hodnotenie dopadov, flexibilitu pri neistote a efektívne riadenie dopravných systémov v zložitých mestských prostrediach. Jeho význam narastá najmä v súvislosti s transformáciou dopravných politík smerom k udržiateľnosti, inkluzívnosti a digitálnemu riadeniu verejných záležitostí.

3 Metodika tvorby digitálneho rozhodovacieho rámca

Navrhovaná metodika tvorby digitálneho rozhodovacieho rámca je založená na integrácii systémového plánovania, dátovej analytiky a participatívneho navrhovania. Základným princípom je vytvorenie modulárneho systému, ktorý je schopný dynamicky reagovať na potreby dopravného plánovania a riadenia v rôznych geografických, technologických a inštitucionálnych kontextoch. Metodika pozostáva z troch hlavných fáz, ktoré sú znázornené na obrázku 2.



Zdroj: Vlastné spracovanie

Obr. 2. Metodika tvorby digitálneho rozhodovacieho rámca.

Navrhovaná metodika pozostáva z nasledujúcich fáz:

Fáza 1. Analýza požiadaviek a definovanie vstupov

Úvodná fáza metodiky predstavuje kľúčový krok pri navrhovaní digitálneho rozhodovacieho rámca, keďže určuje základné podmienky a východiská, na ktorých bude systém postavený. Cieľom tejto fázy je

identifikovať potreby zainteresovaných strán, preskúmať legislatívne a technické rámce, definovať dostupné dáta a stanoviť hlavné ciele rozhodovacieho procesu, na ktoré by sa mala navrhovaná architektúra orientovať.

Na začiatku sa realizuje systematický zber požiadaviek od všetkých kľúčových aktérov. Ide najmä o verejnú správu, ktorá definuje strategické ciele mobility a regulačné rámce; dopravcov, so zameraním na integráciu s ich informačnými a tarifnými systémami; analytikov a výskumníkov, ktorí potrebujú presné a kompatibilné dáta pre hodnotenie a modelovanie; a verejnosť, ktorá vyjadruje praktické očakávania a potrebu transparentnosti v rozhodovacích procesoch. Tieto požiadavky sa zhromažďujú prostredníctvom rozhovorov, workshopov, online dotazníkov a verejných konzultácií.

Súčasťou tejto fázy je aj dôkladná revízia legislatívneho, technologického a inštitucionálneho kontextu. Je nevyhnutné zabezpečiť súlad so smernicami, ako je napríklad GDPR pri práci s údajmi, a zároveň posúdiť možnosti integrácie navrhovaného systému s existujúcou infraštruktúrou. Zohľadňuje sa aj úroveň digitalizácie miestnych samospráv, pripravenosť personálu a štruktúra rozhodovacích procesov.

Rovnako dôležitá je analýza dostupnosti, kvality a interoperability dátových zdrojov. Identifikujú sa typy údajov potrebných na rozhodovanie – statické, dynamické a environmentálne – a hodnotí sa ich presnosť, frekvencia aktualizácie, pokrytie a súlad s normami. V prípade, že niektoré typy údajov nie sú dostupné, navrhujú sa alternatívne metódy ich získania alebo nahradenia.

Na konci tejto fázy sa na základe zozbieraných vstupov formulujú hlavné rozhodovacie ciele, ktoré má rámec podporovať. Môže ísť napríklad o optimalizáciu liniek a cestovných poriadkov verejnej dopravy, zníženie environmentálnych dopadov, zlepšenie dostupnosti služieb pre marginalizované skupiny alebo zvýšenie spokojnosti a komfortu cestujúcich.

Výstupom tejto fázy je súbor analytických výstupov, ktoré tvoria základ pre návrh architektúry systému. Zahŕňajú dokument špecifikácie požiadaviek, inventarizáciu dátových zdrojov, prehľad obmedzení a príležitostí, ako aj definíciu strategických cieľov rozhodovania. Tieto výstupy slúžia ako vstupné parametre pre nasledujúcu fázu návrhu systému.

Fáza 2. Návrh a konštrukcia architektúry rámca

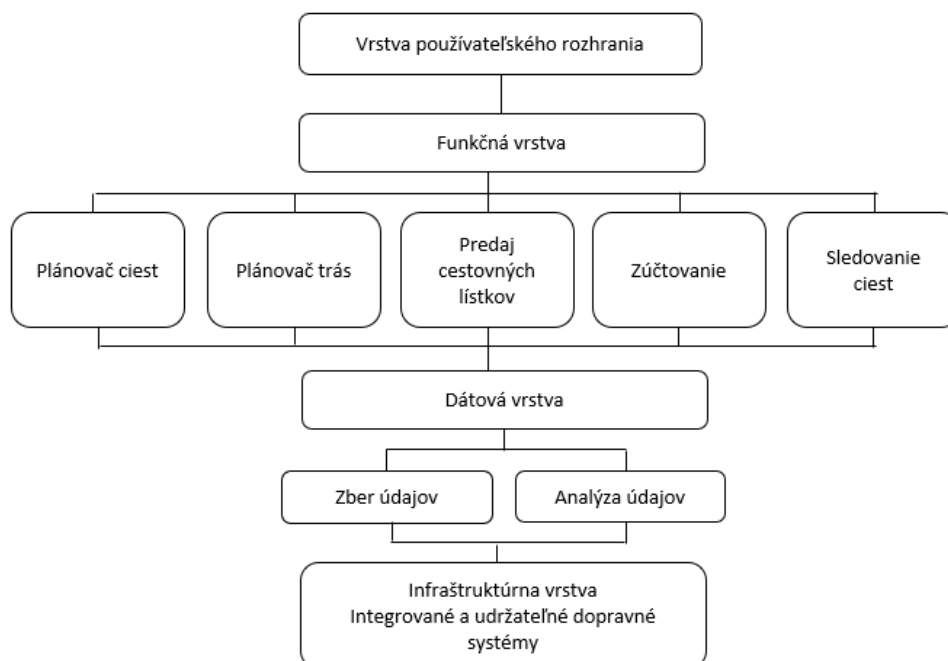
V tejto fáze sa navrhuje architektúra systému ako odpoveď na požiadavky definované v predchádzajúcom kroku. Cieľom je vyvinúť technologicky funkčný, modulárny a škálovateľný rámec, ktorý prepája analytické nástroje, dátové toky, vizualizačné komponenty a participatívne mechanizmy. Architektúra je navrhnutá tak, aby sa dokázala prispôbiť rôznym územným a inštitucionálnym kontextom a zároveň podporovala transparentné rozhodovanie a hodnotenie dopravných stratégií.

1. *Dátová vrstva* – Dátová vrstva tvorí základnú infraštruktúru na integráciu údajov z rôznych zdrojov. Zabezpečuje zber, spracovanie a štandardizáciu dát potrebných pre analytické a rozhodovacie procesy. Zahŕňa statické údaje ako mapy infraštruktúry, demografické charakteristiky či tarifné systémy, ako aj dynamické údaje zo senzorov, GPS zariadení, odbavovacích systémov a environmentálnych monitorovacích staníc. Dáta sú harmonizované do štandardizovaných formátov, aby bola zabezpečená ich kompatibilita a ďalšie spracovanie v ostatných moduloch systému. Kľúčovou súčasťou tejto vrstvy je overovanie kvality údajov a ich bezpečné uloženie.
2. *Analytický modul* – Analytický modul predstavuje výpočtové jadro rámca. Služi na analýzu aktuálneho stavu dopravného systému, predikciu budúcich scenárov a optimalizáciu plánovania. Využíva algoritmy strojového učenia na modelovanie cestovného správania a predpovedanie trendov dopravných tokov. Ponúka tiež nástroje na hodnotenie dopadov rôznych intervencií (napr. rozšírenie verejnej dopravy, zavedenie nízko emisných zón, výstavba cyklistickej infraštruktúry). Modul pracuje s agentovo založenými modelmi správania na simuláciu reakcií rôznych skupín používateľov na zmeny v dopravnom systéme. Analytická vrstva musí byť výkonná a flexibilná, aby zvládla rôznorodé vstupy a scenáre.

3. *Hodnotiaci modul* – Tento komponent umožňuje multikriteriálne hodnotenie dopravných riešení. Zohľadňuje environmentálne ukazovatele ako emisie skleníkových plynov alebo spotrebu energie, ekonomické faktory ako investičné a prevádzkové náklady či návratnosť investícií, a sociálne aspekty ako dostupnosť dopravy, rovnosť prístupu a spokojnosť používateľov. Hodnotenie sa realizuje prostredníctvom bodovacích schém, matíc váh (napr. AHP), entropického váhovania alebo fuzzy logiky. Modul umožňuje konfigurovať váhy podľa preferencií zainteresovaných strán, čím zvyšuje flexibilitu a relevanciu výsledkov.
4. *Používateľské rozhranie* – Používateľské rozhranie je navrhnuté tak, aby bolo intuitívne a prístupné pre rôzne cieľové skupiny – od technických plánovačov až po širokú verejnosť. Poskytuje vizualizácie na báze máp, interaktívne simulácie a prehľadné informačné panely s kľúčovými ukazovateľmi výkonnosti. Používatelia môžu vizuálne porovnávať rôzne scenáre, filtrovať výstupy podľa kritérií alebo exportovať údaje na ďalšie spracovanie. Rozhranie je optimalizované aj pre mobilné zariadenia, čím sa zvyšuje dostupnosť a podpora participatívneho využitia v teréne.
5. *Platforma pre spoluprácu* – Záverečný komponent rámca sa zameriava na zapojenie zainteresovaných strán a verejnosti do rozhodovacích procesov. Umožňuje organizáciu verejných konzultácií, zber spätnej väzby prostredníctvom online dotazníkov, crowdsourcing nápadov a zverejňovanie výsledkov hodnotenia. Platforma zároveň slúži ako integračný uzol pre komunikáciu medzi mestami, regionálnymi samosprávami, dopravnými operátormi a analytickými tímami. Transparentná vizualizácia výsledkov zvyšuje dôveryhodnosť rozhodnutí a podporuje konsenzuálne formovanie dopravných stratégií.

Tieto komponenty spoločne vytvárajú modulárnu architektúru rámca, prepojenú prostredníctvom štandardizovaných dátových kanálov v prostredí orientovanom na služby (Service-Oriented Architecture – SOA). Rámec je navrhnutý na podporu iteratívneho rozhodovania – to znamená, že nové údaje alebo spätná väzba automaticky spúšťajú aktualizáciu výpočtov a hodnotení. Táto architektúra zároveň umožňuje budúce rozšírenia, ako napríklad moduly pre monitoring dopadov politík v reálnom čase, integráciu digitálnych dvojčiat alebo odporúčacie algoritmy. Výstupom druhej fázy je pripravený, otestovaný a koncepčne stabilizovaný rámec, pripravený na overenie v simulačnom alebo pilotnom prostredí.

Obrázok 3 znázorňuje štyri základné vrstvy, ktoré tvoria navrhovaný digitálny rámec pre plánovanie, riadenie a hodnotenie dopravných systémov. Vrstvový model odráža logickú hierarchiu a tok informácií medzi infraštruktúrnymi dátami, analytickým spracovaním a používateľským rozhraním.



Zdroj: Vlastné spracovanie

Obr. 3. Štruktúra digitálneho rámca pre plánovanie a riadenie integrovaných dopravných systémov.

Táto štruktúra predstavuje logický systém vyvinutý v rámci 2. fázy metodiky a slúži ako integračný rámec pre implementáciu jednotlivých komponentov navrhovaného riešenia. Zároveň poukazuje na prepojenie dátovej, funkčnej a používateľskej dimenzie rozhodovania v kontexte inteligentnej a udržiavateľnej mobility.

Infraštruktúrna vrstva (spodná vrstva) predstavuje fyzický a organizačný základ integrovaných a udržiavateľných dopravných systémov – teda mestské a regionálne dopravné siete, ktoré rámec analyzuje a optimalizuje.

Dátová vrstva zabezpečuje zber a spracovanie údajov prostredníctvom dvoch hlavných funkčných blokov:

- Zber údajov – zahŕňa získavanie dát zo senzorov, systémov verejnej dopravy, GPS a odbavovacích platforiem
- Analýza údajov – zahŕňa prieskum, validáciu a agregáciu údajov

Funkčná vrstva obsahuje základné plánovacie a transakčné funkcie systému. Bloky ako Plánovač ciest, Plánovač trás a Sledovanie ciest slúžia ako rozhodovacie a operatívne nástroje, zatiaľ čo Predaj cestovných lístkov a Zúčtovanie zabezpečujú prevádzkové a finančné procesy.

Vrstva používateľského rozhrania je najvyššou vrstvou systému, ktorá poskytuje výstupy analytických procesov koncovým používateľom. Umožňuje vizualizáciu výsledkov, interakciu používateľa so systémom a poskytovanie spätnej väzby smerom k nižším vrstvám.

Fáza 3. Validácia, simulácia a spätná väzba

Tretia fáza metodiky sa zameriava na praktickú validáciu navrhovaného digitálneho rozhodovacieho rámca. Slúži ako testovacie štádium, ktorého cieľom je overiť robustnosť, presnosť a praktickú aplikovateľnosť navrhovanej architektúry v podmienkach, ktoré čo najviac odrážajú reálne nasadenie.

Zámerom je získať empirické dôkazy o funkčnosti systému, identifikovať jeho silné a slabé stránky, zhromaždiť spätnú väzbu od používateľov a kalibrovať parametre pre budúcu implementáciu.

Kľúčovým krokom je aplikácia rámca na vybranú prípadovú štúdiu – typicky ide o územie čeliace konkrétnym výzvam v oblasti mobility, ako je stredne veľké mesto s vysokou dopravnou kongesciou, obmedzenou dostupnosťou alebo rastúcim tlakom na zníženie emisií. V rámci tohto prostredia sa navrhnu a modelujú viaceré dopravné scenáre, ktoré simulujú potenciálne zásahy do dopravného systému. Bežnými príkladmi sú zavedenie nízko emisných zón, rozšírenie cyklistickej infraštruktúry, reorganizácia liniek verejnej dopravy, integrácia zdieľanej mobility alebo implementácia inteligentných dopravných systémov.

Každý scenár podlieha systematickému hodnoteniu pomocou hodnotiaceho modulu. Prostredníctvom multikriteriálnej analýzy sa kvantifikujú environmentálne, ekonomické a sociálne dopady. Súčasne analytický modul vykonáva prediktívne simulácie, ktoré modelujú správanie cestujúcich, intenzitu dopravy, potenciálne zápchy, úsporu času a vplyvy na emisie. Tieto výsledky sa následne porovnávajú s cieľmi definovanými v úvodnej fáze a slúžia ako základ pre informované rozhodovanie.

Dôraz sa kladie aj na zapojenie koncových používateľov. Plánovači, analytici, miestne samosprávy, dopravcovia a zástupcovia verejnosti sú aktívne zapájaní do hodnotiaceho procesu prostredníctvom online platforiem, diskusných fór, konzultácií alebo dotazníkov. Spätná väzba, ktorú poskytujú, je kľúčová pre doladenie systému – pomáha identifikovať nedostatky v používateľskej prístupnosti, zrozumiteľnosti výstupov alebo v nedostatočnom zohľadnení lokálnych špecifik.

Na základe tejto spätnej väzby sa kalibrujú parametre rámca – môže ísť o úpravu váh hodnotiacich kritérií, modifikáciu vstupných údajov alebo spresnenie výpočtových modelov. Výsledkom je optimalizovaný, otestovaný rámec pripravený na pilotnú implementáciu alebo širšie nasadenie. Fáza 3 tak predstavuje most medzi vývojom nástroja a jeho praktickým využitím v rozhodovaní o dopravnom plánovaní. Validácia rámca v reálnych alebo polo reálnych podmienkach zvyšuje jeho dôveryhodnosť, prenositeľnosť a akceptáciu medzi kľúčovými aktérmi vo verejnej správe a dopravnom sektore.

4 Záver

Navrhovaný digitálny rozhodovací rámec ponúka systematický a metodologicky podložený nástroj na podporu plánovania integrovaných a udržiateľných dopravných systémov. Jeho architektúra reflektuje súčasné požiadavky na flexibilitu, transparentnosť, integráciu dát a participáciu zainteresovaných strán. Rámec kombinuje analytické a prediktívne nástroje s hodnotiacimi modelmi a používateľsky prístupným rozhraním, čím vytvára prostredie pre informované a adaptívne rozhodovanie.

Tento prístup k plánovaniu prispieva k zosúladeniu strategických cieľov mobility so zásadami trvalo udržateľného rozvoja a zároveň vytvára priestor pre aktívne zapojenie zainteresovaných subjektov. Rámec môže výrazne zvýšiť transparentnosť rozhodovacích procesov, najmä v kontextoch, kde je potrebné hodnotiť dopady dopravných stratégií v environmentálnej, ekonomickej a sociálnej rovine.

Úspešná implementácia rámca si však vyžaduje kvalitné vstupné údaje, digitálnu pripravenosť inštitúcií a vhodné legislatívne a organizačné podmienky. Identifikované obmedzenia – ako napríklad nekompatibilita dát, obmedzené analytické kapacity či potreba školenia používateľov – predstavujú výzvy, ktoré je potrebné systematicky riešiť.

Pre ďalší rozvoj odporúčame realizáciu pilotných testov rámca v rôznych geografických, inštitucionálnych a kultúrnych prostrediach, rozšírenie analytických kapacít o behaviorálne a mikroekonomické aspekty a vypracovanie univerzálnej metodologickej príručky pre praktickú aplikáciu. Výskum by sa mal zamerať aj na rozvoj otvorených dátových štandardov, integráciu technológií umelej inteligencie a podporu spolupráce medzi akademickou sférou, samosprávami a technologickým sektorom.

Navrhovaný rámec preto netreba vnímať ako finálne riešenie, ale ako otvorenú platformu pre ďalší rozvoj digitálneho plánovania v doprave, ktorá podporuje prechod k udržateľnej, efektívnej a na používateľa orientovanej mobilite.

5 Literatúra

- [1] ALANAZI, F., - ALENEZI, M. A framework for integrating intelligent transportation systems with smart city infrastructure. In *JOURNAL OF INFRASTRUCTURE, POLICY AND DEVELOPMENT* [electronic]. 2024. Vol. 8, No.5, 3558. [cit. 2025- 06- 10].
- [2] OCALIR-AKUNAL, E.V. Using Decision Support Systems for Transportation Planning Efficiency. In *IGI GLOBAL SCIENTIFIC PUBLISHING* [electronic]. 2015. s. 475. [cit. 2025- 06- 10].
- [3] OCALIR-AKUNAL, E.V. Decision Support Systems in Transport Planning. In *PROCEDIA ENGINEERING* [electronic]. 2016. Vol. 161, s. 1119-1126. [cit. 2025- 06- 10].
- [4] ZHU, W. A spatial decision-making model of smart transportation and urban planning based on coupling principle and Internet of Things. In *COMPUTERS AND ELECTRICAL ENGINEERING* [electronic]. 2022. Vol. 102, 108222. [cit. 2025- 06- 10].
- [5] ŽAK, J. Decision Support Systems in Transportation. In *JAIN, L.C., LIM, C.P. (EDS) HANDBOOK ON DECISION MAKING. INTELLIGENT SYSTEMS REFERENCE LIBRARY 4* [electronic]. Springer, Berlin, Heidelberg, 2010. [cit. 2025- 06- 10].
- [6] MAŠEK, J., - PÁLKOVÁ, A., - BLAHO, P., - HALAJOVÁ, Š., - JURSOVÁ, S., - ŠIPUŠ, D. Proposal for Using IT Solutions in Public Passenger Transport in Slovak Republic to Reduce the Spread of COVID-19. In *LOGI – SCIENTIFIC JOURNAL ON TRANSPORT AND LOGISTICS* [electronic]. 2023. Vol. 14, No. 1, s. 181–191. [cit. 2025- 06- 10].
- [7] HADIWARDYOY, S.A., - PATRA, S., - CALAFATE, C.T., - CANO, J.C., - MANZONI, P. An Intelligent Transportation System Application for Smartphones Based on Vehicle Position Advertising and Route Sharing in Vehicular Ad-Hoc Networks. In *JOURNAL OF COMPUTER SCIENCE AND TECHNOLOGY* [electronic]. 2018. Vol. 33, s. 249–262. [cit. 2025- 06- 10].
- [8] QI, L. Research on Intelligent Transportation System Technologies and Applications. In *2008 WORKSHOP ON POWER ELECTRONICS AND INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEM* [electronic], Guangzhou, China, 2008, s. 529-531. [cit. 2025- 06- 10].
- [9] MALYGIN, I., - SELIVESTROV, Y., - SELIVESTROV, S., - SILNIKOV, M., - MUKSIMOVA, R., - GERGEL, G., - CHIGUR, V., - FAHMI, S. Mobile Technologies in Intelligent Transportation Systems. In *COMMUNICATIONS IN COMPUTER AND INFORMATION SCIENCE* [electronic]. 2020. Vol. 1140. Springer, Cham. [cit. 2025- 06- 10].
- [10] ELASSY, M., - AL-HATTAB, M., - TAKRURI, M., - BADAWI, S. Intelligent transportation systems for sustainable smart cities. In *TRANSPORTATION ENGINEERING* [electronic]. 2024. Vol. 16, 100252. [cit. 2025- 06- 10].
- [11] MAŠEK, J., - ŠTEFANCOVÁ, V., - MAZANEC, J., - JURÁNKOVÁ, P. The Classification of Application Users Supporting and Facilitating Travel Mobility Using Two-Step Cluster Analysis. In *MATHEMATICS* [electronic]. 2023. Vol. 11, No. 9, 2192. [cit. 2025- 06- 10].

Vyhlásenie

„Financované Európskou úniou z nástroja NextGenerationEU prostredníctvom Plánu obnovy a odolnosti Slovenskej republiky v rámci projektu č. 09I01-03-V04-00054.“

ANALÝZA VYBRANÝCH CHARAKTERISTÍK REGIONÁLNEJ AUTOBUSOVEJ DOPRAVY NA SLOVENSKU A V ČESKEJ REPUBLIKE

Autori:

Ľubomír ČERNICKÝ¹

Tituly a pôsobisko autorov:

¹Ing. Ľubomír Černický, 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: lubomir.cernicky@uniza.sk

Abstrakt: Atraktívna a najmä využívaná verejná osobná doprava je základný pilier vyspelého a fungujúceho územia. Jedným zo spôsobov, ako zhodnotiť jej kvalitu, je analýza konkrétnych prevádzkových charakteristík. Článok sa zameriava na porovnanie vybraných prevádzkových charakteristík regionálnej autobusovej dopravy na Slovensku a v Českej republike. Analyzované sú cestovná rýchlosť, prevádzková dĺžka liniek (spojov), počet obsluhovaných zastávok, varianty trasovania liniek a pravidelnosť dopravnej obsluhy. Výsledky vykonanej analýzy je možné využiť ako podklad pri hodnotení prínosov budúcich zmien v dopravnej obslužnosti územia.

Kľúčové slová: regionálna autobusová doprava, rýchlosť

JEL: R41

ANALYSIS OF SELECTED CHARACTERISTICS OF REGIONAL BUS TRANSPORT IN SLOVAKIA AND THE CZECH REPUBLIC

Abstract: Attractive and, above all, well-utilized public passenger transport is the basic pillar of a developed and functioning territory. One of the ways to evaluate its quality is the analysis of specific operational characteristics. The article focuses on the comparison of selected operational characteristics of regional bus transport in Slovakia and the Czech Republic. The analysis includes travel speed, operating length of lines (connections), number of served stops, route variants and regularity of transport service. The results of the analysis can be used as a basis for evaluating the benefits of future changes in the transport service of the territory.

Keywords: regional public transport, speed

1 Úvod

Dopravnou obslužnosťou územia sa rozumie zabezpečenie poskytovania primeraného rozsahu dopravných služieb vo verejnom záujme na území vymedzenom v zmluve o dopravných službách, najmä na zabezpečenie dopravy do zamestnania, škôl a školských zariadení, zdravotníckych zariadení, úradov alebo na účel uspokojovania spoločenských potrieb vrátane dopravy späť, prispievajúcej k trvalo udržateľnému rozvoju záujmového územia [1]. Regionálna autobusová doprava (RAD) zohráva kľúčovú úlohu pri zabezpečení dopravnej obslužnosti.

Jedným zo znakov atraktívnej dopravy je jej rýchlosť – teda schopnosť prepraviť cestujúceho medzi východiskom a cieľovým bodom v rozumnom čase. Fungujúca, atraktívna a najmä využívaná verejná osobná

doprava je základný pilier vyspelého a fungujúceho územia. V súčasnosti sa mnohé krajiny, vrátane Slovenska a Českej republiky, snažia zvýšiť konkurencieschopnosť verejnej dopravy voči individuálnej automobilovej doprave. Jedným zo spôsobov, ako zhodnotiť jej kvalitu, je analýza konkrétnych prevádzkových charakteristík. Cieľom tohto článku je porovnať vybrané charakteristiky regionálnej autobusovej dopravy na Slovensku a v Českej republike. Porovnávanými parametrami sú cestovná rýchlosť, dĺžka spojov, počet obsluhovaných zastávok, varianty trasovania liniek a pravidelnosť dopravnej obsluhy. Tieto ukazovatele poskytujú obraz o efektívnosti, dostupnosti a logike organizácie regionálnej autobusovej dopravy v oboch krajinách, a zároveň poukazujú na rozdiely v prístupoch k plánovaniu a prevádzke týchto služieb.

2 Analýza vybraných charakteristík

Analýza je vykonaná na základe cestových poriadkov platných v roku 2023, ktoré boli dostupné na stránkach [2 a 3]. Cestovné poriadky obsahovali spolu 1 370 liniek (31 839 spojov) pre Slovenskú republiku a 3 240 liniek (63 485 spojov) pre Českú republiku.

2.1 Cestovná rýchlosť

Cestovná rýchlosť je podiel ubehnutej dráhy a cestovného času (nazývaného tiež „hrubý čas jazdy“) medzi dvoma miestami na linke. Z praktických dôvodov je cestovná rýchlosť pre danú linku počítaná podľa rovnice (1) s tým, že za ubehnutú vzdialenosť l je dosadená prevádzková dĺžka linky. [4]

$$V_c = \frac{l \cdot 60}{t_c} \quad [\text{km} \cdot \text{h}^{-1}] \quad (1)$$

Kde:

- V_c je cestovná rýchlosť $[\text{km} \cdot \text{h}^{-1}]$
- l je ubehnutá vzdialenosť medzi dvoma miestami na linke $[\text{km}]$
- t_c je cestovný čas („hrubý čas jazdy“) $[\text{min}]$

Výpočet cestovnej rýchlosti na spojoch jednotlivých liniek bol vypočítaný na základe údajov uvádzaných v cestovných poriadkoch. Čas spoja bol vypočítaný ako časový rozdiel medzi príchodom spoja do konečnej zastávky a časom odchodu spoja z východiskovej zastávky. Ako vzdialenosť bola použitá vzdialenosť uvádzaná v cestovných poriadkoch. Ide o tarifnú vzdialenosť, ktorá sa používa ako podklad na výpočet cestovného za prepravu cestujúcich. Pre analýzu boli použité cestovné poriadky z roku 2023, kde výpočet tarifnej vzdialenosti v CP pre SR bol vykonaný podľa vyhlášky 124/2012 Z.z. a v CP pre ČR podľa vyhlášky 122/2014 Sb. V oboch prípadoch ide o skutočnú vzdialenosť z východiskovej zastávky v kilometroch zaokrúhlenú nahor: „Tarifná vzdialenosť jednotlivých zastávok autobusovej linky sa určí na základe skutočne zistenej vzdialenosti zastávky od východiskovej zastávky v kilometroch zaokrúhlenej nahor. Skutočná vzdialenosť sa zisťuje určeným meradlom, podľa pasportu cesty alebo na základe digitálnych máp.“[5] „Tarifní vzdálenosti mezi zastávkami spoje skutečná vzdálenost jednotlivých zastávek linky od zastávky výchozí zaokrouhlená na celé kilometry,“[6]

Rovnica (2) predstavuje upravený vzorec pre výpočet cestovnej rýchlosti, ktorý bol použitý v tejto analýze.

$$V_C = \frac{l_K - l_V}{t_{pr K} - t_{od V}} \quad [\text{km.h}^{-1}] \quad (2)$$

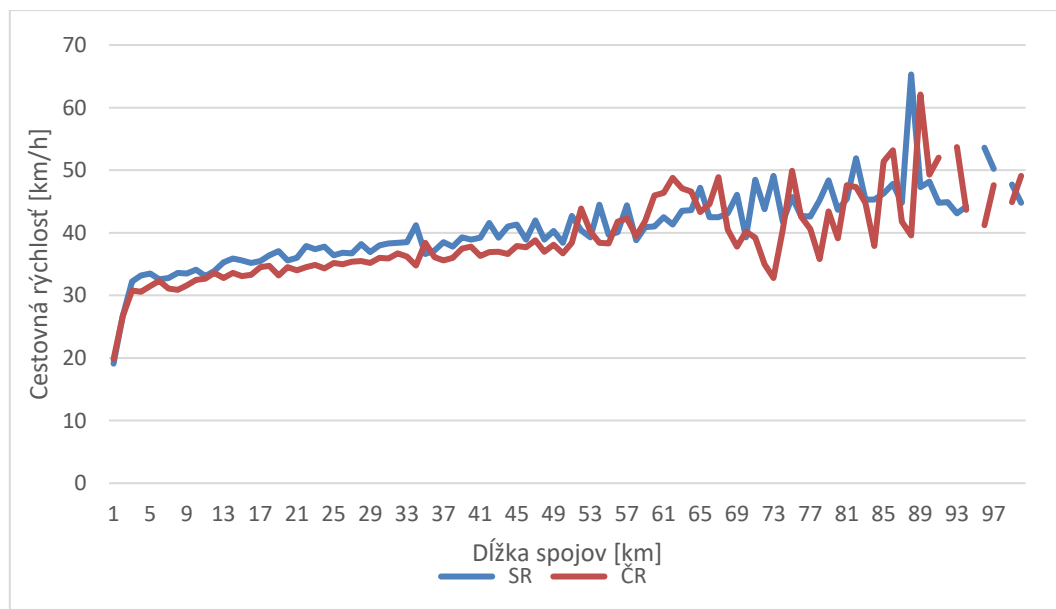
Kde:

- V_C je cestovná rýchlosť $[\text{km} \cdot \text{h}^{-1}]$
- l_K je vzdialenosť v km uvedená pri konečnej zastávke
- l_V je vzdialenosť v km uvedená pri východiskovej zastávke ($l_V = 0$)
- $t_{pr K}$ je čas príchodu na konečnú zastávku
- $t_{od V}$ je čas odchodu z východiskovej zastávky

Obr. 1 zobrazuje priemer cestovných rýchlostí na jednotlivých spojoch v závislosti od dĺžky linky (spojov), kde pre každú dĺžku spoja je vypočítaný aritmetický priemer cestovných rýchlostí.

Ako je možné sledovať na obr. 1, priemer cestovných rýchlostí stúpa s narastajúcou dĺžkou spoja, kde pri dĺžke spoja do 10 km je cestovná rýchlosť v priemere okolo 33 km/h, pri dĺžke spoja 50 km je to už cestovná rýchlosť okolo 37 km/h a pri dĺžke spoja 90 km je už okolo 48 km/h.

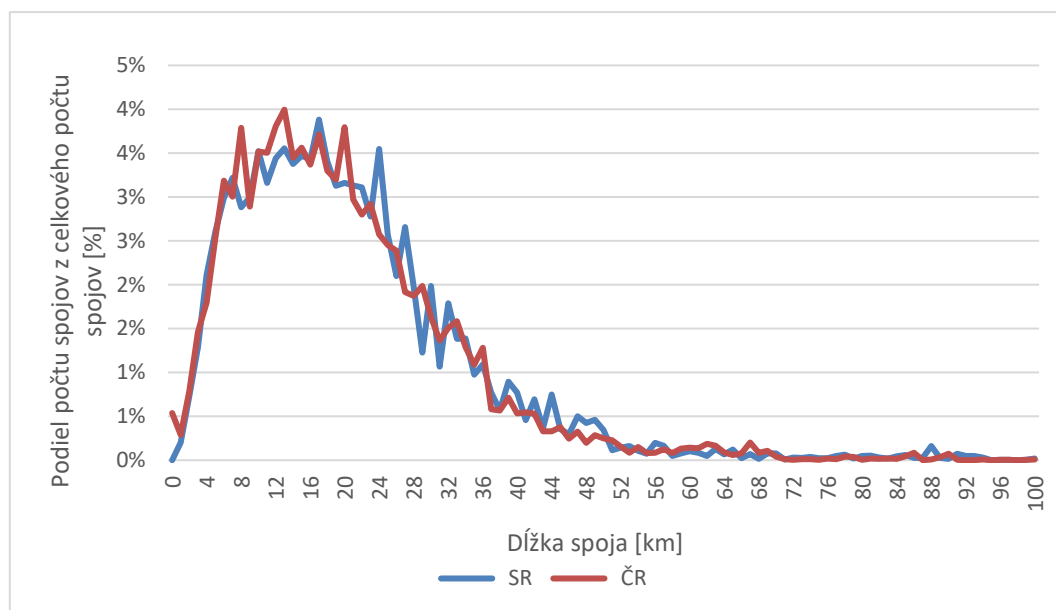
Ďalej je možné sledovať, že priemer cestovných rýchlostí v SR je vyšší ako priemer cestovných rýchlostí v ČR a to v priemere o 2,23 km/h. Priemerná cestovná rýchlosť na SR je vyššia od priemernej cestovnej rýchlosti v ČR najmä pri spojoch s dĺžkami do 51 km. Od tejto vzdialenosti priemer cestovných rýchlostí vykazuje výkyvy, kde pri viacerých dĺžkach spojov je rýchlosť v ČR vyššia ako na SR. Tieto výkyvy sú spôsobené najmä malým počtom spojov s danou dĺžkou vid. obr. 2.



Obr. 1 Priemer cestovných rýchlostí v regionálnej doprave v závislosti od dĺžky linky (spojov)

2.2 Dĺžka spojov

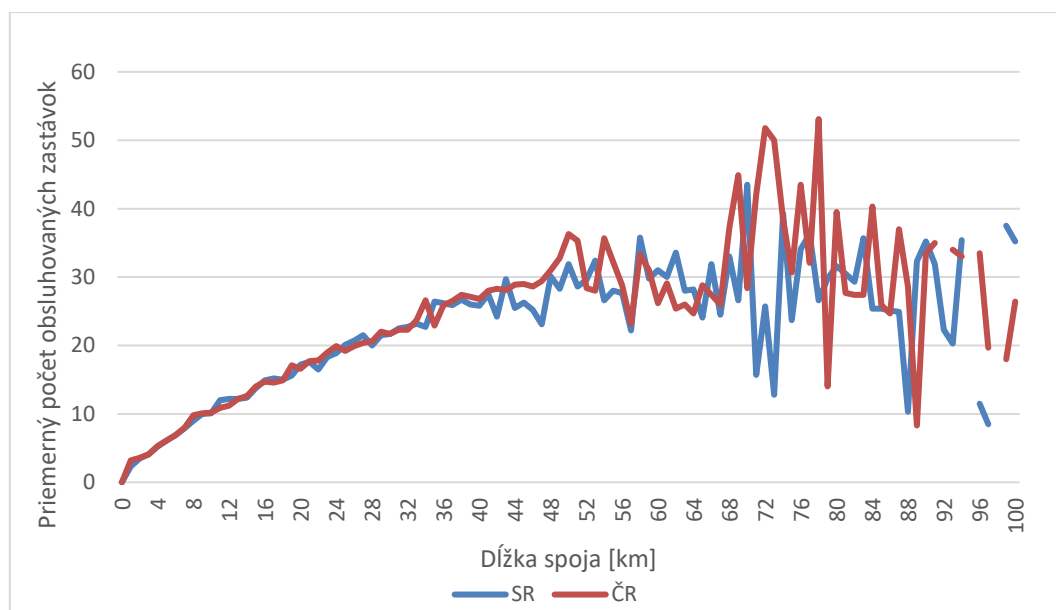
Ako je možné sledovať na obr. 2, podiel počtu spojov ku celkovému počtu spojov v triedení podľa ich dĺžky je približne rovnaký pre SR a ČR. Priemerná dĺžka 1 v regionálnej doprave na SR je 20,87 km, v ČR je o 850 m kratšia (20,02km). V oboch štátoch viac ako polovica spojov má dĺžku menšiu ako 19 km (medián dĺžky spojov je 18 km) a len približne 3% spojov majú dĺžku nad 50 km.



Obr. 2 Podiel počtu spojov v regionálnej doprave v závislosti od dĺžky linky (spojov)

2.3 Počet obsluhovaných zastávok

Je možné predpokladať, že čím je dlhšia linka (spoj), tým viac zastávok bude obsluhovať. Tento predpoklad potvrdzuje aj vypočítaný priemerný počet zastávok v závislosti od dĺžky linky (spojov) (vid'. obr. 3). Priemerný počet zastávok rastie takmer priamoúmerne do dĺžky linky približne 40 km, od tejto vzdialenosti priemerný počet obsluhovaných zastávok má výrazný rozptyl (bez výrazného nárastu). Rovnako priemerný počet zastávok pri dĺžkach spojov do 40 km je približne rovnaký v SR a ČR. Pri spojoch s dĺžkou nad 40 km je rozdiel v počte zastávok výraznejší, pričom pri niektorých vzdialenostiach je počet zastávok vyšší v SR, pri niektorých v ČR. Tieto odchýlky sú pravdepodobne spôsobené opäť najmä nízkym počtom spojov, ktoré vstupovali do výpočtu a teda výsledky môžu byť ovplyvnené extrémami.

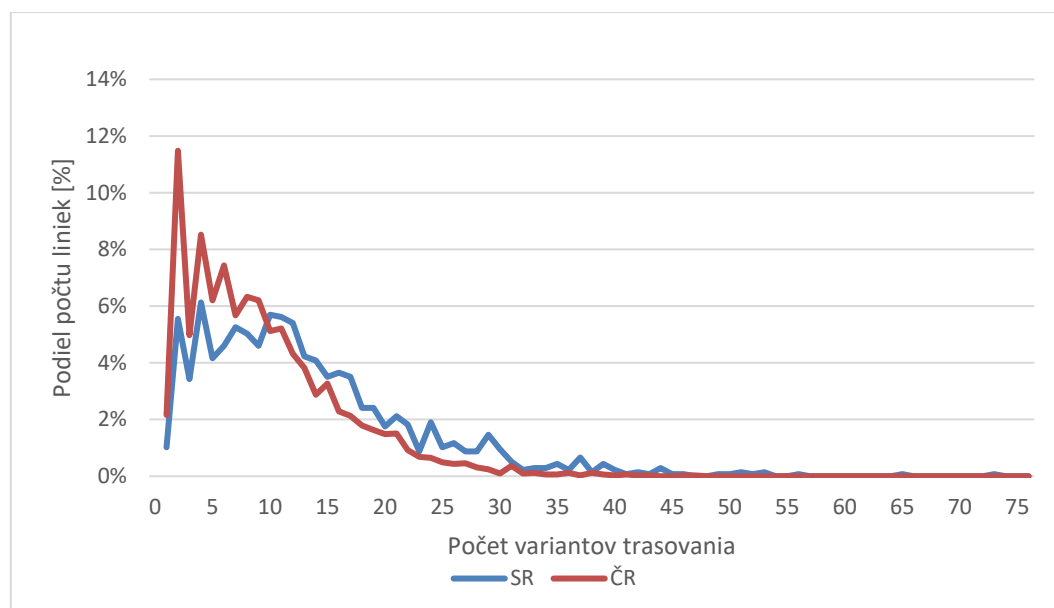


Obr. 3 Priemerný počet obsluhovaných zastávok v závislosti od dĺžky linky (spojov)

2.4 Varianty trasovania spojov na linkách

Aby bolo možné na linke nastaviť intervalovú dopravu je nutné, aby počet rôznych trasovaní spojov na linke bol minimálny. Ideálny prípad nastane, ak na linke je len 1 variant trasovania, tzn. vždy obsluhuje všetky zastávky na svojej trase v danom smere, pričom táto trasa je len 1. Samozrejme, v prípade napr. jednosmerných ulíc (alebo zastávok len v 1 smere) môže byť počet obsluhovaných zastávok v opačnom smere iný, resp. linka v opačnom smere môže obsluhovať iné zastávky. Dôležité je, aby aj spoje v opačnom smere jazdili čo možno najviac po rovnakej trase a nevynechávali zastávky. Obr. 4 zobrazuje vypočítaný počet rôznych trasovaní spojov na 1 linke, pričom kvôli porovnaniu medzi SR a ČR je tento počet zobrazený ako podiel počtu liniek k celkovému počtu analyzovaných liniek. V prípade, že na linke je len 1 trasovanie spojov v oboch smeroch a spoje nevynechávajú žiadnu zastávku, počet rôznych trasovaní je 1. Ak je na spoji vynechaná čo i len 1 zastávka v opačnom smere, alebo spoj vedie po inej trase, počet rôznych trasovaní je 2 atď.

Na obr. 4 je možné vidieť, že ČR v porovnaní so SR má omnoho vyšší počet liniek, na ktorých je malý počet rôznych trasovaní spojov. Napr. v ČR až 11,48% liniek má len 2 varianty trasovania (pravdepodobne smer tam a späť), zatiaľ čo na SR má len 2 varianty trasovania iba 5,55 % liniek. Extrémnym prípadom v SR bola linka 306416, na ktorej bolo napočítaných až 73 rôznych variantov spojov.



Obr. 4 Počet rôznych variantov trasovania spojov na linkách

2.5 Pravidelnosť dopravy

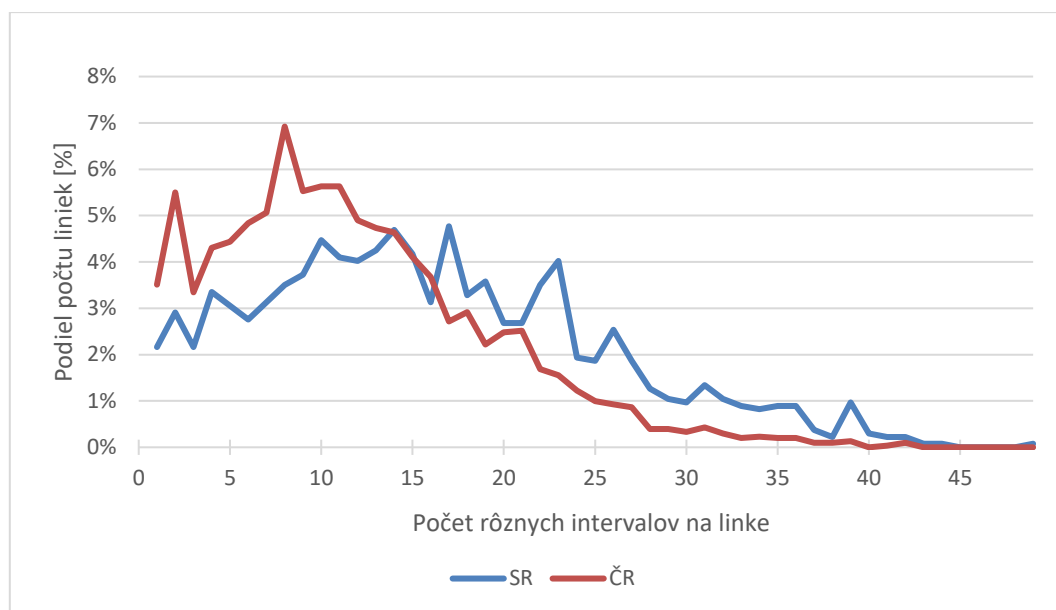
Intervalovú dopravu môžeme charakterizovať ako jazdu vozidiel, idúcich za sebou vo vopred stanovených pravidelných časových odstupoch - vo vopred stanovených intervaloch dopravy.[4]

Interval dopravy je časový úsek medzi dvoma po sebe idúcimi vozidlami v jednom smere meraný v profile komunikácie - dopravnej cesty.[4]

Linkový interval dopravy je definovaný ako časový úsek medzi dvoma po sebe nasledujúcimi spojmi tej istej linky v jednom prepravnom smere meraný v danom profile dopravnej cesty - trate. Spoj môže byť realizovaný vozidlom alebo súpravou vozidiel.[4]

Vzhľadom k tomu, že na 1 linke RAD môže byť veľký počet rôznych trasovaní spojov, napr. spoje nezačínajú na rovnakej zastávke, neobsluhujú všetky zastávky a pod., intervaly boli vypočítané podľa odchodov spojov na zastávke, na ktorej zastavuje najväčší počet spojov na linke v danom smere. Výpočet intervalu bol vykonaný ako časový rozdiel 2 po sebe nasledujúcich spojov tej istej linky z tej istej zastávky v tom istom smere. V prípade, že na linke je nastavený interval, napr. 1 hodina počas celého dňa, počet rôznych intervalov na linke je 1. Ak na linke je nastavené striedanie intervalu 1 hodina a napr. 20 min, vypočítaný počet rôznych intervalov môže byť 2, 3, alebo až 4 a to v dôsledku prechodu medzi 1 hod. a 20 min. intervalom (prechodne môže ísť 1 spoj napr. po 30 min alebo po 40 min).

Pri pohľade na obr. 5 je možné sledovať, že SR má výraznejšie vyšší počet liniek, na ktorých je veľké množstvo rôznych intervalov, resp. na ktorých nie je nastavený žiaden interval. ČR má naopak relatívne veľký podiel liniek, na ktorých je malý počet rôznych intervalov, tzn. tieto linky jazdia pravidelne.



Obr. 5 Počet rôznych intervalov na linke

2.6 Zhodnotenie

SR malo v roku 2023 podľa obr. 1 v priemerne vyššiu rýchlosť regionálnej autobusovej dopravy ako ČR. Tento jav môže byť spôsobený napr. rôznou intenzitou dopravy a kapacitou dopravnej siete (napr. ak vozidlá autobusovej dopravy pravidelne jazdia v kongesciách), prípadne rôznymi geografickými podmienkami a z toho odvedenej dopravnej siete (krivoľakosť cesty, pozdĺžny sklon...) a pod.

Jedným z možných dôvodov vyššej rýchlosti na SR by mohla byť nižšia hustota zastávok, ktorá by sa prejavila nižším počtom obsluhovaných zastávok vzhľadom na dĺžku linky. Tento predpoklad sa však nepotvrdil, pretože podľa obr. 2 je počet obsluhovaných zastávok na linkách v SR a ČR približne rovnaký.

Obr. 4 a obr. 5 však naznačujú, že jedným z dôvodov vyššej rýchlosti autobusovej dopravy SR je organizácia linkového vedenia a nastavenie cestovných poriadkov. Slovensko malo v roku 2023 veľký počet rôznych trás spojov na 1 linke, ktoré jazdili nepravidelne – bez intervalov. Takéto nastavenie umožňuje nastaviť kratšie časy (vyššie rýchlosti) tých spojov, ktoré jazdia v období, kedy na cestách nebývajú kongescie.

Pre nastavenie intervalovej dopravy je potrebné, aby spoje jazdili po rovnakej trase a časy medzizastávkových úsekov boli vždy rovnaké. Doprava sa však v priebehu dňa mení, napr. ráno môžu byť kongescie v smere do mesta a opačný smer je voľný a popoludní to môže byť opačne, smer do mesta je voľný a kongescie sú v smere von z mesta. Pre nastavenie intervalovej dopravy je však potrebné, aby čas jazdy ráno a popoludní bol v rovnakom smere rovnaký. V prípade, že sa nastavia krátke časy medzi zastávkami, spoje môžu v kongesciách (ranných hodinách v smere do mesta) meškať, popoludní pôjdu bez meškania. V prípade, že sa nastavia dlhé časy medzi zastávkami, spoje v kongesciách pôjdu načas, avšak spoje mimo kongescie budú jazdiť nižšími rýchlosťami ako by mohli, resp. kvôli dodržaniu odchodov podľa cestovných poriadkov budú dlho čakať na zastávkach. Rovnako sa mení počet nastupujúcich cestujúcich na zastávkach, čo tiež ovplyvňuje časy spojov [8].

3 Diskusia a záver

Článok prináša analýzu vybraných charakteristík regionálnej autobusovej dopravy a jej porovnanie medzi SR a ČR. Tieto charakteristiky boli vypočítané na základe cestovných poriadkov platných v roku 2023 a boli počítané plošne pre celé územia SR a ČR.

Zaujímavým pokračovaním výskumu môže byť vykonanie takejto analýzy v členení na menšie územia, najmä ucelené regióny s fungujúcimi integrovanými dopravnými systémami (IDS) a regióny bez IDS. V roku 2023 bolo na Slovensku viacero IDS v rôznych etapách zavádzania IDS (Bratislavská integrovaná doprava, IDS Východ, IDS ŽSK a IDS BBSK), pričom tieto IDS postupne dopravne optimalizujú regionálnu autobusovú dopravu. Porovnanie analyzovaných charakteristík napr. s charakteristikami v roku 2025 by mohlo ukázať, ako sa darí jednotlivým IDS optimalizovať regionálnu autobusovú dopravu, resp. ako optimalizácia RAD mení tieto charakteristiky.

4 Literatúra

- [1] Zákon č. 332/2023 Z. z. o verejnej osobnej doprave a o zmene a doplnení niektorých zákonov
- [2] [https://www.mdcr.cz/Dokumenty/Verejna-doprava/Jizdni-rady,-kalendare-pro-jizdni-rady,-metodi-\(1\)/Jizdni-rady-verejne-dopravy](https://www.mdcr.cz/Dokumenty/Verejna-doprava/Jizdni-rady,-kalendare-pro-jizdni-rady,-metodi-(1)/Jizdni-rady-verejne-dopravy)
- [3] <http://portal.cp.sk/>
- [4] SUROVEC, Pavel. Technológia hromadnej osobnej dopravy : Cestná a mestská doprava. Žilina: Žilinská univerzita v EDIS, 1998. 157 s. ISBN 80-7100-494-4.
- [5] Vyhláška č. 124/2012 Z.z. ktorou sa vykonáva zákon č. 56/2012 Z. z. o cestnej doprave (Časová verzia predpisu účinná od 01.07.2021 do 31.10.2024)
- [6] 122/2014 Sb. Vyhláška o jízdních řádech veřejné linkové dopravy
- [7] Vyhláška č. 269/2024 Z. z. ktorou sa vykonávajú niektoré ustanovenia zákona o verejnej osobnej doprave
- [8] ČERNICKÝ, Ľubomír a kol.: Kapacitná výkonnosť zastávok na území mesta Žilina. In: CMDTUR 2016 [elektronický dokument] : zborník zo 7. medzinárodnej vedeckej konferencie – 1 vyd. – Žilina (Slovensko) : Žilinská univerzita v Žiline, 2016. – ISBN 978-80-554-1265-8, s. 32-39 [CD-ROM]

Podakovanie

Projekt: 1/0411/25 Zdieľaná mobilita v SR a jej ekonomické dopady na zvýšenie konkurencieschopnosti MHD v mestskom prostredí.

Project: 1/0411/25 Shared mobility in Slovakia and its economic impacts on enhancing the competitiveness of public transportation in urban environments.

RIADENIE BEZPEČNOSTI POZEMNÝCH KOMUNIKÁCIÍ

Autori:

Tibor Kubjatko¹, Matej Riecky²

Tituly a pôsobisko autorov:

¹ Dr. Ing. Tibor Kubjatko, PhD. LL.M. Žilinská univerzita v Žiline, Ústav znaleckého výskumu a vzdelávania, Univerzitná 8215/1, Žilina, 010 26, E-mail: tkubjatko@gmail.com

² Dr. Ing. Matej Riecky LL.M. MBA, Aranio, s.r.o., Košická 52/A, 821 08 Bratislava, E-mail: matej.riecky@aranio.sk

Abstrakt: *V súvislosti so zvyšovaním bezpečnosti cestnej premávky bol na základe vývoja v tejto oblasti a požiadaviek Európskej komisie zavedený systém riadenia a kontroly bezpečnosti pozemných komunikácií.*

Tento systém má niekoľko stupňov a jeho cieľom je pomocou špecializovaných auditorských úkonov kontrolovať a zlepšiť kvalitu a úroveň bezpečnosti a plynulosti cestnej premávky.

Autori tohoto príspevku sa výraznou mierou podieľali na tvorbe národných predpisov týkajúcich sa tejto oblasti, taktiež implementácie Európskej smernice [1] a sú tiež tvorcami technického predpisu TP 092, ktorý stanovuje technické podmienky pre riadenie a kontrolu bezpečnosti pozemných komunikácií.

Cieľom tohoto príspevku je krátká analýza uvedenej problematiky a poskytnutie zhutneného odborného pohľadu s prihliadnutím na špecifiká jej výkonu v Slovenskej republike.

Kľúčové slová: pozemná komunikácia, bezpečnosť pozemných komunikácií, cestné vozidlo, dopravná infraštruktúra, audit bezpečnosti, riadenie a kontrola bezpečnosti pozemnej komunikácie v užívaní, cielené prehliadky, bezpečnostný deficit

ROAD SAFETY MANAGEMENT

Abstract: *In connection with the increase of road safety, a road safety management and control system was introduced based on the development in this area and the requirements of the European Commission.*

This system has several levels and its aim is to control and improve the quality and level of road safety and smoothness using specialized audit activities.

The authors of this contribution have significantly participated in the creation of national regulations related to this area, as well as the implementation of the European Directive [1] and are also the creators of the technical regulation TP 092, which sets out the technical conditions for the management and control of road safety.

The aim of this contribution is to briefly analyze the above-mentioned issue and provide a condensed professional view, taking into account the specifics of its implementation in the Slovak Republic.

Keywords: road, road safety, road vehicle, transport infrastructure, safety audit, management and control of road safety in use, targeted inspections, safety deficit

1 Úvod

Zo záverov celoeurópskeho hodnotenia bezpečnosti cestnej premávky v krajinách EÚ [2] vyplynulo, že v roku 2022 došlo na cestách v krajinách EÚ k 20 678 úmrtiam, čo je v porovnaní s rokom 2021 nárast o 4 úmrtia. Hodnotenie dopravnej nehodovosti s následkami usmrtení a monitorovanie dát prebiehalo v 32 krajinách, avšak len v 13 krajinách zaznamenali pokles úmrtí za obdobie roku 2022 v porovnaní s rokom 2021. Slovinsko bolo na prvom mieste so znížením o 25%, nasledovalo Lotyšsko s 23% a Litva a Cyprus s 18%.

Úmrtia na cestách sa v rokoch 2021 až 2022 zvýšili v 19 krajinách.

Stanovený európsky cieľ znížiť do roku 2030 počet úmrtí na cestách na polovicu na základe ich úrovne v roku 2019 je stále platný. Úmrtia na cestách v EÚ-27 v roku 2022 boli v porovnaní s rokom 2019 kolektívne znížené o 9 úmrtí. Aby sa dosiahol pokrok potrebný na dosiahnutie cieľa EÚ do roku 2030, priemerný ročný pokles o 6,1% však predstavoval predpokladané zníženie o 17,2 úmrtí. V rámci posudzovania a vyhodnocovania vývoja dopravnej nehodovosti musíme adekvátne pristupovať k dátam za obdobie rokov 2020 – 2021, kedy dochádzalo k mimoriadnemu poklesu počtu usmrtených a to o 17 úmrtí v roku 2020 v porovnaní s rokom 2019. Táto anomália však súvisela s všeobecnými cestovnými obmedzeniami v celej Európe.

V roku 2021 došlo k ďalšiemu poklesu o 13% v porovnaní s rokom 2019, počet úmrtí na cestách sa však v porovnaní s rokom 2020 zvýšil o 5%, čo bolo ovplyvnené postupným zmierňovaním cestovných obmedzení a požiadaviek na zablokovanie v celej Európe.

2 Smernica riadenia bezpečnosti cestnej infraštruktúry

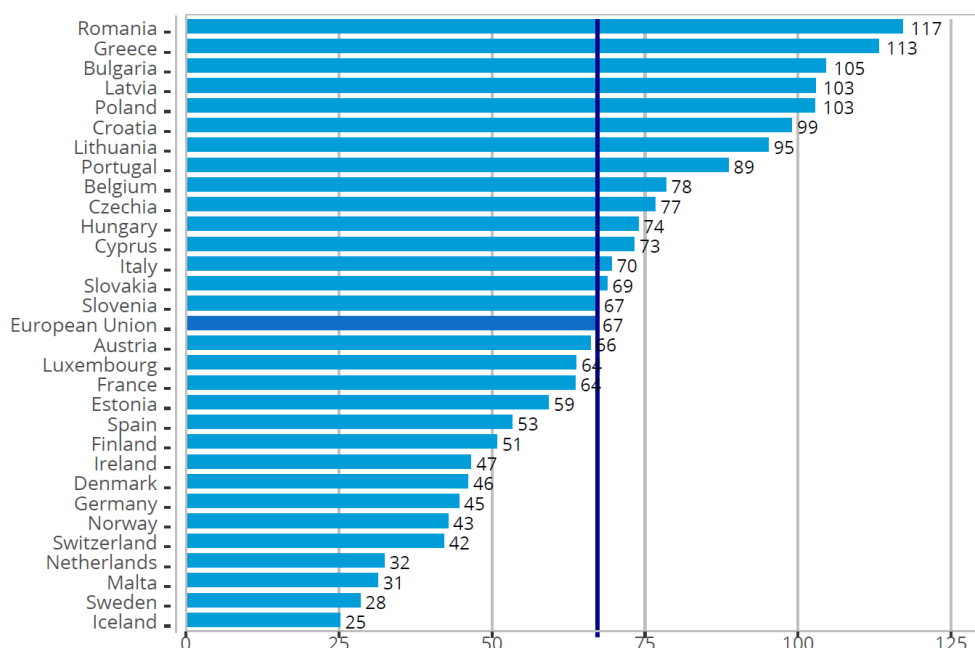
V roku 2019 bola Európskym parlamentom a radou EÚ prijatá novelizácia smernice 2008/96/ES o riadení bezpečnosti cestnej infraštruktúry. Principiálnym podnetom na prijatie novelizácie bola časová perióda, ktorá uplynula od účinnosti pôvodného predpisu. Za jedenásť rokov došlo k mnohým konfrontáciám a požiadavkám na zmeny jednotlivých ustanovení pôvodnej smernice a tiež problémom pri ich implementácii do praxe. Táto implementačná prax poskytla veľké množstvo cenných dát, ktoré umožňovali vyhodnocovanie a analyzovanie jednotlivých opatrení, ich účinnosť alebo praktickosť. Taktiež bolo zistené, že niektoré opatrenia neboli dostatočne účinné, aplikovateľné alebo boli dokonca mylné.

Podstatné je uviesť formuláciu, uvedenú hneď v úvode samotnej novelizácie smernice 2019/1936 ES:

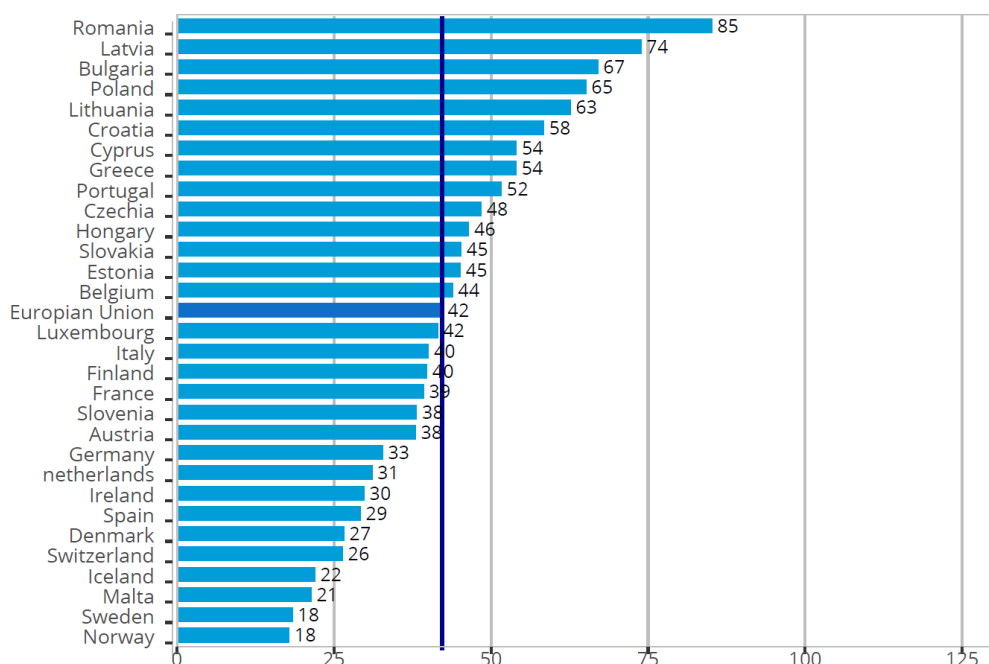
„Oznámenie Komisie Európskemu parlamentu, Rade, Hospodárskemu a sociálnemu výboru a Výboru regiónov z 20. júla 2010 s názvom Smerom k európskemu priestoru bezpečnosti cestnej premávky: politické usmernenia pre bezpečnosť cestnej premávky na roky 2011 – 2020 stanovilo strategické ciele Únie znížiť počet smrteľných dopravných nehôd na cestách do roku 2020 o polovicu v porovnaní s rokom 2010 a priblížiť sa k nulovej úmrtnosti do roku 2050.

V posledných rokoch však pokrok pri plnení uvedených cieľov stagnuje. Rada vo svojich záveroch z 8. júna 2017 o bezpečnosti cestnej premávky, ktorými sa schvaľuje vyhlásenie z Valletty z marca 2017, schválila nový priebežný cieľ znížiť počet ťažkých zranení do roku 2030 na polovicu v porovnaní s rokom 2020. Na splnenie oboch uvedených cieľov preto treba vyvinúť väčšie úsilie.“[1]

Uvedené štatistické údaje (pozri Obr. 1 a 2) vykazujú pozitívny trend znižovania smrteľných dopravných nehôd (existujú disproporcie v percentuálnom hodnotení znižovania medzi jednotlivými krajinami) a celkový pokles smrteľných dopravných nehôd je o 37 % v priemere v rámci európskych krajín.



Obr. 1 Počet smrteľných dopravných nehôd na milión obyvateľov v roku 2010 [2]



Obr. 2 Počet smrteľných dopravných nehôd na milión obyvateľov v roku 2020 [2]

Zaujímavým komparatívnym údajom by boli dáta celkovej intenzity cestnej dopravy v rovnakom porovnávanom období a v rovnakom rozsahu posudzovaných európskych krajín. Môžeme však predpokladať, že vo všeobecnosti má intenzita cestnej dopravy stúpajúcu tendenciu. Potvrdením všeobecného predpokladu môže byť Česká republika, kedy z výsledkov opakujúceho [3] sa celonárodného sčítania dopravy „Celostátní sčítání dopravy 2020“ vyplýva **významný nárast výkonov cestnej dopravy**

v priemere o **10 %**, z toho nárast na diaľniciach o 15 % a na ostatnej cestnej sieti o 9 %. Z hľadiska skupín vozidiel došlo u osobných vozidiel k nárastu o 9 % a u nákladných vozidiel o 16 %.

Vráťme sa k úvodnému konštatovaniu Komisie, kedy vytýčený cieľ v roku 2020 dosiahnuť zníženie počtu smrteľných dopravných nehôd na polovicu v porovnaní s rokom 2010 nebol dosiahnutý a cieľ priblíženia sa k nulovej úmrtnosti v roku 2050 je otázný. Dôležité je však opätovne poukázať na klesajúci trend smrteľných dopravných nehôd. Najpodstatnejším faktom však ostáva záujem Komisie a jednotlivých štátov EÚ maximalizovať úsilie o zníženie smrteľných dopravných nehôd. Jedným z nástrojov je aj už spomínaná novelizácia smernice 2008/96/ES, kde boli prijaté mnohé korekcie technických opatrení, nové požiadavky postupov kontroly a riadenia bezpečnosti ciest aplikáciou najlepších dostupných technických poznatkov a došlo k zásadnej korelácii predpisov, najmä smernice 2004/54/ES [2]

Na problematike riadenia a kontroly bezpečnosti cestnej infraštruktúry je možné poukázať na potrebu očakávania plynulého, ale najmä prirodzeného vývoja dosahovania pozitívnych cieľov pozavedením účinných opatrení. Nie je možné direktívne stanovovať hodnoty budúcich výsledkov. Je tiež potrebné rešpektovať diverzitu krajín EÚ a s tým priamo i nepriamo súvisiace fakty, ako napríklad ich technologický pokrok, ekonomické možnosti spoločnosti a mnoho ďalších.

Významný podiel na dosahovaní celospoločenských/celoeurópskych cieľov je na strane jednotlivých krajín EÚ, kedy jednotlivé krajiny sú samotným vykonávateľom opatrení. Vyžaduje sa, aby jednotlivé krajiny a ich riadiace zložky prijímali čo najefektívnejšie a najoptimálnejšie riešenia s maximálnym efektom a prínosom.

3 Riadenie a kontrola bezpečnosti PK podľa zákonných predpisov SR

Ministerstvo dopravy a výstavby SR (ďalej len „MDV SR“) ako zodpovedná inštitúcia predložila v polovici roku 2021 do legislatívneho procesu návrh zmeny zákona č. 249/2011 Z.z. *o riadení bezpečnosti pozemných komunikácií a o zmene a doplnení niektorých zákonov*. Rovnako v roku 2022 MDV SR predložilo do legislatívneho procesu návrh zmeny vyhlášky č. 251/2011 Z.z. *ktorou sa ustanovujú podrobnosti riadenia bezpečnosti pozemných komunikácií a návrh zmeny vyhlášky č. 135/2012 Z.z. ktorou sa ustanovujú podrobnosti o odbornej príprave, o odbornej skúške a o výkone činnosti audítora bezpečnosti pozemnej komunikácie, o zápise do zoznamu audítorov bezpečnosti pozemných komunikácií a o zápise do zoznamu vzdelávacích inštitúcií akreditovaných v odbore riadenia bezpečnosti pozemných komunikácií*.

Potreba novelizácie zákona, vybraných vyhlášok a aj iných súvisiacich platných právnych predpisov SR vychádza priamo z požiadaviek Európskeho parlamentu a Rady EÚ determinovaných smernicou 2019/1936/ES², kedy členské štáty uvedú do účinnosti zákony, iné právne predpisy a správne opatrenia potrebné na dosiahnutie súladu s touto smernicou do 17. decembra 2021.

Požiadavka Európskeho parlamentu a Rady EÚ na transpozíciu smernice 2019/1936/ES bola splnená zodpovednou inštitúciou (MDV SR) a zákonodarným orgánom Slovenskej republiky k augustu 2022, kedy boli posledné dotknuté zákony a vyhlášky zverejnené v Zbierke zákonov SR.

3.1 Bezpečnostný audit PK – podľa zákona č. 249/2011 Z.z.

Definícia auditu bezpečnosti pozemnej komunikácie podľa § 3 spomínaného zákona je nasledovná:

§ 3 Audit bezpečnosti pozemnej komunikácie

- (1) Audit bezpečnosti pozemnej komunikácie je nezávislé, systematické a technické overenie bezpečnosti vlastností navrhovanej novej pozemnej komunikácie alebo

- navrhovanej podstatnej zmeny existujúcej pozemnej komunikácie, ktorá ovplyvní dopravný prúd, od etapy jej plánovania až po etapu začatia jej užívania. Účelom bezpečnostného auditu je zhodnotenie prvkov bezpečnostného auditu.
- (2) Bezpečnostný audit je povinný zabezpečiť stavebník. Bezpečnostnému auditu podlieha dokumentácia pre stavebné konanie, dokumentácia skutočného realizovania stavby a samotná stavba.
 - (3) Výsledkom bezpečnostného auditu je správa o audite bezpečnosti pozemnej komunikácie, v ktorej sa určia rozhodujúce bezpečnostné prvky navrhovanej novej pozemnej komunikácie alebo navrhovanej podstatnej zmeny existujúcej pozemnej komunikácie pre každú etapu samostatne. Správa o bezpečnostnom audite obsahuje aj návrhy a odporúčania na odstránenie alebo zníženie predpokladaných rizík, ktoré vyplývajú z vlastností navrhovanej pozemnej komunikácie alebo navrhovanej podstatnej zmeny existujúcej pozemnej komunikácie a majú alebo môžu mať vplyv na bezpečnosť cestnej premávky a návrhy na odstránenie rozporov s platnými právnymi predpismi, slovenskými technickými normami alebo obdobnými technickými špecifikáciami.
 - (4) K návrhu na začatie stavebného konania, konania o povolení predčasného užívania pozemnej komunikácie a kolaudačného konania stavebník predloží okrem dokumentácie a dokladov podľa osobitného predpisu aj správu o bezpečnostnom audite podľa odseku 3. Ak stavebník nevyhovel návrhom a odporúčaniam pre príslušnú etapu podľa odseku 1 obsiahnutým v správe o bezpečnostnom audite, uvedie v prílohe k správe o bezpečnostnom audite dôvody, pre ktoré návrhom a odporúčaniam nevyhovel.
- [4]

Za pozornosť stojí najmä doplnený § 3 ods. (3) zákona č. 249/2011 Z.z., kde je kladený dôraz na určenie rozhodujúcich bezpečnostných rizík.

Dôležité a zásadné je poukázanie na identifikovanie bezpečnostných deficitov pri výkone bezpečnostného auditu bezpečnostným audítorom a jeho návrhy na odstránenie rozporov s platnými právnymi predpismi, slovenskými technickými normami alebo obdobnými technickými špecifikáciami.

3.2 Riadenie a kontrola bezpečnosti PK v užívaní – podľa zákona č. 249/2011 Z.z.

Novelizáciou smernice 2019/1936/ES [1] sa pristúpilo k zásadnému a významnému kroku, ktorý bol transponovaný a je uvedený v zákone č. 249/2011 Z.z. konkrétne sa jedná o § 4 ods. (3) zákona, kde je uvedený:

§ 4 Riadenie a kontrola bezpečnosti pozemnej komunikácie v užívaní

- (3) Inšpekciou sa hodnotia úseky pozemnej komunikácie vrátane ich súčastí(3a) určené v rámci klasifikácie bezpečnosti cestnej siete. **Hodnotenie príľahlých úsekov cestného tunela sa vykoná spolu s inšpekciou podľa osobitného predpisu.3b). Bezpečnostný audítor pri vykonávaní inšpekcie a pri hodnotení úsekov podľa druhej vety postupuje podľa vykonávacieho predpisu.**

3.3 Klasifikácia bezpečnostných deficitov PK – podľa vyhlášky č. 251/2011 Z.z.

Veľmi dôležitým a podstatným faktorom návrhu novelizácie vyhlášky a dotknutých platných právnych predpisov, bolo doplnenie klasifikácie bezpečnostných deficitov podľa miery rizika. Zásadnou potrebou bola samotná definícia jednotlivých klasifikácií resp. ich miery rizika určením ich kvantifikovateľných parametrov.

Podstatným bolo určenie a vyhodnotenie bezpečnostných deficitov v súvislosti s **bezpečným užívaním pozemnej komunikácie** a následných zaväzujúcich povinností [5] pre samotného správcu pozemnej komunikácie.

Uvádzame paragrafové znenie týkajúce sa klasifikácie bezpečnostných deficitov podľa mieri rizika:

§ 5a Klasifikácia bezpečnostných deficitov pozemnej komunikácie

- (1) Pri posudzovaní vplyvu bezpečnosti pozemnej komunikácie sa určia nevyhovujúce prvky pozemnej komunikácie a jej bezpečnostné deficit s určením miery ich rizika.
- (2) Bezpečnostné deficity pozemnej komunikácie sa klasifikujú podľa miery rizika na
 - a) bezpečnostný deficit s nízkou mierou rizika,
 - b) bezpečnostný deficit so strednou mierou rizika,
 - c) bezpečnostný deficit s vysokou mierou rizika.
- (3) Bezpečnostný deficit s nízkou mierou rizika môže mať vplyv na vznik kolíznych až nehodových situácií alebo môže zvýšiť subjektívny pocit rizika účastníkov cestnej premávky. Bezpečnostný deficit s nízkou mierou rizika môže vyvolať kolíznú situáciu alebo dopravnú nehodu. V prípade vzniku dopravnej nehody môžu byť jej dôsledky závažnejšie ako v prípade použitia správneho technického riešenia.
- (4) Bezpečnostný deficit so strednou mierou rizika má vplyv na vznik kolíznych situácií alebo dopravných nehôd a obmedzuje bezpečné užívanie pozemnej komunikácie. V prípade vzniku dopravnej nehody sú jej dôsledky s vysokou pravdepodobnosťou závažnejšie ako v prípade použitia správneho technického riešenia.
- (5) Bezpečnostný deficit s vysokou mierou rizika má zásadný vplyv na vznik kolíznych situácií a dopravných nehôd a **bráni bezpečnému užívaniu pozemnej komunikácie**. V prípade vzniku dopravnej nehody sú jej dôsledky výrazne závažnejšie ako v prípade použitia správneho technického riešenia.[6]

4 Bezpečnostný audit PK – podľa zákona č. 249/2011 Z.z.

4.1 Deficity bezpečnosti na PK

Bezpečnostné opatrenia zo strany správcov PK sú v mnohých prípadoch prijímané nesystémovo, bez predošlej analýzy a zdôvodnenia potreby. Zainteresované subjekty často podceňujú analýzu možných kolíznych situácií, nehôd a iných závažných udalostí. Z metodického hľadiska vhodným príkladom je závažná nehodová udalosť ktorá sa stala na úseku diaľnice, kde došlo k nárazu návesovej súpravy do bezpečnostných záchytných zariadení v strednom deliacom páse s následným pretrhnutím vzájomného spojenia oceľového zvodidla s betónovým zvodidlým blokom (pozri obr. 3). Dôsledkom roztrhnutia spojenia bolo, že betónové zvodidlo bolo vymrštené do jazdného koridoru pohybujúceho sa vozidla v protismere v dôsledku toho došlo k vytvoreniu náhlej prekážky bez možnosti včasnej reakcie vodičom.

Ďalšou závažnou nehodou s následkom ťažkého zranenia vodiča vozidla pohybujúceho sa v protismere a s výrazným obmedzením prejazdnosti úseku cesty európskeho významu TEN-T bolo zanedbanie a podcenenie správneho osadenia bezpečnostných záchytných zariadení.



Obr. 3 Bezpečnostný deficit vzájomného spojenia zvodidiel [8]

Preukázaním zanedbania analýzy a prijímaných opatrení zo strany správcu PK bola mimoriadna udalosť ktorá sa stala v roku 2016 na úseku diaľnice v predportálovej časti tunela Bôrik. Vodič motorového vozidla v dôsledku únavy a následného mikrosprávku stratil kontrolu nad vedením motorového vozidla. Nekontrolované motorové vozidlo nabehlo na nábehový diel betónového zvodidla a pokračovalo nekontrolovateľným letom vzduchom. Sekvenčné snímky o priebehu tejto nehody z hybridnej analýzy nehody sa nachádzajú na Obr. 4.



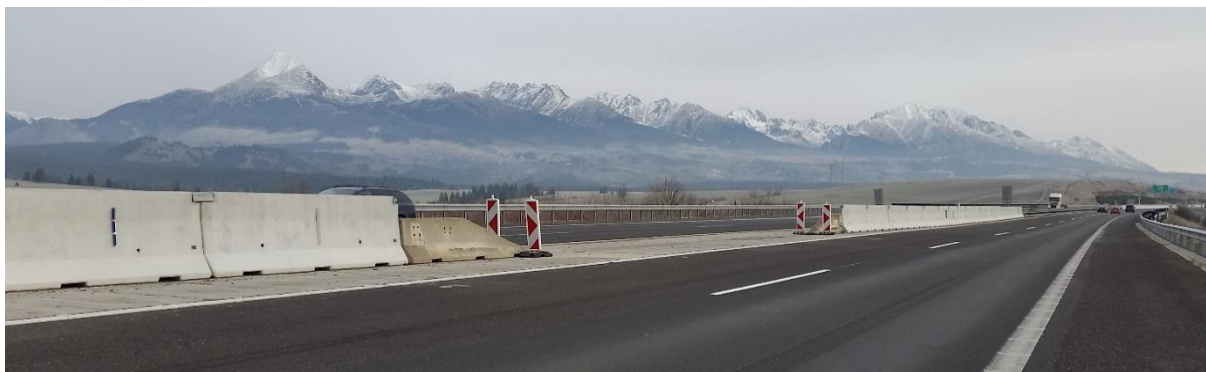
Obr. 4 Kolízia motorového vozidla s betónovým zvodidlom [8]

Prerušenie stredného deliaceho pásu smerovo rozdelenej komunikácie je priamo v rozpore s platnými zákonmi SR, slovenskými technickými normami a technickými predpismi. Samozrejme je potrebné podotknúť, že aj vodič motorového vozidla porušil zákon, avšak toto nemôže byť argumentom správcu PK obhajujúcim vedomé porušovanie zákonov.

Nasledujúci príklad je ukážkou závažného bezpečnostného deficitu, ktorý vznikol paradoxne z činnosti správcu PK.

Úlohou subjektov verejnej správy je hospodárne nakladať s verejnými financiami a zabezpečovať plnenie verejných úloh v prospech štátu a teda v prospech občanov. Bezpečnosť a plynulosť cestnej dopravy je neoddeliteľnou súčasťou plnenia verejných úloh. Správca komunikácie - Národná diaľničná spoločnosť vykonáva na úsekoch prevádzkovaných diaľnic a rýchlостných ciest rekonštrukciu fyzicky a morálne zastaraných bezpečnostných záchytných zariadení. Takéto činnosti majú svoje veľké opodstatnenie a sú prínosom pre zvýšenie bezpečnosti cestnej dopravy a účastníkov cestnej premávky.

Bezpečnostný deficit bol vytvorený prerušením bezpečnostných záchytných zariadení v strednom deliacom páse na novo rekonštruovanom úseku diaľnice (pozri Obr.5).



Obr. 5 Prerušenie zvodidiel v strednom deliacom páse [8]

Takto vytvorený bezpečnostný deficit predstavuje vysoké riziko možnosti vzniku veľmi závažnej až fatálnej dopravnej nehody. Opätovne bola porušené záväzné právne normy a technické predpisy. Dôležité v tejto súvislosti je, že daný úsek diaľnice prešiel relatívne nedávnou rekonštrukciou s cieľom zvýšenia bezpečnosti dopravy.

Napriek výraznému bezpečnostnému riziku bol tento bezpečnostný deficit prehliadnutý všetkými príslušnými subjektmi verejnej správy.

K otázkam pasívnej bezpečnosti je možné pristupovať po dosiahnutí určitého odborného stupňa a určitej úrovne praktických skúseností. V opačnom prípade hrozí vysoké riziko prijímania nesprávnych rozhodnutí.

Je veľmi pozitívne, že diskusia v takýchto prípadoch prebieha za širokej účasti, avšak je dôležité, aby bola vecná a vedená na odbornej úrovni. Povrchnosť a nesprávnosť vysvetľovania odborných faktov je na úkor zníženia obsahovej a vecnej stránky diskusie. Opäť dané tvrdenie vychádza z reálnych skúseností, kde pri diskusiách ohľadom bezpečnostných záchytných zariadení dochádza k nesprávnej interpretácii odborných faktov, nesprávnej interpretácii požiadaviek a následne aj k chybným rozhodnutiam.

4.2 Bezpečnostný deficit – vysoká miera rizika

V predchádzajúcich častiach príspevku boli uvádzané dôvody a potreby novelizácie právnych predpisov týkajúcich sa bezpečnosti cestnej dopravy na základe doterajších skúseností krajín EÚ a získaných poznatkov výskumu a vývoja v oblasti cestnej bezpečnosti.

Samotné novo prijaté zákony nedokážu zabezpečiť správny výkon riadenia a kontroly bezpečnosti PK a nedokážu eliminovať nedostatočný výkon posudzovania bezpečnosti PK bezpečnostnými audítormi. Alarmujúca pri rozhodovaní je miera rozsahu nesprávnych opatrení a záverov, ktoré sú priamo v rozpore s platnými právnymi predpismi SR, čo predstavuje zásadné ohrozenie nielen pre účastníkov cestnej premávky, ale aj značné riziko zodpovednosti na strane samotných správcov PK z pohľadu trestnoprávnej roviny.

Poukázanie na takéto prípady z praxe nie je cielené negatívne a nepredstavuje ani o pokus dehonestáciu konkrétnych osôb, ale zámer upozorňovať na zásadné chyby a tým vytvárať precedensy, na základe, ktorých dôjde v budúcnosti k náprave tak, aby boli prijímané opatrenia a závery potrebné pre správne technické a zákonné riešenia.

Nedávnym príkladom zásadného bezpečnostného deficitu bola spracovaná „**Správa bezpečnostného auditu Diaľnice (D1 Prešov, západ – Prešov, juh / Stavba (pred uvedením do prevádzky)**“. Tento bezpečnostný audit bol spracovaný podľa zákona č. 249/2011 Z.z. a vykonávacej vyhlášky č. 251/2011 Z.z. a bol spracovaný bezpečnostným auditorom zapísaným v zozname vedenom MDV SR. Popis bezpečnostného deficitu s fotodokumentáciou z originálu bezpečnostného auditu je uvedený na Obr. č. 6.

Analýzou správy bezpečnostného auditu bolo zistených niekoľko nezrovnalostí a nejasností. Pre **ukážku závažného porušenia a zlyhaní v reťazci** je jeden vybraný závažný bezpečnostný deficit.

Pre úplnosť a nemennosť údajov boli použité kópie častí textu zo Správy o bezpečnostnom audite – Stavba (pred uvedením do prevádzky) úseku diaľnice D1 Prešov, západ – Prešov, juh (pozri Obr. 6).

Bezpečnostný deficit „SO100-00-2“:

Pred následkami nárazu vozidla do priečnej klenby tunela sú osadené pred každou tunelovou rúrou po dva tlmiče nárazu ako zo smeru Poprad, tak aj zo smeru Košice. Tlmiče svojou dĺžkou kolmo zasahujú do prístupovej komunikácie, ktorá sa má využívať pri dopravnej nehode priamo v tunelovej rúre. Zostávajúca svetlá šírka prejazdu na prístupovej komunikácii je 3,20 m, pričom prichádzajúce záchranné vozidlá smer tunelová rúra a aj odchádzajúce vozidlá musia zmeniť smer jazdy o 90 stupňov. Z priloženej fotky je zrejmé, že aj keď má tunelová rúra ako aj prístupová komunikácia po dva jazdné pruhy, samotný prejazd vozidiel okolo tlmiča nárazu môže záchranné operácie výrazne spomaliť. Na stavbe sa počas výkonu cestného auditu preverilo, že nákladné vozidlo s 2 nápravami dĺžky do 10 m vyšlo z tunelovej rúry a otočilo sa okolo tlmiča nárazu len s cúvaním. Takého stavebno-technické riešenie má priamy vplyv na rýchlosť a plynulosť príp. hasičských a záchranných opatrení po dopravnej nehode v tuneli. Preto zrealizované stavebno-technické riešenie sa z pohľadu bezpečnosti cestnej premávky, t. j. odstraňovaniu jej následkov v tuneli nemôže považovať za trvalé a dlhodobé bezpečné riešenie.



Návrh riešenia:

Zrealizované provizórne riešenie ochrany priečnej steny tunelovej rúry pred nárazom vozidla je potrebné z hľadiska jej dlhodobej funkčnosti a bezpečnosti v portálových úsekoch nahradiť napr. pomocou elektromechanicky otváracích brán/zvodidla typu CADO, alebo iného obdobného zariadenia, čím sa odstráni „hrdlo“ na pozemnej komunikácii, po ktorej sa zabezpečujú záchranné práce v prípade dopravnej nehody v tuneli.

Hodnotenie miery rizika:

Deficit SO100-00-2 vykazuje strednú mieru ovplyvnenia bezpečnosti.

Obr. 6 Správa bezpečnostného auditu Diaľnice D1 Prešov, západ – Prešov, juh [7]

Ukážka vybraného závažného bezpečnostného deficitu (*klasifikácia mala byť podľa autorov článku až v stupni „**bezpečnostný deficit s vysokou mierou rizika**“*) nie je náhodná, ale je veľmi kvalitná na poukázanie niekoľkých **zásadných nedostatkov!**

Dôležitá je aplikácia § 3 ods. (3) zákona č. 249/2011 Z.z. kde je uvedené, citujeme časť paragrafového znenia: „Správa o bezpečnostnom audite obsahuje aj návrhy a odporúčania na odstránenie alebo zníženie predpokladaných rizík, ktoré vyplývajú z vlastností navrhovanej pozemnej komunikácie alebo navrhovanej podstatnej zmeny existujúcej pozemnej komunikácie a majú alebo môžu mať vplyv na bezpečnosť cestnej premávky a návrhy na odstránenie rozporov s platnými zákonmi, slovenskými technickými normami alebo obdobnými technickými špecifikáciami.“ Tieto zásadné rozpory sú uvedené v nasledujúcej Tabuľke č.1.

Tabuľka 1: Zásadné rozpory zistené pri analýze bezpečnostného deficitu

Zásadné rozpory a nedostatky Správy o bezpečnostnom audite – Stavba (pred uvedením do prevádzky)	
Priamy rozpor platných právnych predpisov SR	- rozpor § 4 ods. (2) zákona č. 135/1961 Zb. - rozpor § 3 ods. (8) zákona č. 135/1961 Zb. - rozpor § 6 zákona č. 138/1992 Zb. - rozpor § 2 ods. (1) písm. a) zákona č. 133/2013 Z.z. - rozpor § 40 vyhlášky č. 121/2002 Z.z. - rozpor § 2 ods. (1) písm. j) zákona č. 171/1993 Z.z.
Priamy rozpor slovenských technických noriem a technických špecifikácií (predpisov)	- Norma STN 73 6101 Projektovanie diaľnic - Norma STN 73 7507 Projektovanie cestných tunelov - TP 010 Zvodidlá na pozemných komunikáciách - TP 037 Zvodidlá na pozemných komunikáciách. Betónové zvodidlá - TP 065 Tlmiče nárazov - TP 092 Stanovenie základných prvkov bezpečnosti pri prevádzke pozemných komunikácií - TP 099 Protipožiarna bezpečnosť cestných tunelov - TP 108 Zvodidlá na pozemných komunikáciách. Dočasné zvodidlá - TP 116 Inšpekcia tunelov

Samotný bezpečnostný audítor konštatuje v popise bezpečnostného deficitu zrejme zásadné bezpečnostné riziká, ako z pohľadu cestnej bezpečnosti, tak aj z pohľadu bezpečnosti protipožiarnej. Ďalej ohľadom samotného technického riešenia konštatuje, že toto citujeme: **„nemôže považovať za trvalé a dlhodobé bezpečné riešenie“**.

Miera odborného výkonu bezpečnostného audítora pri definovaní bezpečnostných deficitov, zákonných a technických rozporov, nedostatočného posúdenia technického riešenia vyplývajúceho z návrhu zodpovedného autorizovaného inžiniera a nesprávna klasifikácia miery rizika bezpečnostným audítorom je súčasťou reťazenia pochybení.

V tomto konkrétnom prípade je možné určiť mieru zodpovednosti jednotlivých subjektov v celkovom kontexte. V súčasnosti sa môžeme len domnievať, prečo nedošlo zo žiadnej strany kompetentných subjektov (zodpovedných inštitúcií) k nápravným opatreniam. Tento zásadný stav bezpečnostného rizika bude nevyhnutne podrobne analyzovať, determinovať mieru zodpovednosti a tým vytvoriť precedens podľa ktorého sa bude potrebné riadiť v budúcnosti.

4.3 Riadenie alebo neriadenie bezpečnosti PK

Dôležitosť miery zodpovednosti, kompetencie a činností zodpovedných inštitúcií je jedným zo základných prvkov potrebných na dosahovanie vytýčených cieľov v oblasti bezpečnosti PK a bezpečnosti účastníkov cestnej dopravy.

Existencia platných zákonov, usmernení, technických noriem a technických predpisov je do značnej miery bezpredmetná, pokiaľ existuje benevolencia a nerešpektovanie týchto zákonných a technických noriem zo strany kompetentných inštitúcií.



Obr. 7 Dopravná nehoda na diaľnici D2 – prekonanie zvodidiel v SDP, nákladné vozidlo v protismere [8]

Príkladom vysokej miery ohrozenia, ktoré môže spôsobiť nedodržanie základných princípov riadenia bezpečnosti pozemných komunikácií je dopravná nehoda nákladného vozidla, ktorá sa stala na úseku diaľnice D2 dňa 6.4.2022 pred križovatkou Stupava v smere na Malacky (pozri obr.7). Pri predmetnej nehode došlo po strate riadiacej stability u jazdnej súpravy, naloženej ťažkým sypkým materiálom k prekonaniu stredových oceľových zvodidiel v SDP, jej prevráteniu a preniknutiu do predbiehacieho pruhu na diaľnici, pričom vrstva rozsypaného materiálu pokryla celý priečny profil vozovky v tomto úseku.

V tejto súvislosti je potrebné poznamenať, že výkon bezpečnostných inšpekcií a cielených prehliadok môže výrazným spôsobom zvýšiť celkovú bezpečnosť dopravy. V prípade závažných dopravných nehôd sa spravidla vypracováva aj znalecký posudok z odboru Cestná doprava odvetvoe Analýza dopravných nehôd. V minulosti, ešte pre platnosťou Zákona č. 382/2004 o znalcoch tlmočníkoch bolo štandardom, že sa znalec mal vyjadriť o opatreniach, ktoré by viedli k zabráneniu podobným nehodám. Neskorší výklad povinností tieto vo všeobecnosti interpretoval tak, že znalec sa má len vyjadriť a odpovedať na otázky, položené zadávateľom. Toto nie je príliš priaznivý stav, kedy by k nápravným opatreniam mohlo vo zvýšenej miere dochádzať bezprostredne po nehodách. Je dôležité, že časť bezpečnostných audítorov je súčasne dopravnými znalcami. Uplatňovanie prvkov výkonu riadenia bezpečnosti pozemných komunikácií a vývoj v tejto oblasti tak bude mať jednoznačne pozitívny vplyv a veríme, že prispeje k zlepšeniu situácie na slovenských cestách.

5 Záver

Z uvedených faktov vyplýva, že sústavne pretrváva potreba analýzy všetkých dopravných nehôd zaznamenaných správcom, ale aj analýza v oblasti nových dopravných zariadení, technológií a skúseností resp. analýza v oblasti vývoja a výskumu. Významná je analýza v lokálnych podmienkach (reálne dopravné nehody na úsekoch diaľnic a rýchlostných ciest – reálna konfrontácia samotnej dopravnej nehody a špecifik nadradenej cestnej siete) v nadväznosti na minulé skúsenosti a zistenia. Z tohoto dôvodu je možné skonštatovať, že zavedený systém riadenia bezpečnosti pozemných komunikácií je veľmi dôležitým prvkom, ktorý tieto požiadavky dokáže splniť.

Zvyšovanie pasívnej bezpečnosti pozemných komunikácií má svoje významné opodstatnenie a má priamy súvis so závažnosťou dopravných nehôd. Je jedným z najvýznamnejších faktorov pri priebehoch dopravných nehôd.

Súčasná situácia v oblasti bezpečnosti cestnej dopravy je však limitovaná finančnými možnosťami správcu, kapacitnými možnosťami a časovou náročnosťou samotného rozsahu opatrení, spracovania

dokumentácie a procesu schvaľovania príslušných subjektov verejnej správy. Je však dôležité, aby správcovia komunikácií prikladali zvyšovaniu úrovne bezpečnosti cestnej dopravy náležitú pozornosť.

6. Literatúra

- [1] SMERNICA EURÓPSKEHO PARLAMENTU A RADY (EÚ) 2019/1936 z 23. októbra 2019, ktorou sa mení smernica 2008/96/ES o riadení bezpečnosti cestnej infraštruktúry / Úradný vestník Európskej únie
- [2] European Road Safety Observatory - Annual statistical report on road safety in the EU 2021 / Author: Rob Decae (SWOV) / Version 2.0, April 2022
- [3] Celonárodné sčítanie cestnej dopravy každých 5 rokov, posledné celonárodné sčítanie dopravy roku 2016
- [4] Zákon č. 249/2011 Z.z. o riadení bezpečnosti pozemných komunikácií a o zmene a doplnení niektorých zákonov / Zbierka zákonov SR, časová verzia predpisu účinná od: 1. 7.2022
- [5] § 1 ods. (1) zákona č. 135/1961 Zb. o pozemných komunikáciách (cestný zákon)
- [6] Vyhláška č. 251/2011 Z.z. ktorou sa ustanovujú podrobnosti riadenia bezpečnosti pozemných komunikácií / Zbierka zákonov SR, časová verzia predpisu účinná od: 1. 8.2022
- [7] Správa bezpečnostného auditu Diaľnice D1 Prešov, západ – Prešov, juh / Stavba (pred uvedením do prevádzky)
- [8] Fotodokumentácia z archívu autorov
- [9] TECHNICKÉ PODMIENKY RIADENIE A KONTROLA BEZPEČNOSTI POZEMNÝCH KOMUNIKÁCIÍ - Ministerstvo dopravy SR Sekcia cestnej dopravy a pozemných komunikácií TP 092 - Spracovatelia predpisu: Riecky, M; Kubjatko, T.

PodĎakovanie

Tento príspevok bol podporený Agentúrou pre podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-APVV-23-0665. Tento príspevok bol vypracovaný v rámci projektu APVV-23-0665: Metódy exaktného zisťovania vybraných parametrov pre účely riadenia bezpečnosti pozemných komunikácií.