

Svet Dopravy

01/2026



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

zahraničná:

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

HIERARCHICKÁ ŠTRUKTÚRA A KONCENTRÁCIA VÝKONOV ŽELEZNIČNEJ SIETE SLOVENSKEJ REPUBLIKY	4
VYUŽITIE SIMULÁCIE NEPRIAZNIVÝCH ENVIRONMENTÁLNYCH PODMIENOK PRI HODNOTENÍ VÝKONNOSTI LODNÝCH POSÁDOK.....	14
JEDNOTLIVÉ VOŽŇOVÉ ZÁSIELKY NA SLOVENSKU: MEDZI VEREJNOU PODPOROU A INTERMODÁLNOU TRANSFORMÁCIOU	29
EKONOMICKÉ A ENVIRONMENTÁLNE NÁKLADY DEFICITOV VEREJNEJ DOPRAVY V SEKUNDÁRNO MESTE: DÔKAZY Z JIZZAKHU, UZBEKISTAN	37
SOFTVÉROVÁ PODPORA AUTOMATIZÁCIE V SKLADOVEJ LOGISTIKE PRI VYUŽITÍ WMS A WCS PRE TECHNOLOGIE G2P	49
VPLYV G2P NA CHYBOVOSŤ, OPTIMALIZÁCIU ĽUDSKÝCH ZDROJOV A ENERGIE.....	57
VYUŽITIE FMDS PRI PLÁNOVANÍ PROTIPOŽIARNEJ OCHRANY V SKLADOCH	64
IMPLEMENTACE 4. ŽELEZNIČNÍHO BALÍČKU: VÝZVY A VÝVOJ V KONTEXTU JEDNOTNÉHO EVROPSKÉHO ŽELEZNIČNÍHO PROSTORU.....	72
Zvýšenie kapacity vzletovo pristávacej dráhy s jednou rolovacou dráhou	79

HIERARCHICKÁ ŠTRUKTÚRA A KONCENTRÁCIA VÝKONOV ŽELEZNIČNEJ SIETE SLOVENSKEJ REPUBLIKY

Autori:

Milan DEDÍK¹, Jozef GAŠPARÍK², Miroslav BUC³, Peter ŠULKO⁴

Tituly a pôsobisko autorov:

¹Ing. Milan Dedík, PhD., Žilinská univerzita v Žiline, Univerzitná 8215/1, 010 26, E-mail: milan.dedik@uniza.sk

²prof. Ing. Jozef Gašparík, PhD., Žilinská univerzita v Žiline, Univerzitná 8215/1, 010 26, E-mail: jozef.gasparik@uniza.sk

³Ing. Miroslav Buc, Žilinská univerzita v Žiline, Univerzitná 8215/1, 010 26, E-mail: buc2@stud.uniza.sk

⁴Ing. Peter Šulko, PhD., Železnice Slovenskej republiky, Klemensova 8 813 61 Bratislava, E-mail: Sulko.Peter@zsr.sk

Abstrakt: Článok sa zaoberá analýzou vývoja výkonov osobnej a nákladnej železničnej dopravy v Slovenskej republike v období rokov 2014 až 2025 na základe ukazovateľov HRTKM a VLKM. Cieľom článku je identifikovať vývojové trendy výkonov železničnej dopravy, posúdiť mieru využitia železničnej siete a analyzovať priestorovú koncentráciu dopravy na jednotlivých tratiach. Súčasťou spracovania je medziročná analýza zmien výkonov, benchmarking tratí podľa ukazovateľa produktivity, Paretova analýza koncentrácie výkonov a scenárová predikcia vývoja dopravy do roku 2030. Výsledky analýzy poukazujú na výraznú koncentráciu výkonov na hlavných koridorových tratiach a zároveň na rozdielny charakter osobnej a nákladnej dopravy. Nákladná doprava vykazuje vyššiu volatilitu a väčšiu citlivosť na ekonomický vývoj, zatiaľ čo osobná doprava má stabilnejší priebeh. Výsledky článku môžu slúžiť ako podklad pre strategické plánovanie rozvoja železničnej infraštruktúry, optimalizáciu využitia tratí a podporu rozhodovacích procesov v oblasti dopravnej politiky.

Kľúčové slová: osobná železničná doprava, nákladná železničná doprava, analýza, predikcia

ANALYSIS AND PREDICTION OF PASSENGER AND FREIGHT RAIL TRANSPORT PERFORMANCE

Abstract: The article focuses on the analysis of the development of passenger and freight railway transport performance in the Slovak Republic during the period 2014–2025 based on the indicators HRTKM and VLKM. The aim of the article is to identify trends in railway transport performance, assess the level of railway network utilisation, and analyse the spatial concentration of transport on individual railway lines. The analysis includes year-on-year performance evaluation, benchmarking of railway lines according to productivity indicators, Pareto analysis of performance concentration, and scenario forecasting of transport development until 2030. The results indicate a significant concentration of transport performance on the main corridor railway lines and confirm the different characteristics of passenger and freight transport. Freight transport shows higher volatility and greater sensitivity to economic development, while passenger transport demonstrates a more stable trend. The results of the study can serve as a basis for strategic planning of railway infrastructure development, optimisation of railway line utilisation, and support for decision-making processes in transport policy.

Keywords: railway passenger transport, railway freight transport, analysis, prediction

1 Úvod

Železničná doprava predstavuje významnú súčasť dopravného systému Slovenskej republiky a zohráva dôležitú úlohu pri zabezpečovaní mobility obyvateľstva, prepravy tovarov a podpore udržateľnej dopravy. V podmienkach rastúcich požiadaviek na efektívne využívanie dopravnej infraštruktúry a zvyšovanie konkurencieschopnosti železničnej dopravy nadobúda analýza dopravných výkonov čoraz väčší význam. Dlhodobé sledovanie výkonových ukazovateľov umožňuje identifikovať trendy vo vývoji osobnej a nákladnej dopravy, posudzovať mieru využitia železničnej siete a vytvárať podklady pre strategické plánovanie dopravy. Vývoj výkonov železničnej dopravy je ovplyvňovaný ekonomickým vývojom, organizáciou verejnej dopravy, zmenami mobility obyvateľstva, ako aj mimoriadnymi udalosťami. Významný zásah do vývoja dopravy predstavovala pandémia COVID-19, ktorá spôsobila výrazný pokles výkonov osobnej aj nákladnej železničnej dopravy. Pre hodnotenie vývoja železničnej dopravy patria medzi najvýznamnejšie ukazovatele HRTKM a VLKM, ktoré umožňujú analyzovať objem výkonov, intenzitu prevádzky a mieru využitia železničnej infraštruktúry. Ich kombináciou je možné hodnotiť produktivitu dopravy a identifikovať rozdiely medzi osobnou a nákladnou dopravou.

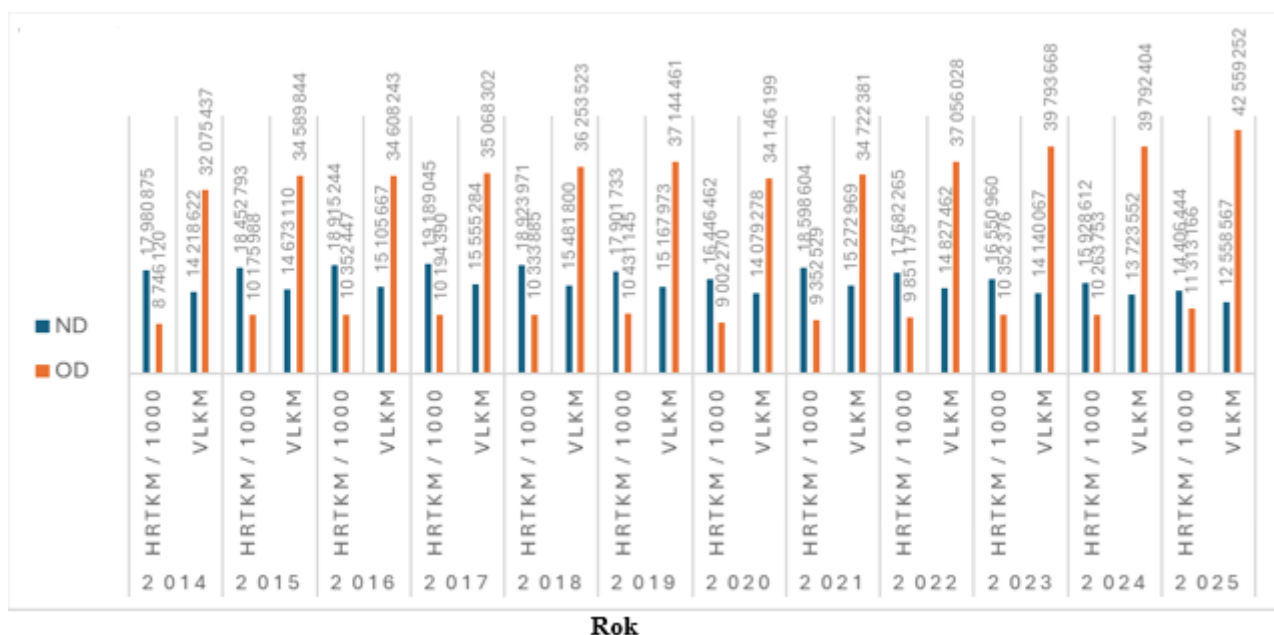
Cieľom článku je analyzovať vývoj výkonov osobnej a nákladnej železničnej dopravy v Slovenskej republike v období rokov 2014 až 2025 na základe ukazovateľov HRTKM a VLKM. Súčasťou analýzy je hodnotenie medziročných zmien, identifikácia najviac zaťažených tratí, benchmarking produktivity tratí a scenárová predikcia vývoja dopravy do roku 2030. Výsledky analýzy môžu slúžiť ako podklad pre strategické plánovanie rozvoja železničnej dopravy a optimalizáciu využitia železničnej infraštruktúry.

2 Dátová základňa a vývoj výkonov v osobnej a nákladnej železničnej doprave

Analýza vývoja výkonov osobnej a nákladnej železničnej dopravy bola realizovaná na základe dát o prevádzkových výkonoch na sieti Železníc Slovenskej republiky za obdobie rokov 2014 až 2025. Dátová základňa pozostáva z agregovaných údajov o výkonoch osobnej a nákladnej dopravy podľa jednotlivých tratí služobného číslovanie ŽSR. Pri spracovaní boli využité výkonové ukazovatele HRTKM a VLKM, ktoré patria medzi základné indikátory hodnotenia intenzity a rozsahu železničnej dopravy. Ukazovateľ HRTKM vyjadruje objem dopravných výkonov realizovaných na železničnej infraštruktúre, pričom zohľadňuje hmotnostný výkon dopravy. Ukazovateľ VLKM predstavuje rozsah prevádzky vyjadrený vlakovými kilometrami a umožňuje hodnotiť intenzitu prevádzky na jednotlivých tratiach železničnej siete. Kombináciou týchto ukazovateľov je možné analyzovať produktivitu dopravy a mieru využitia železničnej infraštruktúry.

Vývoj výkonov osobnej a nákladnej železničnej dopravy v období rokov 2014 až 2025 bol analyzovaný na základe ukazovateľov HRTKM a VLKM. Výsledky poukazujú na rozdielny charakter vývoja osobnej a nákladnej dopravy, pričom nákladná doprava vykazuje vyššiu citlivosť na ekonomický vývoj a externé faktory, zatiaľ čo osobná doprava má stabilnejší priebeh. V nákladnej doprave možno do roku 2018 pozorovať mierny rast výkonov, po ktorom nasleduje postupný pokles výrazne ovplyvnený pandemiou COVID-19 v roku 2020. Po čiastočnom oživení v roku 2021 pokračuje mierne klesajúci trend výkonov až do roku 2025. Vývoj ukazovateľa VLKM je stabilnejší, čo naznačuje menšie zmeny v rozsahu prevádzky. Osobná železničná doprava vykazuje počas sledovaného obdobia stabilnejší vývoj. Po raste výkonov do roku 2019 dochádza v roku 2020 k výraznému poklesu v dôsledku pandemických opatrení. V nasledujúcich rokoch sa výkony postupne obnovujú a vracajú k rastovému trendu. Ukazovateľ VLKM poukazuje na relatívne stabilný rozsah dopravnej obsluhy [1,2].

Medziročná analýza potvrdzuje vyššiu volatilitu nákladnej dopravy v porovnaní s osobnou dopravou. Najvýraznejšie poklesy boli zaznamenané v roku 2020, pričom následne dochádza k postupnému oživeniu výkonov v oboch segmentoch dopravy. Vývoj výkonov v osobnej a nákladnej doprave v rokoch 2014 až 2025 je prehľadne zobrazený v stĺpcovom grafe na obr. 1.



Zdroj: [3]

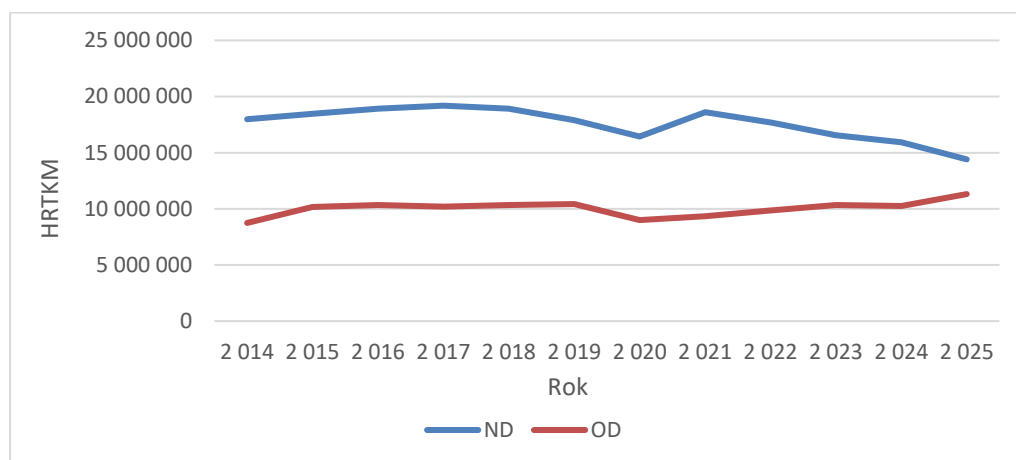
Obr. 1. Vývoj výkonov v osobnej a nákladnej doprave v rokoch 2014 – 2025

Z porovnania ukazovateľov HRTKM a VLKM vyplýva, že rozsah prevádzky zostáva relatívne stabilný, zatiaľ čo objem výkonov vykazuje výraznejšie zmeny. Tento vývoj naznačuje postupné znižovanie priemernej produktivity vlakov a potvrdzuje rozdielnú funkciu osobnej a nákladnej železničnej dopravy v rámci dopravného systému Slovenskej republiky [4]. Porovnanie ukazovateľov HRTKM a VLKM v osobnej a nákladnej doprave je zobrazené v tabuľke 1, pričom grafický vývoj týchto ukazovateľov je zobrazený na obr. 2 a 3.

Tab. 1. Porovnanie ukazovateľov HRTKM a VLKM v osobnej a nákladnej doprave

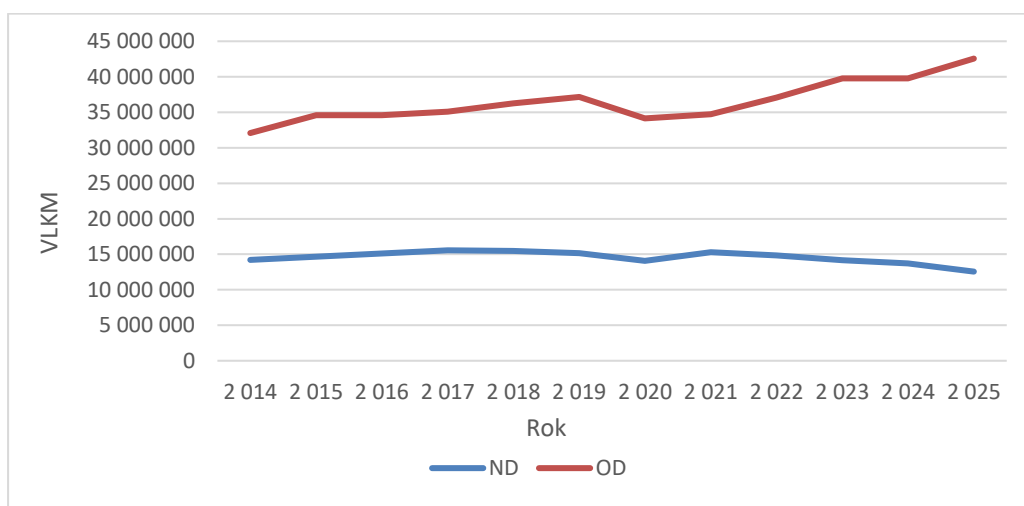
Rok	ND		OD		Σ HRTKM / 1000	Σ VLKM
	HRTKM / 1000	VLKM	HRTKM / 1000	VLKM		
2014	17 980 875,17	14 218 622,22	8 746 119,52	32 075 437,15	26 726 994,69	46 294 059,37
2015	18 452 793,21	14 673 109,54	10 175 987,95	34 589 844,12	28 628 781,16	49 262 953,66
2016	18 915 243,92	15 105 666,75	10 352 446,82	34 608 243,10	29 267 690,74	49 713 909,86
2017	19 189 044,87	15 555 283,87	10 194 389,73	35 068 301,71	29 383 434,61	50 623 585,58
2018	18 923 970,87	15 481 800,04	10 333 885,42	36 253 522,77	29 257 856,29	51 735 322,8
2019	17 901 733,29	15 167 972,55	10 431 144,52	37 144 460,51	28 332 877,81	52 312 433,06
2020	16 446 462,45	14 079 277,64	9 002 270,026	34 146 199,19	25 448 732,48	48 225 476,82
2021	18 598 604,38	15 272 969,14	9 352 529,266	34 722 381,24	27 951 133,65	49 995 350,38
2022	17 682 265,41	14 827 462,05	9 851 175,317	37 056 027,77	27 533 440,72	51 883 489,81
2023	16 550 959,99	14 140 066,61	10 352 376,28	39 793 668,46	26 903 336,27	53 933 735,07
2024	15 928 611,74	13 723 552,01	10 263 753,09	39 792 404,09	26 192 364,83	53 515 956,10
2025	14 406 444,21	12 558 566,73	11 313 165,52	42 559 251,82	25 719 609,73	55 117 818,55
Celkový súčet	210 977 009,5	174 804 349,1	120 369 243,5	437 809 741,9	331 346 253	612 614 091,1

Zdroj: [5,6]



Zdroj: [5,6]

Obr. 2. Vývoj ukazovateľa HRTKM/1000 v osobnej a v nákladnej doprave



Zdroj: [5,6]

Obr. 3. Vývoj VLKM v osobnej a v nákladnej doprave

3 Priestorová koncentrácia výkonov

Priestorová analýza výkonov železničnej dopravy bola realizovaná pomocou Paretovej analýzy a benchmarkingu tratí podľa ukazovateľov HRTKM a VLKM. Výsledky poukazujú na výraznú koncentráciu výkonov na malej časti železničnej siete Slovenskej republiky, pričom dominantné postavenie majú hlavné koridorové trate.

V nákladnej doprave sa rozhodujúca časť výkonov sústreďuje na obmedzený počet tratí, najmä na koridorové úseky zabezpečujúce tranzitnú dopravu. Najvyššie hodnoty výkonov dosahujú trate 105A, 101A, 102A a 106D. Paretova analýza preukázala, že približne 80 % výkonov nákladnej dopravy je realizovaných na malej skupine tratí. Uvedená analýza a interpretácia predmetných ukazovateľov je predmetom výskumnej činnosti autorov a je podporená viacerými internými údajmi ŽSR, ZSSK a. s. a ZSSK Cargo a. s.

Osobná doprava vykazuje rovnomernejšie rozloženie výkonov v rámci siete. Najvyššie hodnoty boli identifikované na tratiach 105A, 125A, 120A a 106A, ktoré zabezpečujú významné regionálne a diaľkové dopravné väzby. V porovnaní s nákladnou dopravou je však potrebný väčší počet tratí na dosiahnutie dominantného podielu výkonov. Na hodnotenie efektívnosti využitia tratí bol použitý ukazovateľ produktivity HRTKM/VLKM. Výsledky ukazujú, že nákladná doprava dosahuje vyššie hodnoty produktivity, zatiaľ čo osobná doprava vykazuje nižšie hodnoty v dôsledku plošného charakteru dopravnej obsluhy [4,7].

Tab. 2. Zoznam tratí podľa najvyššieho zaťaženia v zmysle služobného číslovania ŽSR

Top železničné trate v rámci nákladnej dopravy		Top železničné trate v rámci osobnej dopravy	
105A	Košice - Kraľovany	105A	Košice - Kraľovany
120A	Štúrovo - Bratislava	125A	Púchov - Bratislava
125A	Púchov - Bratislava	120A	Štúrovo - Bratislava
106F	Kraľovany - Púchov	106F	Kraľovany - Púchov
126A	Bratislava – Kúty	126A	Žilina – Čadca – Mosty u Jablunkova
101A	Čierna nad Tisou - Košice	121A	Hronská Dúbrava - Palárikovo
102A	Maňovce – Haniska pri Košiciach	101A	Čierna nad Tisou - Košice
106A	Žilina – Čadca – Mosty u Jablunkova	122C	Nitrianske Pravno - Nové Zámky
115A	Plešivec – Zvolen os. st.	115A	Plešivec – Zvolen os. st.
127C	Rajka – Bratislava východ	118D	Zvolen os. st. – Odb. Dolná Štubňa
109A	Košice - Plešivec	118A	Zvolen vých. – Hronská Dúbrava – Vrútky
124A	Komárno – Bratislava Nové Mesto	107A	Muszyna - Kysak
121A	Hronská Dúbrava - Palárikovo		

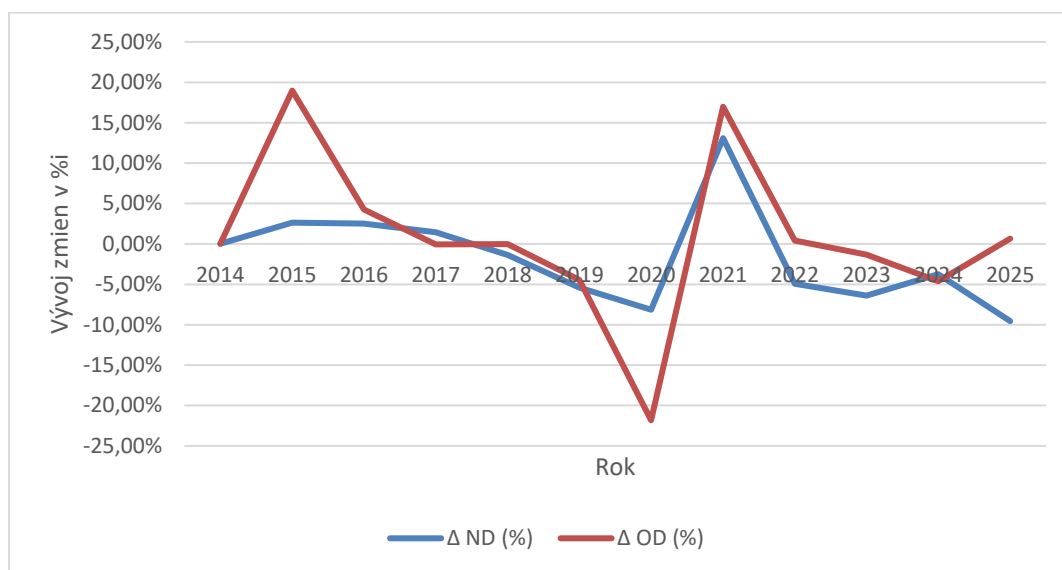
Zdroj: [4]

Tab. 3. Výkony podľa ukazovateľov HRTKM a VLKM v osobnej a nákladnej doprave

OD				ND			
Trat'	HRTKM / 1000	VLKM	Produktivita	Trat'	HRTKM / 1000	VLKM	Produktivita
106B	15 354,22	36 661,38	0,42	101B	420 527,9	113 078,792	3,72
105A	25 158 279,11	60 490 460,97	0,42	102A	12 084 551,63	4 661 338,282	2,59
125A	21 051 589,53	53 080 978,29	0,39	105A	55 352 629,46	35 595 617,67	1,56
106A	10 836 320,7	27 369 841,59	0,39	101A	16 425 150,36	11 244 297,08	1,46
106G	72 713,82297	199 281,21	0,36	106D	9 088 322,76	6 395 909,72	1,42
106C	3 3159,65878	91 987,6	0,36	101D	948 701,15	672 105,97	1,41
120A	14 731 418,7	41 343 229,91	0,36	106A	17 701 850,82	13 054 234,62	1,36
103B	493 713,4317	1 413 002,403	0,35	106B	150 194,94	122 279,97	1,23
129D	0,28	0,814	0,34	106C	477 404,24	391 621,9	1,22
126A	6 999 547,97	20 643 657,29	0,34	106H	1 378,90	1 173,63	1,17

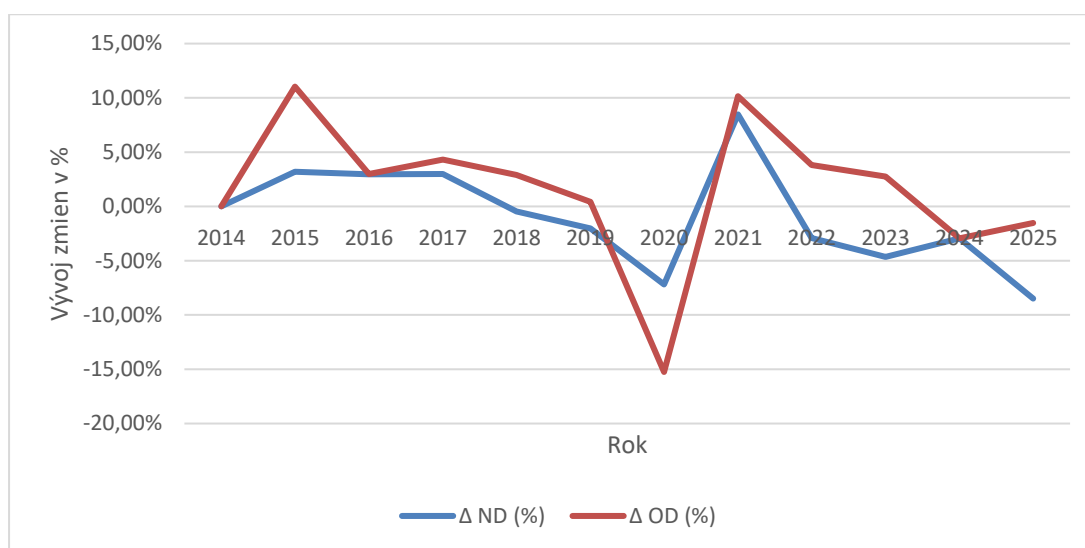
Zdroj: [4]

Medziročné zmeny výkonov podľa ukazovateľa HRTKM aj VLKM poukazujú na odlišnú dynamiku vývoja osobnej a nákladnej dopravy. V období do roku 2019 je vývoj relatívne stabilný, s miernymi výkyvmi, pričom osobná doprava vykazuje vyššie tempo rastu najmä v rokoch 2015 a 2017. HRTKM a VLKM majú podobný trend, čo potvrdzuje konzistentnosť dát, pričom vývoj medziročných zmien je uvedený na obr. 4 a 5 [4].



Zdroj: Vlastné spracovanie

Obr. 4. Vývoj medziročných zmien v produktivite osobnej a nákl. dopravy v HRTKM/1000



Zdroj: Vlastné spracovanie

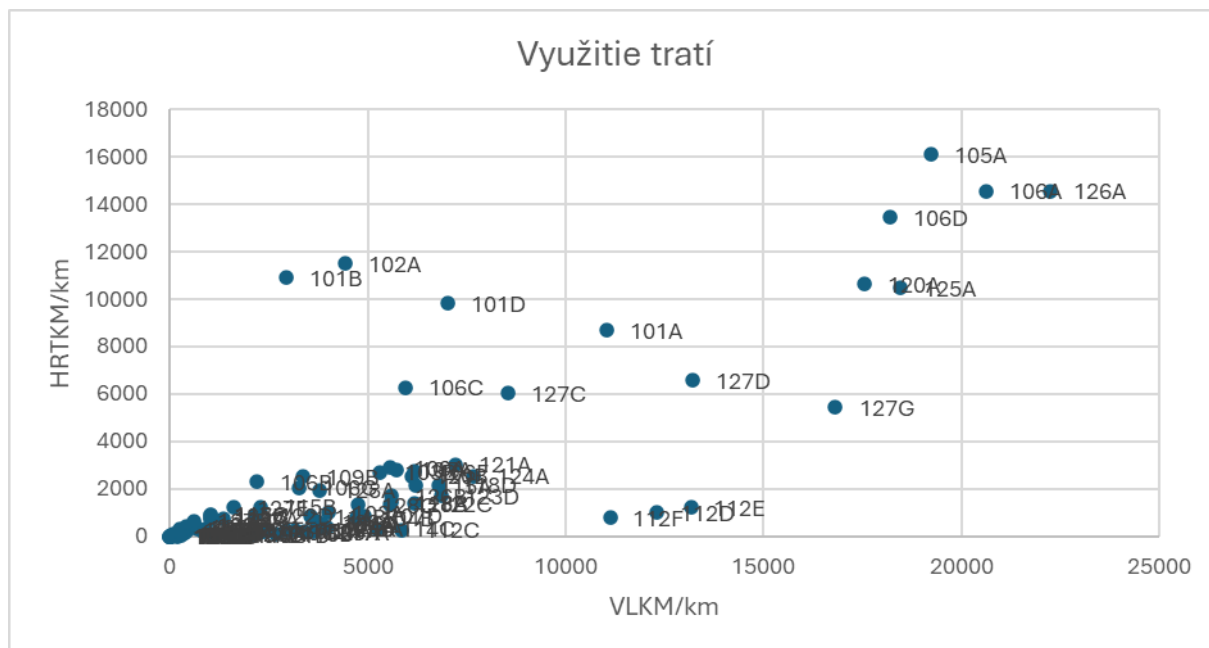
Obr. 5. Vývoj medziročných zmien v produktivite osobnej a nákladnej dopravy v VLKM

Najvýraznejší pokles je zaznamenaný v roku 2020, kedy osobná doprava dosahuje medziročný prepád približne na úrovni -20 % (HRTKM) a -15 % (VLKM), zatiaľ čo nákladná doprava klesá miernejšie (približne -7 % až -8 %). Tento vývoj je priamym dôsledkom pandémie COVID-19. V roku 2021 dochádza k výraznému oživeniu, pričom osobná doprava rastie približne o 15–17 % a nákladná doprava o približne 10–13 %.

V nasledujúcich rokoch po roku 2021 možno pozorovať opätovné spomalenie a mierne poklesy, najmä v nákladnej doprave, ktorá vykazuje vyššiu volatilitu. Osobná doprava je stabilnejšia, avšak

nedosahuje tak výrazné medziročné nárasty ako po pandemickom období. Celkovo možno konštatovať, že nákladná doprava reaguje citlivejšie na ekonomické výkyvy, zatiaľ čo osobná doprava má vyrovnanejší priebeh [8].

Taktiež bola spracovaná bodová analýza využitia exponovaných železničných tratí osobnou a nákladnou dopravou. Využitie tratí je veľmi nerovnomerné. Táto analýza poukazuje na potrebu optimalizácie využitia menej zaťažených tratí a sústredenia investícií na kľúčové koridorové úseky.



Zdroj: vlastné spracovanie

Obr. 6. Bodová analýza využitia

Benchmarking tratí bol realizovaný na základe porovnania ukazovateľov HRTKM a VLKM, pričom ako hlavný indikátor produktivity bol použitý pomer HRTKM/VLKM. Tento ukazovateľ umožňuje hodnotiť intenzitu využitia vlakov a efektívnosť prevádzky na jednotlivých tratiach železničnej siete. Výsledky analýzy poukazujú na výrazné rozdiely medzi osobnou a nákladnou dopravou. Nákladná doprava dosahuje vyššie hodnoty produktivity, čo súvisí s vyšším zaťažením vlakov a koncentráciou výkonov na hlavných koridorových tratiach. Najvyššie hodnoty produktivity boli identifikované najmä na tratiach 101B, 102A, 105A a 101A, ktoré zabezpečujú významnú časť tranzitných a diaľkových nákladných tokov. Osobná doprava vykazuje nižšie hodnoty produktivity, čo je spôsobené vyššou frekvenciou spojov, kratšími prepravnými vzdialenosťami a zabezpečovaním plošnej dopravnej obsluhy územia. Najvyššie hodnoty produktivity boli dosiahnuté na hlavných koridorových tratiach, predovšetkým na tratiach 105A, 125A a 106A [9,10].

Výsledky benchmarkingu zároveň poukazujú na výraznú diferenciaciu využitia železničnej siete. Kým hlavné koridorové trate dosahujú vysokú intenzitu dopravy aj produktivitu, významná časť regionálnych tratí vykazuje nízke hodnoty oboch ukazovateľov. Tento stav potvrdzuje rozdielnú dopravnú funkciu jednotlivých tratí a koncentráciu rozhodujúcej časti výkonov na obmedzenej skupine tratí železničnej siete Slovenskej republiky [10].

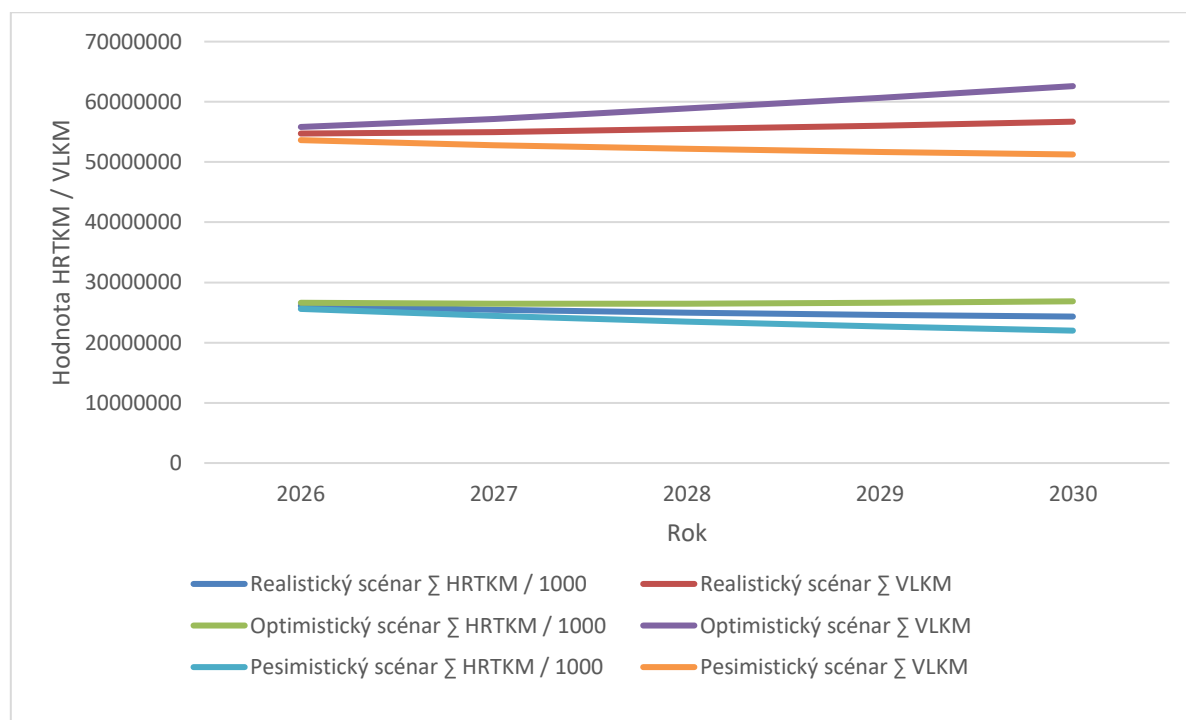
4 Scenárová predikcia vývoja výkonov do roku 2030

Na základe historického vývoja ukazovateľov HRTKM a VLKM v období rokov 2014 až 2025 bola spracovaná scenárová predikcia vývoja výkonov železničnej dopravy do roku 2030. Predikcia vychádza z trendovej analýzy historických dát a bola realizovaná vo forme realistického, optimistického a pesimistického scenára. Predikcia je uvedená na obrázku 7 a v tabuľke 4. Realistický scenár predpokladá stabilizáciu rozsahu dopravy pri miernom poklese objemových výkonov vyjadrených ukazovateľom HRTKM. Vývoj ukazovateľa VLKM naznačuje relatívne stabilný rozsah prevádzky s miernym rastovým trendom, čo súvisí s udržiavaním dopravnej obsluhy a prevádzkového rozsahu siete. Optimistický scenár uvažuje s rastom výkonov osobnej aj nákladnej dopravy v dôsledku vyššieho využívania železničnej dopravy, modernizácie infraštruktúry a rastu dopytu po ekologických formách dopravy. Naopak, pesimistický scenár predpokladá pokračovanie poklesu výkonov v dôsledku nepriaznivého ekonomického vývoja, poklesu prepravných tokov a stagnácie dopravného trhu [9].

Tab. 4. Predikcia výkonov do roku 2030 podľa výkonových ukazovateľov a produktivity

Predikcia do roku 2030						
Rok	Realistický scenár		Optimistický scenár		Pesimistický scenár	
	Σ HRTKM / 1000	Σ VLKM	Σ HRTKM / 1000	Σ VLKM	Σ HRTKM / 1000	Σ VLKM
2026	26120966,26	54730033,28	26643385,59	55824633,94	25598546,94	53635432,61
2027	25436124,21	54947234,64	26463743,63	57167102,92	24428853,69	52771324,15
2028	24953957,47	55483148,56	26481339,3	58879161,12	23486465,14	52220295,56
2029	24591715,53	56034981,42	26618863,76	60654065,97	22682615,4	51684882,7
2030	24329356,79	56701481,95	26861575,78	62603017,73	21991811,57	51253648,74

Zdroj: [9]



Zdroj: [9]

Obr. 7. Predikcia vývoja ukazovateľov HRTKM a VLKM

Výsledky predikcie poukazujú na relatívne stabilný vývoj rozsahu železničnej prevádzky pri súčasnej neistote vývoja objemových výkonov. Zároveň potvrdzujú vyššiu citlivosť nákladnej dopravy na ekonomické faktory v porovnaní s osobnou dopravou. Predikcia predstavuje orientačný scenár budúceho vývoja a môže slúžiť ako podklad pre strategické plánovanie rozvoja železničnej infraštruktúry a dopravnej politiky [11].

5 Diskusia

Výsledky analýzy potvrdili výrazné rozdiely medzi osobnou a nákladnou železničnou dopravou z pohľadu vývoja výkonov, produktivity aj priestorovej koncentrácie dopravy. Nákladná doprava vykazuje vyššiu volatilitu a silnejšiu väzbu na ekonomický vývoj, zatiaľ čo osobná doprava si zachováva stabilnejší charakter v dôsledku zabezpečovania dopravnej obsluhy vo verejnom záujme. Analýza zároveň poukázala na výraznú koncentráciu výkonov na hlavných koridorových tratiach, ktoré tvoria jadro železničnej siete Slovenskej republiky. Významná časť regionálnych tratí vykazuje nízku intenzitu dopravy aj nižšiu produktivitu, čo poukazuje na rozdielnú funkciu jednotlivých tratí v rámci dopravného systému. Celkové výkony železničnej dopravy v období rokov 2014 – 2025 vykazujú relatívne stabilný vývoj s výrazným poklesom v roku 2020 v dôsledku pandémie COVID-19 a následným oživením v roku 2021. Nákladná doprava dosahuje vyššie hodnoty HRTKM, čo poukazuje na väčší objem prepravy, zatiaľ čo osobná doprava vykazuje vyššie hodnoty VLKM, čo odráža jej plošný charakter a vyššiu frekvenciu spojov. V sledovanom období je možné pozorovať mierny pokles objemových výkonov pri súčasnej stabilizácii rozsahu dopravy, čo naznačuje zmenu v efektívnosti využitia vlakov a štruktúre dopravných výkonov.

Výsledky môžu slúžiť ako podklad pre strategické rozhodovanie v oblasti modernizácie infraštruktúry, optimalizácie dopravnej obsluhy a plánovania investícií do železničnej siete. Zároveň poukazujú na potrebu ďalšieho rozvoja analytických a prognostických nástrojov pre hodnotenie budúceho vývoja železničnej dopravy.

6 Záver

Článok sa zaoberal analýzou vývoja výkonov osobnej a nákladnej železničnej dopravy v Slovenskej republike v období rokov 2014 až 2025 na základe ukazovateľov HRTKM a VLKM. Analýza potvrdila rozdielny charakter vývoja osobnej a nákladnej dopravy, pričom nákladná doprava vykazuje vyššiu citlivosť na ekonomické faktory a výraznejšiu koncentráciu výkonov na hlavných tratiach. Výsledky benchmarkingu a Paretovej analýzy poukázali na hierarchickú štruktúru železničnej siete, kde rozhodujúca časť výkonov je realizovaná na obmedzenej skupine koridorových tratí. Scenárová predikcia do roku 2030 zároveň naznačuje relatívne stabilný vývoj rozsahu prevádzky pri neistom vývoji objemových výkonov. Výsledky analýzy môžu byť využité pri strategickom plánovaní rozvoja železničnej infraštruktúry, hodnotení efektívnosti využitia tratí a pri tvorbe dopravnej politiky v podmienkach Slovenskej republiky.

7 Literatúra

- [1] DEDÍK, M. Metodika hodnotenia potenciálu železničnej infraštruktúry pre zabezpečenie dopravnej obsluhy v integrovanom dopravnom systéme: dizertačná práca. Žilinská univerzita v Žiline, 2020, 157 s.
- [2] SMITH, R. A. 2003. Railways: how they may contribute to a sustainable future. In Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit. 217(4), 2003. s. 243-248.
- [3] EUROSTAT. Railway transport statistics. Luxembourg: European Commission, 2025. Dostupné na internete: <https://ec.europa.eu/eurostat>

- [4] Železnice Slovenskej republiky. Výročné správy ŽSR 2014 – 2025. Bratislava: ŽSR, 2015 – 2026.
- [5] Železničná spoločnosť Slovensko, a. s. Výročné správy ZSSK 2014 – 2025. Bratislava: ZSSK, 2015 – 2026.
- [6] Železničná spoločnosť Cargo Slovakia, a. s. Výročné správy ZSSK Cargo 2014 – 2025. Bratislava: ZSSK Cargo, 2015 – 2026.
- [7] GAŠPARÍK, J.; ŠIROKÝ, J.; ZITRICKÝ, V. Railway capacity and infrastructure utilisation in the conditions of Central European railways. In: Transportation Research Procedia. 2023, roč. 72, s. 2150–2157.
- [8] UIC. Railway Statistics – Synopsis 2024. Paris: International Union of Railways (UIC), 2024.
- [9] UIC. Traffic Forecast and Rail Capacity Management Guidelines. Paris: International Union of Railways (UIC), 2022.
- [10] ŠIROKÝ, J.; NACHTIGALL, P.; TISCHER, E.; GAŠPARÍK, J. Simulation of Railway Lines with a Simplified Interlocking System. In: Sustainability. 2021, roč. 13, č. 3, článok 1394
- [11] ZITRICKÝ, V.; GAŠPARÍK, J.; ABRAMOVIČ, B. The methodology of rating quality standards in the regional passenger transport. In: Transport Problems. 2015, roč. 10, č. 4, s. 59–72.

PodĎakovanie

Príspevok vznikol v rámci riešenia grantového projektu VEGA 1/0485/24 " Zvýšenie efektívnosti a udržateľnosti železničnej a vodnej dopravy v kontexte environmentálnych dosahov" na Fakulte prevádzky a ekonomiky dopravy a spojov Žilinskej univerzity v Žiline.

VYUŽITIE SIMULÁCIE NEPRIAZNIVÝCH ENVIRONMENTÁLNYCH PODMIENOK PRI HODNOTENÍ VÝKONNOSTI LODNÝCH POSÁDOK

Autori:

Terézia DEBNÁROVÁ ¹, Martin JURKOVIČ ²

Tituly a pôsobisko autorov:

¹Mgr. Terézia Debnárová, Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta prevádzky a ekonomiky dopravy a spojov, Katedra vodnej dopravy, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, Slovenská republika, E-mail: debnarova4@stud.uniza.sk

²doc. Ing. Martin Jurkovič, PhD., Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta prevádzky a ekonomiky dopravy a spojov, Katedra vodnej dopravy, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, Slovenská republika, E-mail: martin.jurkovic@uniza.sk

Abstrakt: Bezpečnosť plavebnej prevádzky na vnútrozemských vodných cestách je významne ovplyvňovaná environmentálnymi podmienkami, ktoré kladú zvýšené nároky na rozhodovanie a navigačné schopnosti lodných posádok. Moderné lodné simulátory umožňujú vytvárať realistické scenáre zahŕňajúce nepriaznivé meteorologické, hydrologické a prevádzkové situácie bez rizika ohrozenia reálnej plavby. Cieľom článku je analyzovať možnosti využitia simulačných technológií pri hodnotení výkonnosti lodných posádok počas plavby v podmienkach zvýšeného rizika a identifikovať ukazovatele vhodné na objektívne meranie ich výkonu. Osobitná pozornosť je venovaná možnostiam využitia získaných údajov pre tvorbu adaptívnych výcvikových programov založených na individuálnych potrebách posádok. Výsledky analýzy poukazujú na význam simulátorov ako nástroja moderného odborného vzdelávania a hodnotenia kompetencií v súlade s európskymi požiadavkami na odbornú spôsobilosť členov lodných posádok.

Kľúčové slová: simulátor plavby, lodná posádka, environmentálne podmienky, bezpečnosť plavby, adaptívny výcvik, hodnotenie výkonu

JEL: R41, I29

APPLICATION OF ADVERSE ENVIRONMENTAL CONDITION SIMULATION THE PERFORMANCE ASSESSMENT OF INLAND NAVIGATION CREWS

***Abstract:** The safety of inland navigation is significantly influenced by environmental conditions that increase the demands placed on the decision-making and navigational abilities of vessel crews. Modern ship simulators make it possible to create realistic scenarios involving adverse meteorological, hydrological and operational conditions without compromising real-world navigation safety. The aim of this paper is to analyse the possibilities of using simulation technologies for assessing crew performance in high-risk navigation environments and to identify indicators suitable for objective performance measurement. Particular attention is paid to the potential use of collected performance data for adaptive training systems based on individual crew needs. The results indicate that simulation technologies represent an effective tool for competency assessment and modern maritime education in accordance with European standards for inland navigation personnel.*

Keywords: ship simulator, crew performance, environmental conditions, navigation safety, adaptive training, performance assessment

1 Úvod

Vnútrozemská vodná doprava predstavuje významnú súčasť európskeho dopravného systému. V porovnaní s ostatnými druhmi dopravy sa vyznačuje vysokou energetickou efektívnosťou, nízkou produkciou emisií a schopnosťou prepravovať veľké objemy nákladu. Napriek týmto výhodám zostáva bezpečnosť plavby jedným z rozhodujúcich faktorov ovplyvňujúcich jej konkurencieschopnosť.

Analýzy plavebných nehôd dlhodobu potvrdzujú, že významná časť incidentov vzniká v dôsledku ľudského faktora. Chyby pri rozhodovaní, nesprávne vyhodnotenie situácie alebo oneskorené reakcie posádky sa často prejavujú najmä počas plavby v nepriaznivých podmienkach. Medzi najvýznamnejšie faktory patria znížená viditeľnosť, vysoké vodné stavy, silný bočný vietor alebo hustá lodná premávka.

Súčasný vývoj európskej legislatívy zároveň kladie zvýšený dôraz na praktické overovanie odborných kompetencií členov lodných posádok prostredníctvom simulátorov a štandardizovaných skúšok. Delegovaná smernica Komisie (EÚ) 2020/12 stanovuje požiadavky na odborné spôsobilosti, praktické skúšky a schvaľovanie simulátorov používaných pri výcviku a hodnotení lodných posádok.

Cieľom článku je analyzovať možnosti využitia simulácie nepriaznivých environmentálnych podmienok pri hodnotení výkonnosti lodných posádok a identifikovať ukazovatele využiteľné pri tvorbe adaptívnych výcvikových systémov.

2 Environmentálne podmienky ako faktor plavebnej bezpečnosti

Bezpečnosť plavby na vnútrozemských vodných cestách je výsledkom vzájomného pôsobenia technických, prevádzkových, ľudských a environmentálnych faktorov. Zatiaľ čo technické parametre plavidiel a odborná pripravenosť posádok sú vo veľkej miere ovplyvniteľné prostredníctvom legislatívy, výcviku a technických opatrení, environmentálne podmienky predstavujú dynamický faktor, ktorý je často mimo priamej kontroly prevádzkovateľa plavidla.

Vnútrozemská plavba prebieha v otvorenom prostredí, ktoré je neustále vystavené zmenám meteorologických a hydrologických podmienok. Tieto zmeny môžu významným spôsobom ovplyvniť navigačnú situáciu, manévrovacie vlastnosti plavidla, dostupnosť plavebnej dráhy a celkovú bezpečnosť prevádzky. Riziko vzniku nebezpečných situácií sa zvyšuje najmä v prípadoch, keď sa nepriaznivé environmentálne podmienky kombinujú s vysokou intenzitou lodnej dopravy alebo obmedzenými priestorovými podmienkami vodnej cesty.

Význam environmentálnych faktorov rastie aj v dôsledku klimatických zmien, ktoré spôsobujú častejší výskyt extrémnych hydrologických javov, ako sú povodne, obdobia nízkych vodných stavov alebo zvýšená frekvencia intenzívnych meteorologických udalostí. Prevádzkovatelia plavidiel a členovia lodných posádok sú preto nútení reagovať na čoraz variabilnejšie prevádzkové podmienky, ktoré si vyžadujú vysokú úroveň situačného povedomia, rozhodovacích schopností a praktických navigačných zručností.

Z pohľadu výcviku lodných posádok predstavujú environmentálne podmienky významný zdroj rizikových situácií, ktoré je potrebné systematicky nacvičovať. Nie všetky kritické situácie je možné bezpečne

simulovať počas reálnej plavby, a preto sa do popredia dostávajú moderné simulačné technológie umožňujúce vytvárať realistické scenáre s rôznou úrovňou náročnosti. Simulátory poskytujú možnosť opakovaného tréningu identických situácií a zároveň umožňujú objektívne vyhodnocovať reakcie jednotlivých členov posádky.

Z hľadiska hodnotenia bezpečnosti plavby možno environmentálne podmienky rozdeliť do troch základných skupín: meteorologické podmienky, hydrologické podmienky a prevádzkové podmienky. Každá z týchto skupín vplyva na plavebnú prevádzku odlišným spôsobom a vyžaduje špecifické kompetencie lodnej posádky.

2.1 Meteorologické podmienky

Meteorologické podmienky patria medzi najvýznamnejšie externé faktory ovplyvňujúce bezpečnosť vnútrozemskej plavby. Ich charakteristickou vlastnosťou je vysoká premenlivosť a schopnosť meniť sa v priebehu krátkočasového obdobia. Posádka plavidla preto musí byť schopná priebežne vyhodnocovať aktuálnu situáciu a prispôbovať jej navigačné rozhodnutia.

Medzi najvýznamnejšie meteorologické faktory patrí predovšetkým znížená viditeľnosť spôsobená hmlou, dažďom alebo snežením. Obmedzená viditeľnosť znižuje schopnosť vizuálnej identifikácie navigačných znakov, pobrežných orientačných bodov a ostatných účastníkov plavebnej prevádzky. V takýchto situáciách rastie význam radarových systémov, AIS a elektronických navigačných máp.

Ďalším významným faktorom je vietor, ktorý môže spôsobovať bočné unášanie plavidla, komplikovať pristávacie manévry alebo znižovať presnosť vedenia plavidla v plavebnej dráhe. Vplyv vetra je obzvlášť výrazný pri plavidlách s veľkou bočnou plochou alebo počas manipulácie v prístavoch a plavebných komorách.

Nepriaznivé meteorologické podmienky zároveň zvyšujú psychickú záťaž členov posádky. Vyššia miera koncentrácie, potreba častejších rozhodnutí a zvýšené riziko vzniku kolíznych situácií môžu viesť k únave a následným chybám ľudského faktora.

2.2 Hydrologické podmienky

Hydrologické podmienky predstavujú druhú významnú skupinu faktorov ovplyvňujúcich bezpečnosť plavby. Ich význam spočíva predovšetkým v tom, že priamo ovplyvňujú využiteľnosť vodnej cesty, manévrovaciu schopnosť plavidla a možnosti bezpečného vykonávania navigačných operácií.

Vysoké vodné stavy bývajú sprevádzané zvýšenou rýchlosťou prúdenia, čo môže spôsobovať problémy pri ovládaní plavidla, najmä počas pristávania alebo prechodu úzkymi úsekmi vodnej cesty. Súčasne môže dochádzať k zníženiu bezpečných vzdialeností medzi hladinou vody a mostnými konštrukciami, čo predstavuje dodatočné navigačné riziko.

Naopak, nízke vodné stavy patria medzi najčastejšie prevádzkové problémy európskej vnútrozemskej plavby. Obmedzenie hĺbky plavebnej dráhy vedie k znižovaniu ponoru plavidiel, poklesu prepravnej kapacity a zvýšenému riziku nasadnutia na dno. V extrémnych prípadoch môže dôjsť k dočasnému prerušeniu plavebnej prevádzky.

Významným faktorom je aj priečne alebo lokálne prúdenie v blízkosti mostných pilierov, plavebných komôr a riečnych zákrut. Tieto hydrodynamické javy môžu negatívne ovplyvňovať stabilitu plavidla a vyžadujú od posádky zvýšenú pozornosť a skúsenosti pri riadení plavidla.

Práve hydrologické podmienky patria medzi najvhodnejšie parametre na simulovanie v tréningovom procese, pretože umožňujú vytvárať realistické scenáre s vysokou mierou náročnosti bez negatívneho dopadu na bezpečnosť reálnej prevádzky.

2.3 Prevádzkové podmienky

S rastúcou intenzitou plavby rastie aj pravdepodobnosť konfliktov medzi plavidlami. Kritické situácie vznikajú najmä v úzkych úsekoch vodných ciest, pri plavbe v blízkosti plavebných komôr alebo počas stretávania a predbiehania plavidiel.

3 Simulačné technológie vo výcviku lodných posádok

Rozvoj digitálnych technológií a rastúce požiadavky na bezpečnosť plavebnej prevádzky vytvárajú potrebu nových prístupov k odbornému vzdelávaniu lodných posádok. Tradičný model výcviku založený prevažne na teoretickej príprave a získavaní skúseností počas reálnej prevádzky už nie je schopný plne reflektovať komplexnosť súčasného prevádzkového prostredia. Moderná vnútrozemská plavba je charakterizovaná vysokou intenzitou dopravy, rastúcou mierou digitalizácie navigačných systémov a zvyšujúcimi sa nárokmi na bezpečné rozhodovanie v časovo kritických situáciách.

Simulačné technológie predstavujú efektívny nástroj na prekonanie obmedzení tradičných vzdelávacích metód. Ich využitie umožňuje vytvárať realistické modely plavebných situácií, v ktorých môžu členovia posádok rozvíjať svoje odborné zručnosti bez rizika ohrozenia bezpečnosti osôb, plavidla alebo životného prostredia. Simulátory zároveň poskytujú možnosť opakovaného vykonávania identických úloh, čím vytvárajú podmienky na objektívne porovnanie výkonu jednotlivých účastníkov výcviku.

Význam simulácie spočíva aj v schopnosti reprodukovat situácie, s ktorými sa posádky v reálnej prevádzke stretávajú len zriedkavo. Ide najmä o mimoriadne udalosti, kritické meteorologické podmienky, poruchy technických systémov alebo zložité manévrovacie operácie. Práve tieto situácie bývajú často spojené s vysokou mierou rizika a vyžadujú si okamžité a správne rozhodnutia zo strany navigátorov a ostatných členov posádky.

V kontexte súčasných trendov odborného vzdelávania predstavujú simulátory nielen nástroj výučby, ale aj zdroj dát umožňujúci analyzovať priebeh výcviku, identifikovať individuálne nedostatky a navrhovať personalizované tréningové programy. Tento prístup vytvára predpoklady pre postupný prechod od štandardizovaného výcviku k adaptívnym modelom vzdelávania založeným na výkonnostných údajoch.

3.1 Význam simulácie v modernom odbornom vzdelávaní

Simulácia predstavuje jednu z najefektívnejších metód praktického vzdelávania v profesiách, kde nesprávne rozhodnutie môže viesť k závažným bezpečnostným následkom. V leteckej, jadrovej energetike

či železničnej doprave sa simulátory stali štandardnou súčasťou odbornej prípravy a obdobný trend možno pozorovať aj vo vnútrozemskej plavbe.

Hlavným prínosom simulačného výcviku je možnosť prepájať teoretické vedomosti s praktickou aplikáciou. Účastník výcviku nie je pasívnym prijímateľom informácií, ale aktívne rieši konkrétne situácie, analyzuje ich priebeh a prijíma rozhodnutia ovplyvňujúce ďalší vývoj simulovaného scenára. Takýto spôsob vzdelávania podporuje rozvoj kritického myslenia, situačného povedomia a schopnosti pracovať pod časovým tlakom.

Význam simulácie sa výrazne prejavuje aj pri rozvoji tzv. netechnických kompetencií. Popri samotnom ovládaní plavidla je nevyhnutné rozvíjať schopnosti tímovej spolupráce, komunikácie, rozdeľovania úloh a zvládania stresových situácií. Práve tieto faktory bývajú v odborných štúdiách označované ako jedny z hlavných príčin vzniku nehôd spôsobených ľudským faktorom.

Ďalšou významnou výhodou simulácie je možnosť okamžitej spätnej väzby. Inštruktor môže po ukončení scenára analyzovať jednotlivé rozhodnutia účastníka, identifikovať kritické momenty a navrhnúť opatrenia na zlepšenie výkonu. V porovnaní s reálnou plavbou tak vzniká efektívnejší vzdelávací cyklus založený na opakovaní, hodnotení a priebežnom zdokonaľovaní kompetencií.

3.2 Možnosti moderných lodných simulátorov

Technologický pokrok v oblasti modelovania a vizualizácie umožnil vznik simulátorov, ktoré dokážu s vysokou mierou presnosti reprodukovať reálne podmienky plavebnej prevádzky. Súčasný simulačný systém integrujú matematické modely pohybu plavidla, hydrodynamické charakteristiky vodnej cesty, meteorologické javy a navigačné technológie používané v reálnej prevádzke.

Významnou vlastnosťou moderných simulátorov je schopnosť vytvárať komplexné scenáre kombinujúce viaceré rizikové faktory súčasne. Inštruktor môže napríklad simulovať plavbu v hustej hmle počas zvýšeného vodného stavu rieky pri súčasnej prítomnosti intenzívnej lodnej premávky. Takéto situácie predstavujú vysokú záťaž pre rozhodovací proces posádky a umožňujú detailne analyzovať jej reakcie.

Moderné simulátory zároveň umožňujú implementáciu navigačných systémov využívaných v európskej vnútrozemskej plavbe, vrátane AIS, radarových zariadení, Inland ECDIS alebo rádiokomunikačných systémov. Účastníci výcviku tak pracujú s technológiami, ktoré budú používať aj počas reálnej prevádzky, čím sa zvyšuje praktická využiteľnosť získaných skúseností.

Dôležitou súčasťou simulačných systémov je aj automatizovaný zber údajov o priebehu výcviku. Každá zmena kurzu, zásah do riadenia, rýchlosť reakcie alebo odchýlka od plánovanej trajektórie môže byť zaznamenaná a následne vyhodnotená. Vďaka tomu sa simulátor stáva nielen nástrojom výučby, ale aj zdrojom objektívnych dát o výkonnosti jednotlivých členov posádky.

Práve schopnosť systematického zberu a analýzy výkonových údajov predstavuje jeden z hlavných predpokladov budúceho rozvoja adaptívnych výcvikových systémov, ktoré budú schopné automaticky prispôbovať náročnosť a obsah výcviku individuálnym potrebám každého účastníka. Táto koncepcia predstavuje významný krok smerom k personalizovanému odbornému vzdelávaniu v oblasti vnútrozemskej plavby.

Tab. 1. Možnosti simulácie vybraných prevádzkových podmienok

Simulovaný faktor	Možnosť nastavenia
Viditeľnosť	hmla, dážď, noc
Vietor	smer, rýchlosť, nárazy
Vodný prúd	intenzita a smer prúdenia
Premávka	počet a typ plavidiel
Technické poruchy	výpadok pohonu, radarov
Núdzové situácie	kolízia, nasednutie, človek cez palubu

Zdroj: Vlastné spracovanie

3.3 Hodnotenie výkonnosti lodných posádok prostredníctvom simulácie

Jednou z najvýznamnejších výhod simulačných technológií je možnosť objektívneho hodnotenia výkonu jednotlivých členov lodných posádok. Na rozdiel od tradičných foriem výcviku, pri ktorých je hodnotenie často založené na subjektívnom posúdení inštruktora, moderné simulátory umožňujú zaznamenávať a vyhodnocovať široké spektrum prevádzkových a navigačných parametrov v reálnom čase.

Počas simulovaného scenára je možné monitorovať priebeh plavby, reakcie účastníkov výcviku, dodržiavanie navigačných postupov, správnosť rozhodovania a efektivitu komunikácie medzi členmi posádky. Získané údaje poskytujú podrobný obraz o úrovni odborných kompetencií a umožňujú identifikovať oblasti, ktoré si vyžadujú ďalší rozvoj.

Význam hodnotenia prostredníctvom simulácie spočíva aj v možnosti analyzovať priebeh rozhodovacieho procesu. Kým výsledok plavby môže byť úspešný, detailná analýza môže odhaliť nevhodné postupy alebo zvýšené riziko vzniku nehody v prípade zmeny prevádzkových podmienok. Takýto prístup vytvára predpoklady na komplexnejšie posudzovanie pripravenosti lodných posádok na výkon povolania.

Osobitný význam má hodnotenie výkonu v podmienkach zvýšenej záťaže, ako sú situácie s obmedzenou viditeľnosťou, vysokou hustotou premávky alebo nepriaznivými hydrologickými podmienkami. Práve v týchto situáciách sa najvýraznejšie prejavujú rozdiely v úrovni skúseností, schopnosti predvídať vývoj situácie a efektívne využívať dostupné navigačné prostriedky.

Tab. 2. Ukazovatele využiteľné pri hodnotení výkonnosti lodných posádok

Hodnotená oblasť	Ukazovateľ
Navigácia	Odchýlka od plavebnej dráhy
Manévrovanie	Presnosť vykonaného manévru
Rozhodovanie	Reakčný čas na vzniknutú situáciu
Bezpečnosť plavby	Počet kritických udalostí
Riadenie plavidla	Počet korekcií kurzu
Tímová spolupráca	Uroveň komunikácie posádky

Zdroj: Vlastné spracovanie

3.4 Simulačné technológie ako základ adaptívneho výcviku

Tradičné modely odborného vzdelávania vychádzajú z predpokladu, že všetci účastníci výcviku absolvujú rovnaké tréningové scenáre a sú hodnotení podľa jednotných kritérií. Takýto prístup síce zabezpečuje štandardizáciu vzdelávacieho procesu, avšak nedokáže dostatočne reflektovať individuálne rozdiely vo vedomostiach, skúsenostiach a praktických zručnostiach jednotlivých členov lodných posádok.

Rozvoj simulačných technológií vytvára podmienky na implementáciu adaptívnych výcvikových systémov, ktoré dokážu reagovať na individuálne potreby účastníkov výcviku. Základným princípom takéhoto prístupu je systematický zber údajov o výkone počas simulácie, ich následná analýza a automatizované prispôsobovanie ďalších tréningových scenárov.

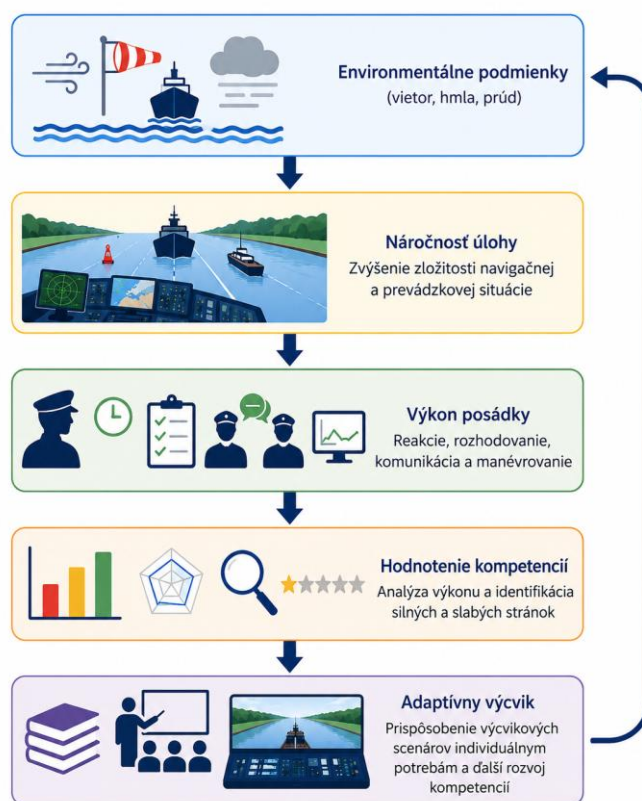
Na základe dosiahnutých výsledkov je možné identifikovať oblasti, v ktorých účastník dosahuje nižšiu úroveň výkonu, a následne mu priradiť scenáre zamerané na rozvoj konkrétnych kompetencií. Výcvik sa tak stáva cieľnejším, efektívnejším a lepšie reflektuje reálne potreby budúcej plavebnej praxe.

Perspektívnym smerom ďalšieho vývoja je prepojenie simulačných systémov s prevádzkovými dátami získavanými z AIS systémov a ďalších digitálnych zdrojov. Takýto prístup umožňuje vytvárať tréningové scenáre založené na reálnych prevádzkových udalostiach a súčasne zvyšovať mieru objektivity hodnotenia odborných kompetencií.



Zdroj: Vlastné spracovanie

Obr. 1. Model adaptívneho výcviku lodných posádok



Zdroj: Vlastné spracovanie

Obr. 2. Vzťah medzi environmentálnymi podmienkami a výkonnosťou posádky

4 Možnosti využitia výkonnostných údajov pre adaptívny výcvik

Rozvoj simulačných technológií prináša nové možnosti nielen v oblasti praktického výcviku, ale aj v oblasti objektívneho hodnotenia odborných kompetencií lodných posádok. Moderné simulačné systémy umožňujú kontinuálne zaznamenávať údaje o priebehu výcviku a vytvárať komplexný obraz o výkonnosti jednotlivých účastníkov. Na rozdiel od tradičných foriem hodnotenia, ktoré sú založené prevažne na subjektívnom posúdení inštruktora, poskytujú digitálne systémy možnosť kvantifikovať jednotlivé aspekty výkonu a analyzovať ich s vysokou mierou presnosti.

Výkonnostné údaje získané počas simulovanej plavby môžu byť využité na identifikáciu silných a slabých stránok jednotlivých členov posádky. Následná analýza týchto údajov umožňuje lepšie pochopiť spôsob rozhodovania účastníkov výcviku, ich reakcie na meniace sa prevádzkové podmienky a schopnosť zvládať situácie so zvýšenou mierou rizika. Takto získané poznatky vytvárajú základ pre tvorbu individualizovaných výcvikových programov zameraných na rozvoj konkrétnych kompetencií.

Význam takéhoto prístupu spočíva v možnosti postupného prechodu od štandardizovaných modelov výcviku k adaptívnym systémom vzdelávania. Adaptívny výcvik vychádza z predpokladu, že jednotliví účastníci dosahujú rozdielnu úroveň vedomostí, skúseností a praktických zručností. Cieľom preto nie je absolvovanie identických scenárov všetkými účastníkmi, ale vytvorenie výcvikového procesu reflektujúceho individuálne potreby každého člena posádky.

V podmienkach vnútrozemskej plavby môže adaptívny výcvik významne prispieť k zvyšovaniu bezpečnosti prevádzky, pretože umožňuje cielene rozvíjať kompetencie súvisiace s navigáciou, manévrou, rozhodovaním v kritických situáciách a efektívnou komunikáciou medzi členmi posádky. Simulačné technológie sa tak stávajú nielen nástrojom výučby, ale aj základom inteligentných systémov podpory odborného vzdelávania.

4.1 Zber a charakteristika výkonnostných údajov počas simulácie

Počas realizácie simulačného výcviku vzniká rozsiahle množstvo údajov opisujúcich priebeh plavby a správanie účastníkov výcviku. Tieto údaje sú generované automaticky prostredníctvom simulačného systému a poskytujú objektívne informácie o kvalite vykonávaných činností. Na rozdiel od tradičných metód hodnotenia umožňuje digitálny záznam analyzovať jednotlivé rozhodnutia a reakcie posádky v presne definovaných časových okamihoch.

Výkonnostné údaje možno rozdeliť do viacerých kategórií. Prvú skupinu tvoria navigačné údaje charakterizujúce pohyb plavidla, ako napríklad trajektória plavby, odchýlka od plánovanej plavebnej dráhy, rýchlosť plavidla alebo počet vykonaných korekcií kurzu. Druhú skupinu predstavujú prevádzkové údaje súvisiace s reakciou posádky na vzniknuté situácie. Ide najmä o reakčné časy, správnosť prijatých rozhodnutí alebo dodržiavanie stanovených prevádzkových postupov.

Osobitnú kategóriu tvoria údaje súvisiace s bezpečnosťou plavby. Patria sem informácie o dodržiavaní bezpečných vzdialeností, výskyte kolíznych situácií, prekročení prevádzkových limitov alebo nesprávnej interpretácii navigačných informácií. Tieto ukazovatele poskytujú cenné informácie o schopnosti účastníkov identifikovať a riešiť potenciálne riziká.

Z pohľadu budúceho rozvoja adaptívnych výcvikových systémov majú význam aj údaje charakterizujúce netechnické kompetencie. Ide najmä o komunikáciu medzi členmi posádky, koordináciu činností, rozdeľovanie úloh a schopnosť efektívne spolupracovať počas riešenia zložitých prevádzkových situácií. Výskumy v oblasti dopravnej bezpečnosti dlhodobo potvrdzujú, že práve netechnické kompetencie patria medzi rozhodujúce faktory ovplyvňujúce vznik ľudských chýb.

Na základe kombinácie uvedených údajov je možné vytvoriť komplexný profil výkonnosti účastníka výcviku, ktorý následne slúži ako podklad pre hodnotenie kompetencií a návrh personalizovaných tréningových scenárov.

Tab. 3. Kategórie výkonnostných údajov získaných počas simulácie

Kategória údajov	Príklady sledovaných ukazovateľov
Navigačné údaje	trajektória, kurz, rýchlosť
Prevádzkové údaje	reakčný čas, správnosť rozhodnutí
Bezpečnostné údaje	kolízne situácie, bezpečné vzdialenosti
Technické údaje	zásahy do riadenia, využitie systémov
Netechnické kompetencie	komunikácia, koordinácia posádky

Zdroj: Vlastné spracovanie

4.2 Analýza výkonnosti lodných posádok v simulovanom prostredí

Efektívne využitie výkonnostných údajov získaných počas simulácie je podmienené ich systematickou analýzou a interpretáciou. Samotný zber údajov neposkytuje dostatočné informácie o úrovni odborných kompetencií účastníkov výcviku. Rozhodujúci význam má schopnosť identifikovať súvislosti medzi priebehom simulovanej plavby, prijatými rozhodnutiami a dosiahnutými výsledkami.

Analýza výkonnosti umožňuje hodnotiť nielen konečný výsledok simulovaného scenára, ale aj samotný proces rozhodovania vedúci k jeho dosiahnutiu. Takýto prístup poskytuje komplexnejší pohľad na úroveň pripravenosti člena posádky a umožňuje odhaliť potenciálne riziká, ktoré by pri klasickom hodnotení mohli zostať nepovšimnuté.

Pri hodnotení výkonnosti možno vychádzať z viacerých skupín ukazovateľov. Kľúčové postavenie majú navigačné parametre charakterizujúce presnosť vedenia plavidla, stabilitu trajektórie a schopnosť udržiavať bezpečnú plavebnú dráhu. Dôležitú úlohu zohrávajú aj prevádzkové ukazovatele hodnotiace reakčný čas, správnosť rozhodnutí a efektivitu riešenia vzniknutých situácií.

Významným aspektom je aj analýza správania účastníkov v podmienkach zvýšenej záťaže. Simulované situácie zahŕňajúce zníženú viditeľnosť, hustú lodnú premávku alebo nepriaznivé hydrologické podmienky umožňujú identifikovať schopnosť posádky pracovať pod tlakom a prijímať správne rozhodnutia v časovo obmedzených podmienkach.

Z pohľadu bezpečnosti plavby predstavuje analýza výkonnosti významný nástroj na identifikáciu rizikových vzorcov správania. Opakujúce sa chyby, neprimerané reakcie alebo problémy s orientáciou v zložitých situáciách môžu indikovať potrebu ďalšieho rozvoja konkrétnych odborných kompetencií.

Výsledkom analytického procesu je vytvorenie profilu výkonnosti účastníka výcviku, ktorý poskytuje podklady pre následnú individualizáciu tréningového procesu.

Tab. 4. Príklady hodnotenia výkonnosti v simulovanom prostredí

Oblasť hodnotenia	Hodnotený parameter	Možný prejav nedostatku
Navigácia	Odchýlka od trajektórie	Neisté vedenie plavidla
Manévrovanie	Počet korekcií kurzu	Nedostatočné ovládanie plavidla
Rozhodovanie	Reakčný čas	Oneskorené reakcie
Bezpečnosť	Počet kritických udalostí	Zvýšené prevádzkové riziko
Komunikácia	Správnosť komunikácie	Slabá koordinácia posádky

Zdroj: Vlastné spracovanie

4.3 Návrh princípu adaptívneho výcviku lodných posádok

Súčasný model odborného vzdelávania v oblasti vnútrozemskej plavby sú vo väčšine prípadov založené na štandardizovaných výcvikových postupoch, v rámci ktorých všetci účastníci absolvujú identické tréningové scenáre bez ohľadu na ich individuálnu úroveň vedomostí, skúseností alebo praktických zručností. Takýto prístup zabezpečuje jednotnosť vzdelávacieho procesu, avšak len v obmedzenej miere reflektuje rozdiely vo výkonnosti jednotlivých členov lodných posádok.

Rozvoj simulačných technológií a možností spracovania výkonnostných údajov vytvára predpoklady pre implementáciu adaptívnych výcvikových systémov, ktoré dokážu prispôbovať obsah a náročnosť výcviku individuálnym potrebám účastníkov. Základným princípom adaptívneho výcviku je využitie údajov získaných počas simulácie na identifikáciu oblastí vyžadujúcich ďalší rozvoj a následné prispôbenie tréningového procesu.

Navrhovaný princíp adaptívneho výcviku vychádza z kontinuálneho cyklu pozostávajúceho zo zberu výkonnostných údajov, ich analýzy, hodnotenia dosiahnutej úrovne kompetencií a následného výberu vhodných výcvikových scenárov. Po absolvovaní ďalšieho tréningu dochádza k opätovnému hodnoteniu výkonu, čím vzniká uzavretý systém priebežného zlepšovania odborných schopností účastníkov výcviku.

V prípade identifikácie nedostatkov v oblasti navigácie môže byť účastníkovi priradený scenár zameraný na plavbu v podmienkach zníženej viditeľnosti alebo zvýšenej hustoty premávky. Ak analýza odhalí problémy pri manévrovaní plavidla, výcvik môže byť orientovaný na pristávacie operácie, prechod úzkymi úsekmi vodnej cesty alebo plavbu v podmienkach zvýšeného prúdenia vody. Obdobným spôsobom je možné rozvíjať aj netechnické kompetencie súvisiace s komunikáciou, koordináciou činností a rozhodovaním v krízových situáciách.

Významnou výhodou adaptívneho prístupu je efektívnejšie využívanie času výcviku. Namiesto opakovania úloh, ktoré účastník zvláda bez problémov, je možné sústrediť pozornosť na oblasti s najväčším potenciálom ďalšieho rozvoja. Takýto prístup môže viesť k rýchlejšiemu získavaniu odborných kompetencií a k zvýšeniu celkovej úrovne pripravenosti lodných posádok na výkon povolania.

Perspektívnym smerom ďalšieho vývoja je prepojenie simulačných systémov s prevádzkovými údajmi získavanými z reálnej plavby. Integrácia dát zo systémov AIS, navigačných zariadení a simulačných

platforiem

by mohla umožniť vytváranie tréningových scenárov vychádzajúcich zo skutočných prevádzkových udalostí, čím by sa ešte viac zvýšila praktická využiteľnosť adaptívneho výcviku v oblasti vnútrozemskej vodnej dopravy.

Tab. 5. Príklady adaptácie výcvikových scenárov na základe výsledkov hodnotenia

Identifikovaná oblasť zlepšenia	Navrhovaný typ výcviku
Pomalé reakcie na vzniknuté situácie	Krízové a núdzové scenáre
Problémy s navigáciou	Plavba v hmle a zníženej viditeľnosti
Chyby pri manévrovaní	Pristavné operácie a pristávanie
Nedostatočné situačné povedomie	Scenáre s hustou lodnou premávkou
Slabá komunikácia posádky	Tímové a kooperatívne scenáre
Neistota pri plavbe v prúde	Hydrologicky náročné scenáre

Zdroj: Vlastné spracovanie

4.4



Zdroj: vlastné spracovanie

Obr. 3. Princíp fungovania adaptívneho výcvikového systému

5 Diskusia

Výsledky prezentovanej analýzy poukazujú na rastúci význam simulačných technológií v procese odborného vzdelávania lodných posádok. Zatiaľ čo tradičné formy výcviku sú založené predovšetkým na teoretickej príprave a získavaní skúseností počas reálnej prevádzky, moderné simulačné systémy umožňujú systematický rozvoj odborných kompetencií v bezpečnom a kontrolovanom prostredí.

Významnou výhodou simulátorov je možnosť opakovaného nacvičovania situácií, ktoré sa v reálnej prevádzke vyskytujú len sporadicky alebo sú spojené s vysokou mierou rizika. Ide najmä o plavbu v podmienkach zníženej viditeľnosti, intenzívnej lodnej premávky, nepriaznivých hydrologických podmienok alebo riešenie mimoriadnych udalostí. Takéto situácie predstavujú dôležitú súčasť odbornej prípravy, pričom realizácia ich v reálnych podmienkach býva často technicky, organizačne alebo bezpečnostne náročná.

Na rozdiel od konvenčných výcvikových metód poskytujú simulačné technológie možnosť zaznamenávať a analyzovať priebeh výcviku prostredníctvom objektívnych výkonnostných ukazovateľov. Tým sa vytvárajú predpoklady pre prechod od subjektívneho hodnotenia k dátovo orientovanému prístupu založenému na merateľných parametroch výkonu. Takýto prístup umožňuje presnejšie identifikovať nedostatky jednotlivých účastníkov a následne efektívnejšie plánovať ich ďalší odborný rozvoj.

Perspektívnym smerom ďalšieho vývoja je implementácia adaptívnych výcvikových systémov, ktoré budú schopné automaticky prispôbovať tréningové scenáre individuálnym potrebám účastníkov výcviku. V porovnaní so štandardizovanými modelmi vzdelávania môže adaptívny prístup priniesť vyššiu efektivitu výcviku, lepšie využitie tréningového času a presnejšie zacielenie na rozvoj konkrétnych kompetencií.

Význam adaptívneho výcviku bude pravdepodobne narastať aj v súvislosti s pokračujúcou digitalizáciou vnútrozemskej plavby. Rozvoj systémov RIS, AIS, Inland ECDIS a ďalších digitálnych nástrojov vedie k zvyšovaniu nárokov na odbornú pripravenosť lodných posádok. Súčasne rastie objem prevádzkových dát, ktoré môžu byť využité pri hodnotení výkonu a tvorbe personalizovaných výcvikových programov.

Z pohľadu budúceho výskumu sa ako perspektívne javí prepojenie údajov získaných zo simulátorov s dátami z reálnej prevádzky. Integrácia simulačnej analytiky a prevádzkových údajov by mohla umožniť vytváranie realistickejších výcvikových scenárov a zároveň zvýšiť objektivitu hodnotenia odborných kompetencií lodných posádok. Takýto prístup predstavuje jeden z možných smerov ďalšieho rozvoja inteligentných výcvikových systémov v oblasti vnútrozemskej vodnej dopravy.

6 Záver

Environmentálne podmienky predstavujú jeden z najvýznamnejších faktorov ovplyvňujúcich bezpečnosť plavebnej prevádzky na vnútrozemských vodných cestách. Meteorologické javy, hydrologické pomery a prevádzkové podmienky môžu významne ovplyvňovať rozhodovanie lodných posádok, ich schopnosť správne vyhodnocovať vzniknuté situácie a bezpečne vykonávať navigačné operácie. Rastúca komplexnosť plavebného prostredia zároveň zvyšuje nároky na odbornú pripravenosť členov posádok a ich schopnosť reagovať na neštandardné situácie.

Významným nástrojom rozvoja odborných kompetencií sa stávajú moderné simulačné technológie, ktoré umožňujú realistickú reprodukciu rôznych prevádzkových a environmentálnych podmienok bez negatívneho vplyvu na bezpečnosť reálnej plavby. Simulátory poskytujú vhodné prostredie na nácvik kritických situácií, objektívne hodnotenie výkonu účastníkov výcviku a systematický rozvoj odborných i netechnických kompetencií.

Analýza možností využitia výkonnostných údajov získaných počas simulácie poukázala na potenciál dátovo orientovaného prístupu k hodnoteniu lodných posádok. Automatizovaný zber a spracovanie údajov umožňujú identifikovať individuálne silné a slabé stránky účastníkov výcviku a vytvárať komplexný obraz o ich pripravenosti na výkon povolania. Takto získané informácie predstavujú významný predpoklad pre zavádzanie personalizovaných foriem odborného vzdelávania.

Predložený princíp adaptívneho výcviku vychádza z prepojenia simulačných technológií, výkonnostnej analytiky a individualizácie tréningového procesu. Adaptívny prístup umožňuje prispôbovať obsah a náročnosť výcvikových scenárov aktuálnej úrovni kompetencií jednotlivých členov posádok, čím sa zvyšuje efektívnosť vzdelávania a zároveň podporuje rozvoj oblastí vyžadujúcich ďalšie zdokonaľovanie.

Ďalší výskum v tejto oblasti by mal byť zameraný na integráciu údajov získaných zo simulátorov s dátami pochádzajúcimi z reálnej prevádzky vnútrozemskej plavby. Prepojenie simulačnej analytiky s prevádzkovými údajmi zo systémov AIS a ďalších navigačných technológií môže vytvoriť základ pre vznik inteligentných adaptívnych výcvikových systémov, ktoré budú schopné ešte presnejšie reflektovať požiadavky modernej vnútrozemskej vodnej dopravy a prispievať k zvyšovaniu bezpečnosti plavby.

Príspevok predstavuje teoretické východisko pre ďalší výskum zameraný na návrh adaptívneho výcvikového systému lodných posádok založeného na analýze výkonu v simulovanom a reálnom prevádzkovom prostredí.

7 Literatúra

- [1] EURÓPSKY PARLAMENT A RADA. *Smernica Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2017/2397 z 12. decembra 2017 o uznávaní odborných kvalifikácií v oblasti vnútrozemskej plavby a o zrušení smerníc Rady 91/672/EHS a 96/50/ES*. Úradný vestník Európskej únie, 2017.
- [2] EURÓPSKA KOMISIA. *Delegovaná smernica Komisie (EÚ) 2020/12 z 2. augusta 2019, ktorou sa dopĺňa smernica Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2017/2397, pokiaľ ide o normy kompetencií a zodpovedajúce vedomosti a zručnosti, normy pre praktické skúšky, schvaľovanie simulátorov a zdravotnú spôsobilosť*. Úradný vestník Európskej únie, 2020.
- [3] CESNI. *European Standard for Qualifications in Inland Navigation (ES-QIN)*. Strasbourg: European Committee for drawing up Standards in the field of Inland Navigation, 2019.
- [4] CESNI. *European Standard for Service Record Books and Logbooks (ES-RSO)*. Strasbourg: European Committee for drawing up Standards in the field of Inland Navigation, 2023.
- [5] PIETRZYKOWSKI, Z. Decision support systems in marine navigation. *Journal of Navigation*. 2021, roč. 74, č. 5, s. 1087–1104. ISSN 0373-4633.

- [6] BALMAT, J., LAFONT, F., MAIFRET, R. a PESSAUX, P. Maritime risk assessment using Bayesian networks. *Safety Science*. 2009, roč. 47, č. 2, s. 171–179. ISSN 0925-7535.
- [7] GRECH, M. R., HORBERRY, T. a KOESTER, T. *Human Factors in the Maritime Domain*. Boca Raton: CRC Press, 2008. ISBN 978-1420063437.
- [8] ENKVIST, T., KAMMEL, M. a SCHRÖDER-HINRICHS, J. Simulator-based training in inland waterway transport: Challenges and future perspectives. *WMU Journal of Maritime Affairs*. 2020, roč. 19, č. 3, s. 371–389.
- [9] INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION. *Revised guidelines for maritime simulator systems*. London: IMO, 2015.
- [10] SCHRÖDER-HINRICHS, J., BALMÈS, O., KATSCHAK, C. a kol. Maritime human factors and the role of simulation-based training. *TransNav – International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. 2016, roč. 10, č. 4, s. 623–630.
- [11] MOLNÁROVÁ BARACKOVÁ, A. – JURKOVIČ, M. Konceptuálne hodnotenie rizika plavebnej bezpečnosti na vnútrozemských vodných cestách s využitím AIS dát. *Svet dopravy*. 2025.

PodĎakovanie

Príspevok vznikol s podporou projektu VEGA č. 1/0312/25: Výskum ekonomickej efektívnosti vnútrozemskej vodnej dopravy, 2025–2027. Autori ďakujú Katedre vodnej dopravy, Fakulty PEDAS, Žilinskej univerzity v Žiline za odbornú a metodickú podporu pri realizácii výskumu. Zvláštne poďakovanie patrí spoločnosti TMLG Group, ktorá poskytla prístup k certifikovanému lodnému simulátoru, umožnila zber výkonnostných dát a spolupracovala na vývoji tréningových scenárov a analytických modelov. Autori taktiež vyjadrujú vďaku EDINNA, CESNI a STC Group Rotterdam za ich odborné konzultácie a sprístupnenie materiálov, ktoré významne prispeli k metodickému spracovaniu výskumu.

JEDNOTLIVÉ VOZŇOVÉ ZÁSIELKY NA SLOVENSKU: MEDZI VEREJNOU PODPOROU A INTERMODÁLNOU TRANSFORMÁCIOU

Autori:

Miroslav BUC¹, Milan DEDÍK², Jozef GAŠPARÍK³

Tituly a pôsobisko autorov:

¹Ing. Miroslav Buc, Žilinská univerzita v Žiline, Univerzitná 8215/1, 010 26, E-mail: buc2@stud.uniza.sk

²Ing. Milan Dedík, PhD., Žilinská univerzita v Žiline, Univerzitná 8215/1, 010 26, E-mail: milan.dedik@uniza.sk

³prof. Ing. Jozef Gašparík, PhD., Žilinská univerzita v Žiline, Univerzitná 8215/1, 010 26, E-mail: jozef.gasparik@uniza.sk

Abstrakt: *Jednotlivé vozňové zásielky predstavujú najnáročnejší, ale zároveň systémovo dôležitý segment železničnej nákladnej dopravy. Umožňujú využiť železniciu aj tým zákazníkom, ktorí nedisponujú objemom potrebným na ucelený vlak. Ich prevádzka však vyžaduje zvoz a rozvoz vozňov, posun, vlakotvorbu, zriaďovanie, technické kontroly a vysokú mieru koordinácie. Na Slovensku sa jadro jednotlivých vozňových zásielok v posledných rokoch znižuje a ich ďalšia existencia si vyžaduje strategické rozhodnutie štátu. Článok navrhuje hybridný model: zachovať jadrovú sieť jednotlivých vozňových zásielok ako verejne prospešnú službu tam, kde má vysoký priemyselný, regionálny alebo environmentálny význam, a súčasne časť rozptýlených tokov riadiene transformovať do technologicky jednotnej intermodálnej prepravy.*

Kľúčové slová: jednotlivé vozňové zásielky, železničná nákladná doprava, vlakotvorba, intermodálna doprava, verejná podpora, modal shift

SINGLE WAGONLOAD TRANSPORT IN SLOVAKIA: BETWEEN PUBLIC SUPPORT AND INTERMODAL TRANSFORMATION

Abstract: *Single wagonload transport represents the most demanding, yet systemically important, segment of rail freight transport. It enables the use of rail transport also by customers who do not generate volumes sufficient for a block train. However, its operation requires wagon collection and distribution, shunting, train formation, marshalling, technical inspections and a high level of coordination. In Slovakia, the core network of single wagonload transport has been shrinking in recent years, and its continued existence requires a strategic decision by the state. The paper proposes a hybrid model: to preserve the core network of single wagonload transport as a public-interest service where it has significant industrial, regional or environmental importance, while at the same time managing the transformation of part of the dispersed freight flows into technologically standardised intermodal transport.*

Keywords: single wagonload transport, rail freight transport, train formation, intermodal transport, public support, modal shift

1 Úvod

Železničná nákladná doprava sa v odbornej aj verejnej diskusii najčastejšie spája s veľkými tokmi: ucelenými vlakmi, kontajnerovými vlakmi, prepravou surovín, hutníckych výrobkov alebo automobilov. Menej

pozornosti sa venuje segmentu, ktorý je síce menej viditeľný, ale pre priemyselnú a regionálnu obsluhu veľmi dôležitý – jednotlivým vozňovým zásielkam.

Jednotlivé vozňové zásielky (ďalej len JVZ), v európskej terminológii Single Wagonload Traffic (SWL), umožňujú prepraviť po železnici jeden vozeň alebo menšiu skupinu vozňov [1]. Tento systém je dôležitý najmä pre podniky, ktoré nemajú pravidelné objemy na zostavenie uceleného vlaku, ale majú vlečku, nákladisko alebo železničnú logistiku historicky aj technologicky začlenenú do svojho výrobného procesu. [4, 5]

Práve v tom spočíva význam JVZ: zabezpečujú „kapilárnu“ funkciu železničnej nákladnej dopravy. Bez nich zostáva železnica dostupná predovšetkým pre veľké a koncentrované tovarové toky. Menšie a rozptýlené zásielky potom prirodzene prechádzajú na cestnú dopravu.

Na druhej strane ide o technologicky a ekonomicky mimoriadne náročný produkt. Dopravca Železničná spoločnosť Cargo Slovakia, a. s. (ďalej ZSSK CARGO) vo svojich obchodných zámeroch označilo JVZ za technologicky aj ekonomicky najnáročnejší systém prepravy [2, 3], ktorý viaže vysoké technické a personálne kapacity, má výrazne dlhší obeh vozňov v porovnaní s uceleným vlakom a je zabezpečovaný jediným celosieťovým dopravcom na Slovensku.

Slovensko preto stojí pred rozhodnutím: buď bude jadro JVZ definované a podporené ako verejne prospešná služba nákladnej železničnej dopravy, alebo sa časť týchto rozptýlených tokov musí cielene transformovať do intermodálnej prepravy. Najhorším scenárom by bol pasívny útlm – bez podpory, bez náhrady a bez jasného dopravnopolitického rozhodnutia.

2 Náročnosť jednotlivých vozňových zásielok

Pri ucelenom vlaku je technologický reťazec relatívne jednoduchý. Vlak sa zostaví v mieste nakládky alebo v jeho blízkosti a pokračuje do cieľa bez zásadnej zmeny skladby súpravy. Pri jednotlivých vozňových zásielkach je situácia odlišná.

Typický reťazec JVZ možno zjednodušene opísať takto: zákazník (odosielateľ) – vlečka alebo nákladisko – miestny zvoz – vlakovtorná (zriaďovacia) stanica – relačný diaľkový vlak – nácestné rozradenie – rozradenie v poslednej vlakovtornej (zriaďovacej) stanici - miestny rozvoz – zákazník (príjemca).

Každý článok tohto reťazca predstavuje čas, náklady a riziko oneskorenia [1, 4]. Vozeň sa musí pristaviť, prevziať, zaradiť do vlaku miestnej obsluhy, spracovať vo vlakovtornej stanici, zaradiť do požadovanej relácie, prípadne opätovne rozradiť a následne dopraviť príjemcovi. To si vyžaduje posun, koľajové kapacity, personál, technické a prepravné kontroly, dokumentáciu a koordináciu viacerých prevádzkových zložiek. [4]

Európska komisia vo svojej štúdii [1] definuje JVZ (v anglickom jazyku sa zaužívala skratka SWL) ako všetky toky tovaru, ktoré sú menšie než celý vlak, teda prepravy, ktoré nejdú ako ucelený vlak v rovnakom zložení od východiskovej stanice po cieľovú stanicu. V analyzovaných krajinách tvorili podľa štúdie približne 75 mld. tonokilometrov a približne 27 % železničnej nákladnej dopravy [1].

Tá istá štúdia zároveň upozorňuje, že hlavný beh medzi zriaďovacími stanicami tvorí len časť nákladov JVZ. Významná časť nákladov vzniká pri zriaďovaní, posune, relačných vlakoch a obsluhu prvej a poslednej míle. Práve zriaďovanie, posun a rozvoz zásielok sú kľúčové dôvody, prečo je tento systém nákladnejšie ako ucelené vlaky alebo pravidelná intermodálna doprava.

Významnú nákladovú položku v rámci prepráv jednotlivých vozňových zásielok (JVZ) predstavujú náklady súvisiace s používaním železničných vozňov. V prípade prenajímaných vozňov sú cenové podmienky spravidla stanovené formou fixnej dennej sadzby nájomného, a to bez ohľadu na charakter ich prevádzkového nasadenia. Z ekonomického hľadiska tak nie je diferencované využitie vozňa v prepravách

ucelených vlakov, ktoré sa vyznačujú rýchlym obehom a vysokou mierou využitia vozňového parku, oproti prepravám JVZ, pri ktorých dochádza k výrazne predĺženému obehovému vozňovému.

Predĺžený obeh vozňov v segmente JVZ je determinovaný najmä spôsobom organizácie vlakotvorby, technologickou náročnosťou pristavenia vozňa na nakládku, ako aj procesmi odsunu ložených vozňov a ich následnej prepravy v rámci siete. Uvedené faktory negatívne vplyvajú na efektívnosť využitia vozňového parku a zvyšujú jednotkové náklady dopravcu.

Prenajímatelia vozňov pri prenajatých vozňoch, obdobne ako systém odpisovania pri vozňoch vo vlastníctve dopravcu, nezohľadňujú rozdielnu intenzitu a režim prevádzkového využitia vozňov. Náklady na vozne sú preto kalkulované nezávisle od skutočnej produktivity ich nasadenia. Významná časť týchto nákladov však nie je zo strany zákazníkov akceptovaná v plnom rozsahu, v dôsledku čoho zostáva časť ekonomického zaťaženia na strane železničného dopravcu.

3 Slovenský kontext: rast podielu cesty a pokles jadra JVZ

Slovenský trh nákladnej dopravy je výrazne orientovaný na cestnú dopravu. Podľa údajov ZSSK CARGO za obdobie 2019 – 2025 klesal celkový objem trhu nákladnej dopravy a zároveň rástol podiel cestnej dopravy [3] (pozri tabuľka 1). V roku 2025 za obdobie I. – VII. dosiahla cestná doprava podiel 74,2 %, železničná doprava 19,2 % a ostatné druhy dopravy 6,6 % podľa objemu prepravy tovaru [3].

Tab. 1. Vývoj trhu nákladnej dopravy v SR podľa módov

Rok	Celkový objem trhu (mil. t)	Cestná doprava (%)	Železničná doprava (%)	Ostatné druhy (%)
2019	284	64	13	23
2020	254	65	13	22
2021	235	63	17	20
2022	226	67	16	16
2023	220	71	17	12
2024	212	71	18	11
2025 I.–VII.	125	74	19	7

Zdroj:[1]

Tento vývoj je pre JVZ zásadný. Ak železnica stráca dostupnosť pre menších a stredných zákazníkov, časť týchto tokov pravdepodobne neprejde na iný železničný produkt, ale na cestnú dopravu. To znamená vyššie zaťaženie ciest, väčšie nároky na cestnú infraštruktúru, vyššie environmentálne externality a zníženie významu železnice v regionálnej logistike.

Pri hodnotení JVZ treba rozlišovať dve metodiky. V širšom prevádzkovom chápaní dopravca ZSSK CARGO uvádzal v rokoch 2017 – 2021 objem JVZ približne 6,1 až 7,2 mil. ton ročne; podiel JVZ na celkových prepravách ZSSK CARGO sa pohyboval na úrovni 20 – 23 %. Pre diskusiu o verejnej podpore [6] je však dôležitejšie užšie vymedzenie jadra JVZ. Podľa obchodných zámerov ZSSK CARGO na rok 2026 klesol objem špecifikovaných JVZ pre podporu z 3,8 mil. ton v roku 2021 na očakávaných 2,5 mil. ton v roku 2025 (pozri tabuľka 2). Ten istý zdroj uvádza, že 2,5 mil. ton tovaru predstavuje približne 200 tisíc jazd cestných návesových súprav po slovenských cestách.

Tab. 2. Vývoj JVZ určených pre podporu štátom

Rok	Objem JVZ žiadaných pre podporu (mil. t)	Index k roku 2021 (%)
2020	3,2	84,2
2021	3,8	100,0
2022	3,5	92,1
2023	2,9	76,3
2024	2,7	71,1
2025 FC	2,5	65,8

Zdroj:[3]

Pokles na úroveň približne dvoch tretín objemu roku 2021 ukazuje, že nejde iba o prirodzené kolísanie trhu. Ide o signál, že bez zmeny prístupu bude jadro JVZ ďalej slabnúť. Uvedené údaje poukazujú na to, že atraktivita JVZ klesá, nakoľko prestávajú byť efektívne z hľadiska prevádzky a najmä ekonomiky. Trendy naznačujú, že nákladná železničná doprava sa bude uberať najmä cestou ucelených nákladných vlakov. Výrazné prepady a poklesy výkonov, ako aj ďalších ekonomických ukazovateľov boli zaznamenané najmä počas obdobia koronakrízy v rokoch 2020 – 2022. Následná energetická kríza a vojna na Ukrajine taktiež deformovali trh a výrazne ovplyvnili toky tovarov i ďalšie logistické toky. Všetky uvedené faktory mali výrazný vplyv na nákladnú železničnú dopravu aj na sieti ŽSR.

4 Európske poučenie: samotný trh SWL neudrží

Problém JVZ nie je slovenskou výnimkou. Európska štúdia o JVZ identifikovala viacero dôvodov útlmu: nízku alebo nulovú ziskovosť, vysoké náklady na posun a last-mile, konkurenciu cestnej dopravy, nižšiu kvalitu služby, nedostatočné sledovanie zásielok v medzinárodnej doprave a obmedzený efekt liberalizácie. Noví dopravcovia sa po otvorení trhu prirodzene sústredili najmä na ucelené vlaky a intermodálne prepravy, teda na segmenty s jednoduchšou prevádzkovou logikou.

Krajiny, ktoré chcú JVZ zachovať, používajú rôzne formy verejnej podpory alebo štrukturálnej reformy. Rakúsko podporuje vybrané formy železničnej nákladnej dopravy výkonovo [8]. Švajčiarsko pristupuje k JVZ ako k základnej sieti, ktorú treba objednať a financovať [9, 10, 11]. Nemecko kombinuje podporu s reštrukturalizáciou siete [12]. Opačným príkladom sú krajiny, kde boli JVZ ponechané postupnému útlmu [13]; po zániku vlečiek, zriaďovacích kapacít, zákazníckych vzťahov a odborného personálu je obnova produktu JVZ mimoriadne náročná.

Z európskeho vývoja vyplývajú pre Slovensko dve základné poučenia. Po prvé, ak má byť jadro JVZ zachované, nemožno očakávať jeho plnú trhovú sebastačnosť. Po druhé, verejná podpora nesmie len kompenzovať stratu. Musí byť spojená s reformou produkčného modelu, digitalizáciou, stabilnými reláciami, podporou first/last-mile a priebežným vyhodnocovaním spoločenských prínosov.

5 Dve možnosti: verejná služba alebo intermodálna transformácia

Slovensko má pri JVZ základnú sieť JVZ, Slovensko má pri JVZ v zásade dve strategické možnosti.

Prvou je definovať jadro JVZ ako verejne prospešnú službu nákladnej železničnej dopravy [9, 14]. To neznamená zachovať všetky historické vozňové relácie bez ohľadu na náklady. Znamená to určiť tie relácie, komodity, vlečky a regióny, kde má železničná vozňová obsluha spoločenský, environmentálny alebo priemyselný význam.

Takýto model by mal zahŕňať [8, 9, 14]:

- základnú sieť JVZ,
- transparentnú výkonovú podporu,
- osobitné riešenie first/last-mile obsluhy,
- ochranu strategických vlečiek,
- stabilné časové okná a pravidelné relácie,
- digitalizáciu podaja a sledovania vozňov,
- merateľné ukazovatele kvality a spoločenského prínosu.

Druhou možnosťou je riadená intermodálna transformácia časti rozptýlených tokov. Nie všetky zásielky musia byť aj v budúcnosti prepravované ako jednotlivé vozne. Pri nízkofrekvenčných, nepravidelných alebo štandardizovateľných tokoch môže byť vhodnejšie využiť kontajner, výmennú nadstavbu alebo inú intermodálnu jednotku [6]. Železničná časť prepravy by sa tým zachovala, ale technológia by bola jednoduchšia a viac kompatibilná s pravidelnými vlakovými linkami.

Intermodálna preprava však nie je univerzálna náhrada JVZ. Pre hutníctvo, chémiu, drevo, energetiku, nebezpečné veci alebo aktívne priemyselné vlečky môže byť klasická vozňová technológia stále najvhodnejšia. Naopak, pri štandardizovateľnom tovare a dobre dostupnom termináli môže byť intermodálna preprava účelnejšia.

6 Hybridný model ako realistická cesta

Najvhodnejším riešením pre Slovensko je hybridný model. Ten spája zachovanie základnej siete JVZ so selektívnou intermodálnou transformáciou.

V systéme JVZ by mali zostať najmä strategické priemyselné, regionálne a bezpečnostne citlivé toky [1, 14]. Ide najmä o komodity a relácie, pri ktorých je potrebné priame pristavenie vozňa, existuje aktívna vlečka, ide o nebezpečné alebo špecifické tovary, prípadne by prechod na cestu spôsobil významné externality.

Do intermodálnej transformácie by mali smerovať najmä zásielky, ktoré sú štandardizovateľné, majú nižší alebo rozptýlený objem a nachádzajú sa v dostupnosti terminálu alebo mikroprekladiska. Rozhodovacia matica medzi JVZ a intermodálnymi prepravami je spracovaná v tabuľke 3.

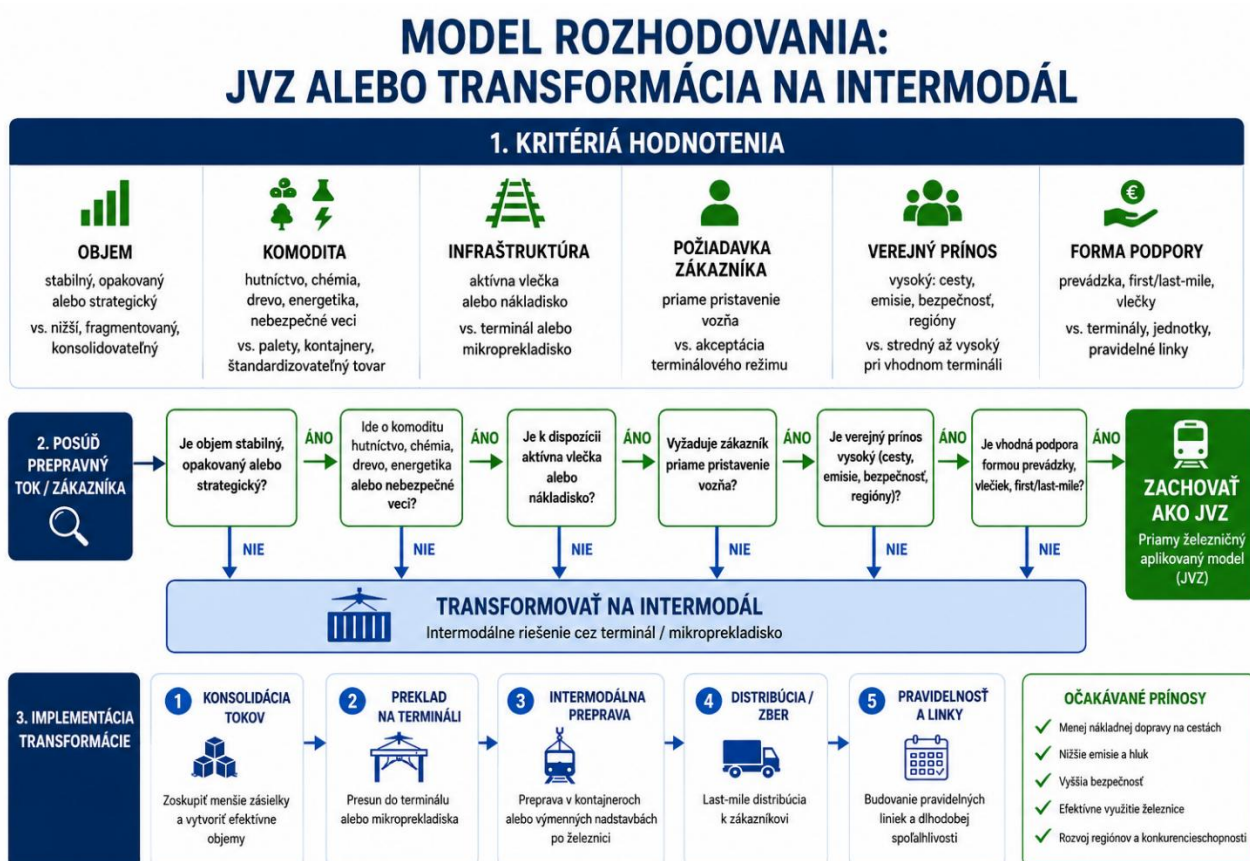
Tab. 3. Rozhodovacia matica JVZ verzus intermodálna transformácia

Kritérium	Zachovať ako JVZ	Transformovať na intermodál
Objem	stabilný, opakovaný alebo strategický	nižší, fragmentovaný, konsolidovateľný
Komodita	hutníctvo, chémiu, drevo, energetika, nebezpečné veci	palety, kontajnery, štandardizovateľný tovar
Infraštruktúra	aktívna vlečka alebo nákladisko	terminál alebo mikroprekladisko
Požiadavka zákazníka	priame pristavenie vozňa	akceptácia terminálového režimu
Verejný prínos	vysoký: cesty, emisie, bezpečnosť, regióny	stredný až vysoký pri vhodnom termináli
Forma podpory	prevádzka, first/last-mile, vlečky	terminály, jednotky, pravidelné linky

Zdroj: Vlastné spracovanie podľa [1, 3, 6, 14]

Hybridný model nie je kompromisom zo slabosti. Je to praktický spôsob, ako zachovať železničnú obsluhu tam, kde je naozaj potrebná, a zároveň nemrhať verejnými zdrojmi na relácie, ktoré možno technologicky efektívnejšie riešiť inak.

V prípade detailnejšieho konceptu uvedených návrhov je možné hybridný model vyjadriť aj graficky na obr. 1.



Obr. 1. Schematické zobrazenie modelu rozhodovania

7 Odporúčania pre slovenskú prax

Prvým krokom by malo byť presné vymedzenie základnej siete JVZ [9, 14]. Štát by mal spolu so správcom infraštruktúry, dopravcom, priemyslom a regiónmi určiť, ktoré relácie, vlečky a obslužné body majú strategický význam. Táto sieť by nemala byť výsledkom zotrvačnosti, ale dátovej analýzy.

Druhým krokom je zavedenie transparentnej výkonovej podpory. Podpora by mala byť viazaná na výkony, kvalitu, počet obslužených strategických miest a znížené externality [8, 10, 11, 14]. Nemá ísť o jednoduchú kompenzáciu straty, ale o nákup verejne prospešnej funkcie.

Tretím krokom je samostatná podpora prvej a poslednej míle. Bez zvozu a rozvozu vozňov nebude fungovať ani najlepšia diaľková sieť [14].

Štvrtým krokom je ochrana strategických vlečiek a verejných nákladkových miest. Ich zrušením sa často definitívne stráca možnosť železničnej obsluhy.

Piatym krokom je rozvoj intermodálnej transformačnej vrstvy: regionálnych terminálov, mikroprekladísk, pravidelných vlakových liniek a vhodných manipulačných jednotiek.

Šiestym krokom je digitalizácia. Zákazník musí mať možnosť jednoduchého podaja, sledovania zásielky a predvídateľnej dodacej lehoty [1, 10]. Bez toho JVZ nebudú konkurencieschopné voči ceste.

Siedmym krokom je pilotné overenie. Vhodné by bolo vybrať jeden alebo dva priemyselné regióny, kde sa porovná klasická JVZ, intermodálne riešenie a cestná alternatíva podľa nákladov, kvality a externalít.

8 Záver

Jednotlivé vozňové zásielky nemožno posudzovať iba ako stratový produkt železničného dopravcu. Majú širší význam pre priemysel, regióny, cestnú infraštruktúru, bezpečnosť a životné prostredie. Zároveň však nemožno automaticky predpokladať, že všetky historické vozňové relácie majú byť zachované bez ohľadu na náklady a využitie.

Slovensko potrebuje jasné rozhodnutie. Ak má byť jadro JVZ zachované, musí byť definované ako verejne prospešná nákladná železničná služba s transparentnou podporou, merateľnými parametrami a modernizačnými podmienkami. Ak niektoré toky nie sú vhodné pre klasickú vozňovú technológiu, musia byť riadene transformované do intermodálnej prepravy.

Pasívny útlm je najhorší scenár. Znamenal by presun časti tovaru na cesty, stratu vlečkovej infraštruktúry, zníženie dostupnosti železnice pre priemysel a oslabenie schopnosti plniť ciele modal shiftu.

Najrealistickejším riešením je hybridný model: jadrová sieť JVZ pre strategické priemyselné a regionálne toky a paralelná intermodálna transformačná vrstva pre zásielky, pri ktorých je štandardizovaná jednotka technologicky a ekonomicky vhodnejšia. Takýto model umožňuje zachovať železničnú obsluhu rozptýlených tokov, ale zároveň ju prispôbiť požiadavkám modernej logistiky.

Uvedený model je iba predbežným strategickým výstupom, akým smerom by sa mohla uberať železničná nákladná doprava v slovenských podmienkach. Detailné ekonomické a ekologické dopady, ako aj dopady na spoločnosť sú predmetom interných materiálov spoločností ŽSR a ZSSK Cargo a. s. a budú predmetom ďalšej vedecko-výskumnej činnosti v rámci oboch spomenutých spoločností aj univerzity.

9 Literatúra

- [1] EUROPEAN COMMISSION. Study on Single Wagonload Traffic in Europe – Challenges, Prospects and Policy Options. Final Report. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2015.
- [2] ZSSK CARGO. *Obchodné zámery ZSSK CARGO na rok 2022*. Bratislava: Železničná spoločnosť Cargo Slovakia, a. s., 2022.
- [3] ZSSK CARGO. *Obchodné zámery ZSSK CARGO na rok 2026*. Bratislava: Železničná spoločnosť Cargo Slovakia, a. s., 2026.
- [4] GAŠPARÍK, Jozef a kol. *Vlakotvorba a miestne dopravné procesy*. 1. vyd. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2011. ISBN 978-80-7395-444-4.
- [5] GAŠPARÍK, Jozef - KOLÁŘ, Josef. *Železniční doprava: technologie, řízení, grafikony a dalších 100 zajímavostí*. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, 2017. ISBN 978-80-271-0058-3.
- [6] MINISTERSTVO DOPRAVY SR. *Koncepcia rozvoja intermodálnej dopravy Slovenskej republiky do roku 2030*. Bratislava: Ministerstvo dopravy Slovenskej republiky, 2022.

- [7] EUROPEAN COMMISSION. Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on the use of railway infrastructure capacity in the single European railway area, amending Directive 2012/34/EU and repealing Regulation (EU) No 913/2010. Brussels: European Commission, 2023.
- [8] SCHIENENINFRASTRUKTUR-DIENSTLEISTUNGSGESELLSCHAFT MBH. *Förderungsprogramm SGV-Plus 2023–2027*. Wien: SCHIG, 2023. [cit. 2026-05-09]. Dostupné na internete: <https://www.schig.com/aufgaben/foerderprogramme/sgv-plus>.
- [9] RAILMARKET.COM. *SBB Cargo receives state subsidy for single wagonload freight until 2029* [online]. 2025. [cit. 2026-05-09]. Dostupné na internete: <https://railmarket.com/news/freight-rail/44240-sbb-cargo-receives-state-subsidy-for-single-wagonload-freight-until-2029>.
- [10] EUROPE'S RAIL JOINT UNDERTAKING. *Digital Automatic Coupling*. Brussels: Europe's Rail, 2021. [cit. 2026-05-09]. Dostupné na internete: https://rail-research.europa.eu/wp-content/uploads/2021/04/DAC-Factsheet_EN.pdf.
- [11] EUROPEAN PARLIAMENTARY RESEARCH SERVICE. *CountEmissionsEU: Measuring emissions from transport services*. Brussels: European Parliament, 2023. [cit. 2026-05-09]. Dostupné na internete: [https://www.europarl.europa.eu/thinktank/fr/document/EPRS_BRI\(2023\)757562](https://www.europarl.europa.eu/thinktank/fr/document/EPRS_BRI(2023)757562).
- [12] DEUTSCHE BAHN. *DB Cargo transformation. Interim Group Management Report 2025* [online]. Berlin: Deutsche Bahn, 2025. [cit. 2026-05-09]. Dostupné na internete: <https://zbir.deutschebahn.com/2025/en/interim-group-management-report-unaudited/development-of-business-units/db-cargo-business-unit/db-cargo-transformation/>.
- [13] INTERREG CENTRAL EUROPE. *Work Paper: Single Wagon Load Transport*. 2024. [cit. 2026-05-09]. Dostupné na internete: <https://www.interreg-central.eu/wp-content/uploads/2024/06/D-2.1.2-Workpaper-Single-wagon-load-transport.pdf>.
- [14] DOLINAYOVÁ, Anna - MAŠEK, Jaroslav - ŠMAJDA, Martin. *Transport of single wagonloads – state support possibilities in the Slovak Republic*. 2026. [cit. 2026-05-09]. Dostupné na internete: https://www.interreg-central.eu/wp-content/uploads/2026/02/UNIZA_HRT2_Dolinayova_Masek_Smajda.pdf.

Pod'akovanie

Príspevok vznikol v rámci riešenia grantového projektu VEGA 1/0485/24 " Zvýšenie efektívnosti a udržateľnosti železničnej a vodnej dopravy v kontexte environmentálnych dosahov" na Fakulte prevádzky a ekonomiky dopravy a spojov Žilinskej univerzity v Žiline.

EKONOMICKÉ A ENVIRONMENTÁLNE NÁKLADY DEFICITOV VEREJNEJ DOPRAVY V SEKUNDÁRNOM MESTE: DÔKAZY Z JIZZAKHU, UZBEKISTAN

Autori:

Azizbek ERGASHEV ¹, Miroslava MIKUŠOVÁ ²

Tituly a pôsobisko autorov:

¹ Azizbek Ergashev (Bc.), Jizzakh Polytechnic Institute, Islom Karimov Avenue 4, 130100 Jizzakh, Uzbekistan; and výmenný študent Žilinská univerzita v Žiline, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, Slovenská republika. E-mail: ergashevazizbek019@gmail.com

² Ing. Miroslava MIKUŠOVÁ, PhD., Katedra cestnej a mestskej dopravy, Fakulta prevádzky a ekonomiky dopravy a spojov, Žilinská univerzita v Žiline, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, Slovenská republika. E-mail: miroslava.mikusova@uniza.sk

Abstrakt: Táto štúdia kvantifikuje ekonomické a environmentálne náklady spojené s nedostatkami verejnej dopravy v meste Jizzakh v Uzbekistane prostredníctvom GIS analýzy, prieskumu medzi obyvateľmi a kvantitatívneho modelovania. Pomocou softvéru QGIS boli vytvorené pešie dostupnostné zóny (400 m) v piatich štvrtiach v súlade s normami Uzbekistanu (ShNQ 2.07.01-03). Priestorová analýza ukazuje, že periférne štvrte dosahujú pokrytie len 10–24 %, zatiaľ čo referenčná štvrť Jilliculi 80 %, čo potvrdzuje radiálne orientovanú sieť. Prieskum medzi 100 respondentmi naznačuje, že 60 % obyvateľov periférie je nútených využívať súkromnú dopravu. Celková denná vzdialenosť v skúmanej oblasti sa odhaduje na 95 890 km obojsmerne. Pri prevádzkových nákladoch 0,203 €/km to predstavuje dennú ekonomickú záťaž približne 19 464 € (4,87 mil. € ročne). Emisie CO₂ spôsobené touto závislosťou sa odhadujú na 9,6–11,5 tony denne (faktor 100–120 g CO₂/km). Výsledky dokazujú, že štrukturálne nedostatky v pokrytí verejnou dopravou vytvárajú merateľné náklady na úrovni štvrtí. Štúdia prináša empirické dôkazy z postsovietskeho urbanistického kontextu a predstavuje metodologický rámec aplikovateľný na porovnateľné sekundárne mestá v Strednej Ázii.

Kľúčové slová: dostupnosť verejnej dopravy, GIS analýza, QGIS, nútené využívanie súkromnej dopravy, emisie CO₂, ekonomické náklady, Jizzakh, Uzbekistan, sekundárne mestá, mestská mobilita

JEL: R41, Q53, R52

ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL COSTS OF PUBLIC TRANSPORT DEFICITS IN A SECONDARY CITY: EVIDENCE FROM JIZZAKH, UZBEKISTAN

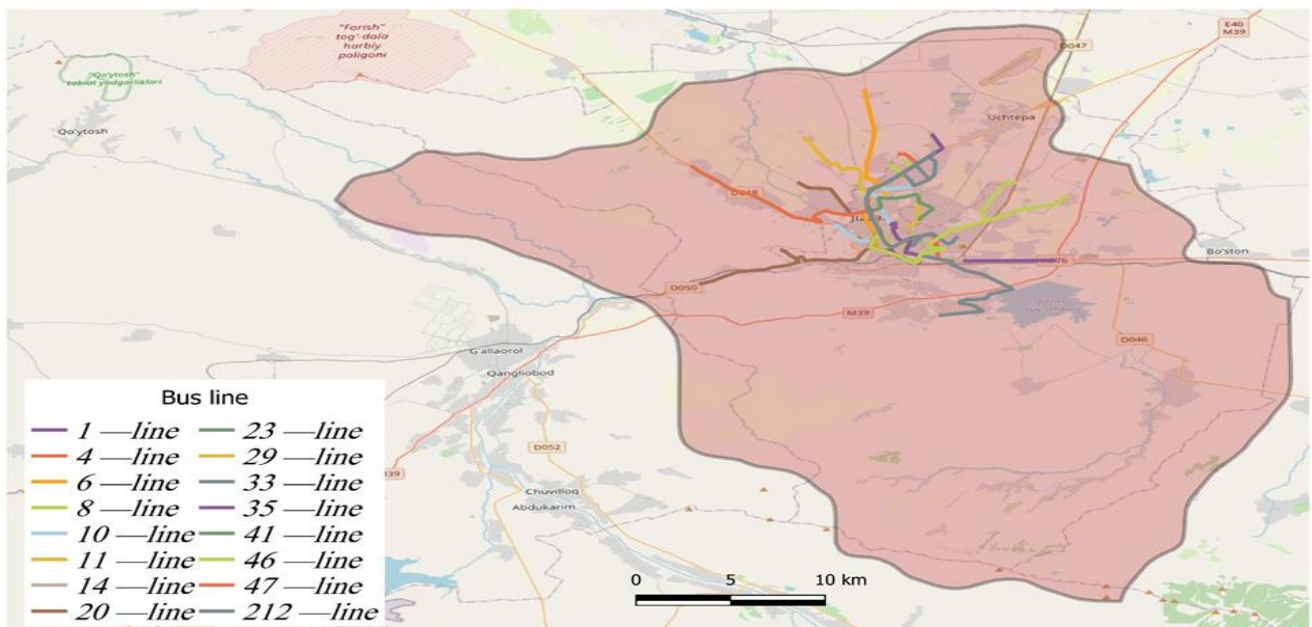
Abstract: This study quantifies the economic and environmental costs associated with public transport deficits in Jizzakh, Uzbekistan, through GIS spatial analysis, a resident survey, and quantitative modelling. Using QGIS software, pedestrian accessibility zones (400 m) were generated across five neighbourhoods in accordance with Uzbekistan's urban standards (ShNQ 2.07.01-03). Spatial analysis reveals that peripheral neighbourhoods record transport coverage of only 10–24%, against 80% in the reference area, confirming a radially biased network. A survey indicates that 60% of peripheral residents are compelled to use private transport. The total daily travel distance in the study area is estimated at 95,890 km. At operating costs of €0.203/km, this represents a daily economic burden of approximately €19,464 (€4.87 million annually). CO₂ emissions from this forced dependence are estimated at 9.6–11.5 tonnes per day. The results demonstrate that structural deficits in public transport coverage create quantifiable costs at the neighbourhood level. The study provides empirical evidence from a post-Soviet urban context and presents a methodological framework applicable to comparable secondary cities in Central Asia.

Keywords: public transport accessibility, GIS analysis, QGIS, forced private transport, CO₂ emissions, economic cost, Jizzakh, Uzbekistan, secondary cities, urban mobility

1 Introduction

In the context of modern urbanization, the efficient organisation of public transport systems plays a crucial role in ensuring sustainable urban development, economic growth, and environmental sustainability. However, in many developing cities, including Jizzakh, the predominantly radial structure of the transport network-primarily oriented toward the city center-creates imbalances in connectivity between peripheral areas and the urban core.

This study aims to identify existing shortcomings in the public transport network of Jizzakh city through digital analysis using QGIS software. The overall transport network and route system of Jizzakh city are illustrated in Picture 1.



Source: Author's own processing using QGIS

Picture 1. Public transport network map of Jizzakh city.

The results of the analysis indicate that although transport routes have a high density in the city center, lateral connectivity in peripheral areas remains insufficiently developed. This situation reduces public trust in public transport and compels residents to rely on private vehicles. The objective of this study is to evaluate public transport coverage within five specifically selected neighbourhoods: Kuyovboshi, To'qchilik, Jilliquli, Sayhon, and Hamzaobod. These areas were chosen as representative case studies due to their peripheral location, low public transport density, and high dependence on private mobility, which reflect the typical infrastructure challenges faced by the city's outskirts. Furthermore, the study aims to quantify the economic costs and the volume of CO₂ emissions resulting from this forced reliance on private transport. The findings serve as a strategic basis for developing recommendations to optimize the urban transport network, enhance accessibility, and mitigate environmental impact.

2 Literature Review

The international literature on urban public transport accessibility and its socioeconomic consequences has expanded considerably over recent decades, demonstrating multifaceted effects on population welfare, environmental conditions, and urban spatial development. However, the geographic scope of existing research remains uneven, with scholarly work concentrated predominantly in Western Europe, North America, and major Asian metropolitan centres. Secondary cities in Central Asia - and Uzbekistan in particular - remain significantly understudied in international transport research.

2.1 Public Transport Accessibility and Urban Equity

Public transport accessibility has long been recognised as a fundamental determinant of urban equity and social inclusion. Rodrigue (2020) argues that the spatial organisation of transport networks directly shapes residents' ability to access employment, education, and healthcare - with peripheral urban populations bearing a disproportionate burden when networks are radially structured and centre-oriented [1]. Newman and Kenworthy (2015) further demonstrate, through longitudinal analysis of 44 global cities, that automobile dependence is not an inevitable outcome of urbanization but rather a product of specific planning decisions that prioritise road infrastructure over integrated public transit [2]. Their work establishes a clear inverse relationship between public transport network quality and per-capita private vehicle use [2], providing a theoretical foundation for the present study's hypothesis that expanding coverage in Jizzakh's peripheral neighbourhoods would reduce forced private transport dependency. In the context of developing and transitioning economies, this relationship is amplified by the relative unaffordability of private vehicle ownership, making public transport access a matter of economic necessity rather than preference for a significant share of the urban population.

2.2 Forced private transport in Developing Cities

In cities where formal public transport networks fail to meet spatial demands, residents consistently develop informal mobility arrangements to fill the gaps. Paratransit modes have long tended to fill the void left by formal systems, particularly in peripheral urban areas where formal transport is absent or inadequate [3]. In developing countries, these systems remain demand-driven and user-oriented, characterized by high operational flexibility, easy market entry, and small vehicles under limited formal oversight - features that persist across developing-country contexts regardless of region or income level [4]. The distinction between voluntary ridesharing and forced private transport - where residents share vehicles not by preference but due to the absence of viable alternatives - is directly relevant to the present study. The observed occupancy rate of 3.0 passengers per vehicle in Jizzakh's peripheral neighbourhoods reflects a rational collective response to unmet mobility demand, consistent with established patterns of informal vehicle sharing in urbanizing contexts with fragmented formal networks.

2.3 Economic and Environmental Costs of Private Transport Dependency

Private transport dependency imposes significant economic burdens in developing cities. Studies show that in cities with public transport coverage below 30%, household transport costs typically account for 15–25% of total income, disproportionately affecting low-income peripheral residents [5]. From an environmental perspective, higher public transport shares are strongly associated with lower CO₂ emissions. Newman and Kenworthy (2015) report that shifting from private cars to public transport can reduce emissions by 60–80% per passenger-kilometre [2]. Uzbekistan has committed to reducing greenhouse gas emissions by 35% by 2030 compared to 2010 levels, with the transport sector playing a key role in achieving this target. This study provides empirical evidence on the economic costs and CO₂ emissions resulting from inadequate public transport coverage in a secondary city context.

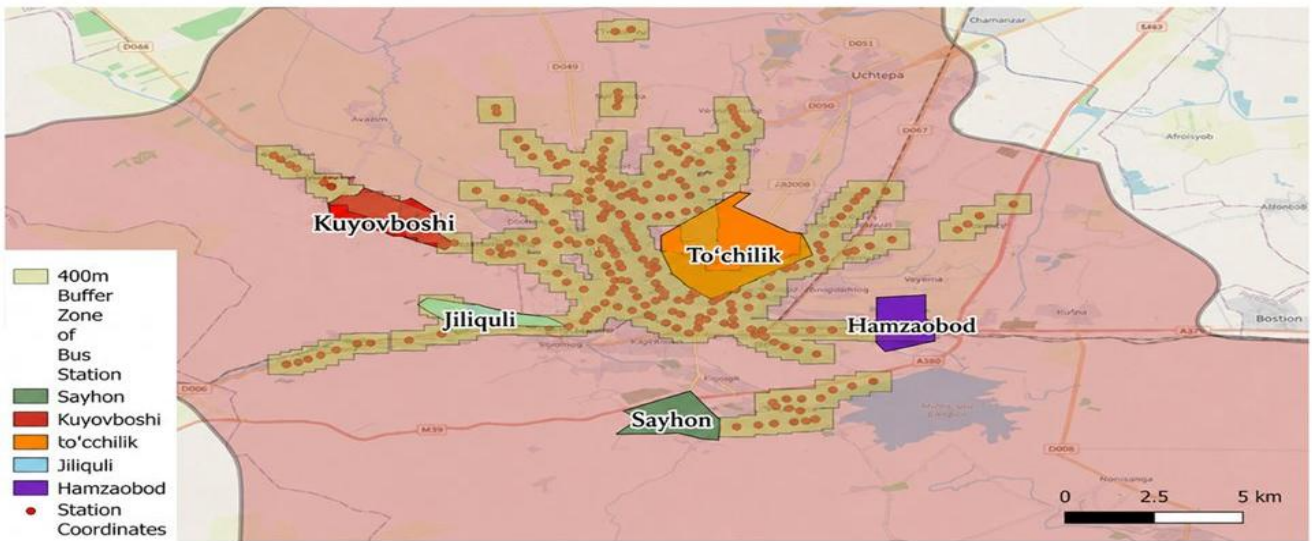
2.4 Research Gap and Study Contribution

Despite the substantial body of literature on urban public transport accessibility, informal mobility, and transport-related emissions, secondary cities in Central Asia - and Uzbekistan in particular - remain severely underrepresented in the international transport research literature. The majority of existing studies focus on large metropolitan areas in Western Europe, North America, or major Asian cities, leaving a significant empirical gap in the understanding of transport dynamics in post-Soviet urbanizing contexts. Here, post-Soviet urban context refers to the Soviet-era planning legacy still shaping Jizzakh: a radial, centrally-oriented street network, residential development organised into self-contained micro-districts (mikrorayons) with limited lateral connectivity, and centralised transport provision not yet adapted to post-independence peripheral growth and rising private vehicle ownership. Jizzakh, as a mid-sized regional center with a predominantly radial transport network and rapidly growing peripheral neighbourhoods, exemplifies the structural challenges faced by a large class of cities across Central Asia and the broader developing world. By combining GIS-based spatial analysis, resident survey data, and quantitative economic and environmental modelling, the present study addresses this gap and provides a replicable methodological framework applicable to comparable urban contexts across the region.

3 Methodology

In this study, the public transport coverage of Jizzakh city and its economic and environmental impacts were examined using an interdisciplinary approach. The methodology consists of three main stages: GIS analysis, a social survey, and quantitative modeling.

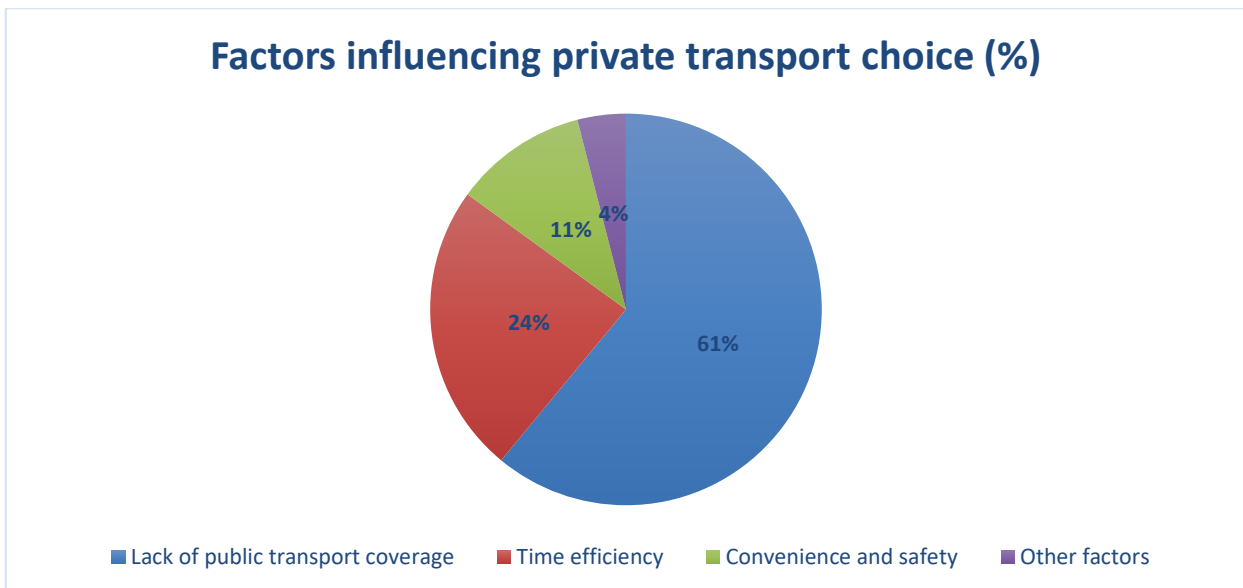
The public transport network was digitized and mapped using QGIS software. Based on the coordinates of all existing bus stops within the city, pedestrian accessibility zones (buffer zones) with a radius of 400 meters were generated. This distance is aligned with both international best practices in transit planning and Uzbekistan's national urban planning standards, which specify a maximum walking distance of 400 metres to the nearest public transport stop [6, 7]. All bus lines operate at a uniform scheduled headway of approximately 10 minutes, with no variation by route or neighbourhood, so the coverage disparities reported below reflect route/stop placement rather than service frequency. The selection of the five study neighbourhoods - Kuyovboshi, To'qchilik, Jilliculi, Sayhon, and Hamzaobod - was based on the results of the preliminary GIS-based buffer zone analysis conducted across the entire administrative territory of Jizzakh city. Following the generation of 400-metre pedestrian catchment zones around all existing bus stops, it became evident that a substantial proportion of the city's peripheral neighbourhoods fell outside the effective coverage of the public transport network. From among these underserved areas, four neighbourhoods - Kuyovboshi, To'qchilik, Sayhon, and Hamzaobod - were purposively selected as representative cases of low to critically insufficient public transport coverage (10-24%; see Picture 2). In addition, Jilliculi neighbourhood was included as a comparative reference case, representing an area with relatively high coverage (80%). This deliberate contrast between predominantly unserved and adequately served neighbourhoods enables a systematic comparative analysis of the relationship between public transport accessibility levels and residents' mobility behaviour, private transport dependency, and associated economic and environmental costs.



Source: Author's own processing using QGIS

Picture 2. Analysis of bus stop coverage and resident survey zone.

Within the framework of this scientific study, a structured pilot survey was conducted among 100 randomly selected residents (20 from each of the five target neighbourhoods: Kuyovboshi, To'qchilik, Jiliquli, Sayhon, and Hamzaobod). Each respondent reported their own transport choice individually; the dataset is therefore individual-level, not household-level, hence the term “resident survey” used throughout. The survey, distributed via Google Forms, examined residents’ transport choices and the specific reasons behind their mobility preferences. Although this represents a targeted sample, it serves as a preliminary assessment to identify critical trends and validate the research methodology within Jizzakh’s urban context. The findings highlight the primary factors influencing respondents’ preference for private transport, as illustrated in the following Picture 3.



Source: Author's own survey data (2026)

Picture 3. Factors influencing private transport choice (%)

Per-kilometer operating costs were estimated by combining locally sourced fuel price data with a cost multiplier of 2.5 to account for vehicle maintenance and depreciation, consistent with the cost framework applied to developing-country private transport contexts by Cervero & Golub (2007) [12] and supported by ITF (2023) [5] estimates for household transport expenditure in cities with low public transport coverage. The forced private transport occupancy rate of 3.0 passengers per vehicle was derived from survey responses and used as the basis for vehicle-trip estimation. The two core formulas applied are:

$$(1) \quad \text{Number of vehicles} = \frac{\text{Number of users}}{3}$$

$$(2) \quad \text{Total kilometers} = \text{number of vehicles} \times \text{distance to city center}$$

This study tests two hypotheses in Section 4.1: **H1**: PT coverage is negatively associated with forced private transport share. **H2**: The radial network produces a measurable coverage gap between peripheral and centrally-served neighbourhoods, independent of population size.

4 Results

This section presents the findings of the three-stage analysis in sequence: GIS-based spatial coverage assessment, resident survey results, and quantitative modelling of economic and environmental costs.

4.1 Spatial Coverage Analysis (GIS)

Buffer zone analysis using QGIS software revealed a pronounced spatial imbalance in public transport (PT) coverage across the five study neighbourhoods. Table 1 summarises population, daily commuter volumes, and the share of each neighbourhood falling within the 400-metre pedestrian catchment zone of an existing bus stop.

Table 1. Population and public transport coverage by neighbourhood

Neighbourhood	Total population	Daily commuters (persons/day)	PT coverage (%)
To'qchilik	8,672	6,764	24%
Kuyovboshi	7,564	6,127	10%
Hamzaobod	7,388	5,689	15%
Jilliquli	6,880	5,160	80%
Sayhon	3,046	2,193	11%
Total / Average (4 peripheral)	33,550	25,773	15%

Note. PT coverage = share of neighbourhood area within 400 m of a bus stop, per ShNQ 2.07.01-03 [6,7]. Population data: Official Statistics of Jizzakh Region [8].

The four peripheral neighbourhoods (To'qchilik, Kuyovboshi, Hamzaobod, Sayhon) recorded PT coverage levels of 10-24%, with a weighted average of approximately 15%. In contrast, Jilliquli - the reference neighbourhood - exhibited 80% coverage. These findings confirm that the existing network is radially structured and heavily concentrated in the city center, leaving the majority of peripheral residents outside effective PT reach.

4.2 Resident Survey Results

The minimum required sample size was determined using the Cochran (1977) formula for unknown populations:

$$(3) \quad n = Z^2 \times p \times (1-p) / e^2$$

where $Z = 1.96$ (95% confidence level), $p = 0.5$ (maximum variance assumed due to lack of prior distributional data), and $e = 0.10$ (acceptable margin of error for a pilot study). Substituting these values yields a minimum sample size of $n \approx 97$ respondents. Accordingly, a total of 100 residents were surveyed across five neighbourhood [9] (20 per neighbourhood), satisfying the statistically required threshold. While the authors acknowledge this as a pilot-scale study, the sample size is statistically justified for exploratory urban transport research in a secondary city context [10].

A pilot survey of 100 residents (20 per neighbourhood) revealed high rates of forced private transport dependency in the four underserved areas. Survey responses indicated that approximately 60% of respondents in peripheral neighbourhoods cited the absence of a nearby bus stop as their primary reason for using private transport, while 24% reported time savings as the main motivator (Picture 3). In the reference neighbourhood of Jililiquli, only 25% of daily commuters relied on private transport. Table 2 presents the estimated modal split applied to the full daily commuter population.

Table 2. Daily commuters and estimated private transport users by neighbourhood

Neighbourhood	Daily commuters	Private transport share (%)	Private transport users	Distance to centre (km)
To'qchilik	6,764	80%	5,411	4.0
Kuyovboshi	6,127	88%	5,392	10.0
Hamzaobod	5,689	86%	4,893	6.0
Jililiquli*	5,160	25%	1,820	6.5
Sayhon	2,193	83%	1,290	21.0

Note. Jililiquli is the reference neighbourhood with high PT coverage. Private transport users = daily commuters x private transport share.

Aggregating across the five neighbourhoods, the pooled private transport share is approximately 72.5% (18,806 of 25,933 commuters), with the remaining 27.5% using public transport or other modes. This reflects only the sampled study area, not a city-wide modal split, which is not currently published for Jizzakh (see Section 6). A Pearson correlation between PT coverage (Table 1) and private transport share (Table 2) yields $r = -0.99$ ($p < 0.001$, $n = 5$), strongly supporting H1; given the small number of spatial units, this should be read as suggestive rather than statistically conclusive, pending replication across a larger sample of neighbourhoods.

4.3 Daily Travel Distance

Based on the forced private transport occupancy rate of 3.0 passengers per vehicle, the number of vehicle trips and total daily kilometers were calculated for each neighbourhood. Table 3 presents the disaggregated results.

Table 3. Estimated daily vehicle trips and total travel distance by neighbourhood

Neighbourhood	Private transport users	Vehicles (users ÷3)	Distance (km)	Total km/day
To'qchilik	5,411	1,804	4.0	7,216
Kuyovboshi	5,392	1,797	10.0	17,970
Hamzaobod	4,893	1,631	6.0	9,786
Jilliquili	1,820	607	6.5	3,943
Sayhon	1,290	430	21.0	9,030
TOTAL	18,806	6,269	-	47,945

Note. Number of vehicles = private transport users ÷ 3 (forced private transport occupancy rate). Total km = vehicles x one-way distance to city centre. Round-trip daily distance = Total km/day × 2 = 95,890 km.

The combined daily travel distance across all five study neighbourhoods amounts to 95,890 km, with Kuyovboshi accounting for the largest share (35,940 km/day) due to the highest number of private transport users and the greatest distance from the city center (10.0 km).

4.4 Economic Cost Estimation

Per-kilometer operating costs were estimated using locally sourced price data. Table 4 presents the detailed cost breakdown.

Table 4. Estimation of per-kilometer private transport operating cost in Jizzakh (2026)

No.	Cost component	Value	Unit	source
1	Retail price of AI-92 gasoline	11,400	UZS/liter	Goldenpages.uz, 2026 [11]
2	Urban fuel consumption rate	10	liters/100 km	Standard norm
3	Fuel cost per km	1,140	UZS/km	Calculated
4	Cost multiplier (maintenance + depreciation)	× 2.5	-	Cervero & Golub, 2007 [12]
5	Full operating cost per km	2,850	UZS/km	Calculated
6	EUR/UZS exchange rate (CBU, 26.04.2026)	14,051	UZS/EUR	Central Bank of Uzbekistan [13]
7	Full operating cost per km (EUR)	≈€0.203	EUR/km	Calculated

Note. Limitation. The cost multiplier of 2.5 is drawn from Cervero & Golub (2007) [12], calibrated for developing-country contexts. Its direct applicability to Uzbekistan should be treated as a reasonable approximation.

Applying the estimated full operating cost of €0.203 per km to the round-trip daily distance of 95,890 km yields a daily economic cost of approximately €19,464 (≈ 273,543,720 UZS). On an annualised basis (250 working days), this equates to approximately €4.87 million per year attributable to inadequate PT coverage in the five study neighbourhoods.

4.5 Environmental Impact: CO₂ Emissions

CO₂ emissions from private vehicle trips were estimated using an emission factor range of 100-120 g CO₂ per km for petrol-powered passenger cars. Applying this range to the total round-trip daily distance of

95,890 km yields estimated daily emissions of 9.6–11.5 tonnes of CO₂ from the five study neighbourhoods. Table 5 presents the emissions breakdown by neighbourhood.

Table 5. Estimated daily CO₂ emissions by neighbourhood

Neighbourhood	Round-trip km/day	CO ₂ at 100 g/km (kg)	CO ₂ at 120 g/km (kg)
To'qchilik	14,432	1,443	1,732
Kuyovboshi	35,940	3,594	4,313
Hamzaobod	19,572	1,957	2,349
Jilliquli	7,886	789	946
Sayhon	18,060	1,806	2,167
TOTAL	95,890	9,589	11,507

Note. Emission factor range 100-120 g CO₂/km, applied to round-trip distance. Kuyovboshi accounts for approximately 37% of total estimated daily emissions.

4.6 Summary of Key Findings

The three-stage analysis consistently identifies a systemic deficit in public transport coverage in Jizzakh's peripheral neighbourhoods. The principal quantitative findings are: (1) PT coverage in the four peripheral neighbourhoods averages 15%, compared to 80% in Jilliquli; (2) approximately 60% of surveyed peripheral residents are compelled to use private transport; (3) total one-way daily travel distance is 47,945 km (95,890 km round-trip); (4) the associated daily economic cost is approximately €19,464 (≈273.5 million UZS), equivalent to €4.87 million per year; and (5) daily CO₂ emissions are estimated at 9.6–11.5 tonnes, with Kuyovboshi accounting for 37% of the total.

5 Discussion

The findings confirm that Jizzakh's public transport network exhibits a strongly centralized, radial structure, systematically disadvantaging peripheral residents - a pattern consistent with comparable developing-country cities [1, 2]. In the studied neighbourhoods, public transport coverage falls below 20%, compelling approximately 60% of residents to rely on private vehicles or informal taxi services. The recorded forced private transport occupancy rate of 3.0 passengers per vehicle reflects demand-driven self-organisation under conditions of inadequate formal provision [9, 4]. Public transport is widely recognised as one of the most cost-effective solutions to urban climate and mobility challenges, with buses and trains capable of reducing greenhouse gas emissions by up to two-thirds per passenger-kilometer compared to private vehicles [14]. Against this benchmark, the estimated daily CO₂ output of 9.6–11.5 tonnes from five peripheral neighbourhoods illustrates the tangible environmental cost of inadequate coverage [5]. For Uzbekistan specifically, the ITF's decarbonization pathways study identifies a shift toward low-carbon, integrated public transport as the central policy lever for reducing urban transport emissions through 2050 [15].

The high rates of forced private transport dependency - reaching 88% in Kuyovboshi neighbourhood - reflect a global urbanization trend particularly pronounced in developing countries, where urban sprawl has contributed to rising vehicle ownership and negative externalities including congestion and emissions [17]. In the Uzbekistan context, this is reinforced by Nishonov et al. (2025), who document that the total number of privately owned vehicles reached 4,020,744 units by 2024 at an average annual growth rate of 7.5% [6], making the present study's neighbourhood-level findings a microcosm of a structural challenge operating at the national scale.

6 Limitations

Several limitations of this study should be acknowledged. First, the resident survey was conducted on a pilot scale, with 100 respondents across five neighbourhoods (20 per neighbourhood). Although statistically justified using the Cochran (1977) formula for exploratory research, the sample size limits the generalisability of the modal split estimates to the broader population of Jizzakh city.

Second, the study covers five selected neighbourhoods and does not represent the full spatial extent of Jizzakh city. Neighbourhoods not included in the study may exhibit different patterns of transport dependency and coverage.

Third, CO₂ emission estimates are based on a standard petrol passenger car emission factor and do not account for vehicle age, engine condition, or the presence of older, higher-emission vehicles that are common in Uzbekistan's vehicle fleet -factors that could result in higher actual emissions than reported here.

Fourth, a published city-wide modal split for Jizzakh is not available; the pooled modal split in Section 4.2 is restricted to the five study neighbourhoods and should not be extrapolated city-wide.

7 Recommendations

Based on the study findings, the following measures are recommended for the strategic development of Jizzakh's urban transport system. First, new lateral route connections between peripheral neighbourhoods should be introduced as a priority. The current radial structure does not serve cross-neighbourhood mobility demand, and targeted lateral lines would substantially reduce forced private transport dependency [2]. Second, bus stop placement should be reorganized so that all residential areas fall within the 400-metre pedestrian catchment zone in line with national ShNQ standards [6-7]. Third, the integration of Intelligent Transport Systems - including real-time passenger flow monitoring, dynamic route adjustment, and digital demand mapping - would enable evidence-based network optimization and improve long-term service efficiency [16]. Fourth, existing informal shared mobility arrangements should receive regulatory recognition as a transitional measure, given their demonstrated role in filling formal transport gaps [9, 4]. Fifth, the findings of this study should inform a broader regional transport planning framework applicable to comparable secondary cities across Uzbekistan and Central Asia [14].

8 Conclusion

This study provides empirical evidence that inadequate public transport coverage in Jizzakh's peripheral neighbourhoods generates substantial and quantifiable economic and environmental costs. GIS-based spatial analysis confirms a structural imbalance in the existing network, while survey data demonstrates the direct behavioural consequences - including high rates of forced private transport use and informal vehicle sharing [9, 4]. The estimated daily economic loss of €19,464 (round-trip basis) and CO₂ emissions of 9.6–11.5 tonnes underscore the urgency of targeted infrastructure investment. The integration of ITS technologies has demonstrated measurable improvements in public transport efficiency across diverse urban contexts and represents a viable pathway for secondary cities undergoing network reform [16]. Expanding public transport coverage, introducing lateral route connections, and deploying ITS represent the principal pathways toward a more equitable and sustainable urban mobility system in Jizzakh. The methodological framework applied - combining GIS analysis, resident survey data, and quantitative modelling - is replicable across comparable secondary cities in Central Asia and the broader developing world [15].

9 Data Availability

The survey dataset supporting the findings of this study is openly available on Zenodo at <https://doi.org/10.5281/zenodo.19799747>

10 References

- [1] RODRIGUE, J.P. *The Geography of Transport Systems*. 4. vyd. New York: Routledge, 2020.
- [2] NEWMAN, P. - KENWORTHY, J. *The End of Automobile Dependence: How Cities Are Moving Beyond Car-Based Planning*. Washington: Island Press, 2015.
- [3] BHUYAN, I.A. - ROY, S.K. The Role of Paratransit in Sustainable Urban Mobility: A Scoping Review. In *Research in Transportation Economics* [online]. 2025. Vol. 113, 101396. [cit. 2026-04-26]. DOI: 10.1016/j.retrec.2025.101396
- [4] DZISI, E.K. et al. Paratransit in the Digital Era: A Comparative Systematic Literature Review. In *Research in Transportation Business & Management* [online]. 2025. [cit. 2026-04-26]. DOI: 10.1016/j.rtbm.2025.101213
- [5] INTERNATIONAL TRANSPORT FORUM. *Transport Outlook 2023*. Paris: OECD/ITF, 2023.
- [6] NISHONOV, A. - ABDUNAZAROV, J. - SHAUMAROV, S. - YUSUPOV, U. - ERGASHEV, A. - KADIROV, Y. et al. The current state and challenges of population mobility in the Republic of Uzbekistan. In *Smart Cities and Advanced Technologies* [online]. 2025. [cit. 2026-04-26]. DOI: 10.21595/scat.2025.25816
- [7] ShNQ 2.07.01-03. Town Planning. Planning and Development of Urban and Rural Settlements. Tashkent, 2003.
- [8] NATIONAL STATISTICS COMMITTEE OF THE REPUBLIC OF UZBEKISTAN [online]. Tashkent. [cit. 2026-04-26]. Available from: <https://stat.uz/uz/>
- [9] ERGASHEV, A. *Survey data: Economic and Environmental Costs of Public Transport Deficits in Jizzakh, Uzbekistan* [dataset, online]. Zenodo, 2026. [cit. 2026-04-26]. Available from: <https://doi.org/10.5281/zenodo.19799747>
- [10] COCHRAN, W.G. *Sampling Techniques*. 3. vyd. New York: John Wiley & Sons, 1977.
- [11] GOLDENPAGES.UZ. Gasoline prices at fuel stations in Uzbekistan, April 2026 [online]. 2026. [cit. 2026-04-26]. Available from: <https://www.goldenpages.uz/en/benzin-cena/>
- [12] CERVERO, R. - GOLUB, A. Informal transport: A global perspective. In *Transport Policy* [online]. 2007. Vol. 14, no. 6, s. 445-457. [cit. 2026-04-26]. DOI: 10.1016/j.tranpol.2007.04.011
- [13] CENTRAL BANK OF THE REPUBLIC OF UZBEKISTAN. Official EUR/UZS exchange rate, April 26, 2026 [online]. 2026. [cit. 2026-04-26]. Available from: <https://cbu.uz/en/>
- [14] WELLE, B. - KUSTAR, A. - TUN, T.H. - ALBUQUERQUE, C. *The Current State of Public Transport as a Climate Solution* [online]. Washington: World Resources Institute, 2023. [cit. 2026-04-26]. Available from: <https://www.wri.org/insights/current-state-of-public-transport-climate-goals>
- [15] INTERNATIONAL TRANSPORT FORUM. *Decarbonising Pathways for Urban Mobility in Uzbekistan* [online]. Paris: OECD/ITF, 2023. [cit. 2026-04-26]. Available from: <https://www.itf-oecd.org/decarbonising-pathways-urban-mobility-uzbekistan>
- [16] ADENIRAN, A.O. et al. Adoption of Intelligent Transport Systems (ITS) in Urban Transportation Planning. In *Discover Global Society* [online]. 2025. [cit. 2026-04-26]. DOI: 10.1007/s44282-025-00312-3

[17] SOGBE, E. - SUSILAWATI, S. - PIN, T.C. Scaling up public transport usage: A systematic literature review. In *Public Transport* [online]. 2024. [cit. 2026-04-26]. DOI: 10.1007/s12469-024-00367-6

Acknowledgement

The contribution was elaborated with the support of the Ministry of Education, Research, Development and Youth of the Slovak Republic: VEGA no. 1/0606/25 Konečný, V.: Research on positive externalities from road transport services in the context of quality improvement and performance evaluation.

SOFTVÉROVÁ PODPORA AUTOMATIZÁCIE V SKLADOVEJ LOGISTIKE PRI VYUŽITÍ WMS A WCS PRE TECHNOLOGIE G2P

Autori:

Matúš LAURENČÍK ¹

Tituly a pôsobisko autorov:

¹Ing. Matúš Laurenčík, 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: laurencik8@stud.uniza.sk

Abstrakt: Článok sa zaoberá úlohou softvérov v skladovej logistike so zameraním na systém riadenia skladu (WMS) a systém kontroly skladu (WCS) pri využití technológií tovar k osobe (G2P). Cieľom je poukázať na význam správneho prepojenia informačných a riadiacich systémov s automatizačnými prvkami skladu. Práca charakterizuje hlavné funkcionality WMS a WCS, opisuje ich komunikáciu s technológiami G2P a dopravníkovými systémami a analyzuje vplyv rôznych softvérových prístupov typu black box, grey box a white box na flexibilitu, integráciu a prevádzkovú kontrolu systému. Výsledkom je zdôraznenie potreby komplexného pohľadu na automatizáciu, v rámci ktorého technológia a softvér tvoria jeden funkčný celok rozhodujúci o výkonnosti, presnosti a stabilite logistických procesov.

Kľúčové slová: WMS, WCS, WES, G2P, skladová logistika, automatizácia, informačné systémy, logistické procesy

JEL: L91, M15

SOFTWARE SUPPORT OF WAREHOUSE LOGISTICS AUTOMATION USING WMS AND WCS FOR G2P TECHNOLOGIES

Abstract: The article addresses the role of software in warehouse logistics, focusing on the warehouse management system (WMS) and the warehouse control system (WCS) used together with Goods-to-Person (G2P) technologies. The aim is to highlight the importance of properly linking information and control systems with warehouse automation components. The paper characterizes the main functionalities of WMS and WCS, describes their communication with G2P technologies and conveyor systems, and analyses the impact of black box, grey box and white box software approaches on system flexibility, integration and operational control. The main conclusion is that warehouse automation should be understood as an integrated whole in which technology and software jointly determine process performance, accuracy and operational stability.

Keywords: WMS, WCS, WES, G2P, warehouse logistics, automation, information systems, logistics processes

1 Úvod

Softvérová podpora automatizácie dnes predstavuje neoddeliteľnú súčasť moderného riadenia skladovej logistiky. Rastúca variabilita objednávok, tlak na skracovanie dodacích lehôt, požiadavky na vysokú presnosť spracovania a súčasný nedostatok pracovnej sily spôsobujú, že tradičné manuálne skladové procesy narážajú na svoje prevádzkové limity. Osobitne výrazne sa to prejavuje pri vychystávaní, ktoré patrí medzi najnáročnejšie činnosti z hľadiska spotreby pracovného času, podielu neproduktívnych

presunov a vplyvu na kvalitu služieb. Práve preto sa automatizácia ako tovar k osobe (G2P) stáva jedným z hlavných nástrojov na zvyšovanie prevádzkovej efektívnosti a stability logistických procesov.

Cieľom článku je preto poukázať na význam softvérových riešení pri automatizácii skladovej logistiky a analyzovať ich úlohu pri využití technológií G2P. Pozornosť sa sústreďuje na funkcionality WMS a WCS/WES, ich vzájomné prepojenie, komunikáciu s dopravníkovými a skladovacími systémami a na odlišné softvérové prístupy typu black box, grey box a white box.

Prínos článku spočíva v prepojení teoretického pohľadu na softvérovú podporu automatizácie s praktickými aspektmi skladovej prevádzky. Východiskom je snaha ukázať, že správne nastavenie softvérových systémov významne ovplyvňuje výkon, presnosť, transparentnosť a dlhodobú udržateľnosť logistických procesov. Takto koncipovaný prístup vytvára základ pre efektívnejšie rozhodovanie o návrhu a implementácii automatizovaných riešení v skladovej logistike.

2 Softvéri v skladovej logistike

Využívanie moderných informačných systémov je nevyhnutné pre logistické spoločnosti pôsobiace v komplexných a dátovo náročných dodávateľských reťazcoch. Dobre navrhnuté logistické informačné systémy ako je napríklad systém riadenia skladu menia logistiku z podpornej funkcie na strategický faktor konkurencieschopnosti tým, že integrujú rozhodovanie o doprave, skladovaní a zásobách v reálnom čase. Tieto systémy automatizujú manuálne činnosti, znižujú ľudské chyby a urýchľujú spracovanie objednávok, čo vedie k nižším prevádzkovým a skladovacím nákladom a k vyššej celkovej efektívnosti [19].

Sledovanie v reálnom čase a viditeľnosť dát v rámci siete umožňujú lepšie plánovanie, rýchlejšiu reakciu na narušenia a kratšie dodacie lehoty od dodávateľa po zákazníka. Empirické štúdie ukazujú, že implementácia logistických systémov môže znížiť náklady na dopravu, skladovanie a riadenie o dvojciferné percentá a zároveň výrazne zlepšiť spokojnosť zákazníkov a kvalitu služieb [19].

Automatizácia a nástroje založené na veľkých dátach v skladoch ďalej zvyšujú produktivitu, znižujú potrebu pracovnej sily a optimalizujú využitie priestoru. Integrované systémy podporujú rozhodovanie tým, že poskytujú použiteľnú analytiku o trasách, kapacitách, úrovniach zásob a výkonnostných ukazovateľoch [19]. Pre zákazníkov sa tieto zlepšenia prejavujú spoľahlivejšími dodávkami, vyššou úrovňou služieb a vyššou spokojnosťou a lojalitou, čo priamo podporuje rast výnosov. V konkurenčných a globalizovaných trhoch sú firmy, ktoré investujú do pokročilých logistických systémov, lepšie pripravené odlíšiť sa nákladmi, rýchlosťou a kvalitou služby a budovať udržateľnejšiu trhovú pozíciu [20].

Článok je zameraný na dva najdôležitejšie systémy v skladovej logistike a to systém riadenia skladu (Warehouse Management System - WMS) a systém kontroly skladu (Warehouse Control System - WCS) pri využití automatizovanej technológie „tovar k osobe (Goods-to-Person - G2P) Ďalej sa bude práca zameriavať na dve základné časti pre skladovú logistiku a to WMS a WCS/WES.

3 Systém riadenia skladu (WMS)

Podniky musia zabezpečiť plynulú logistiku od príjmu materiálu až po ich odoslanie, aby zostali konkurencieschopné v dnešnom rýchлом spotrebiteľskom trhu. Meniace sa objemy objednávok a prísne dodacie očakávania vytvárajú významný tlak na dodávateľské reťazce. Na zvládnutie týchto výziev sa distribučné centrá opierajú o softvérovo podporenú automatizáciu, ktorej jadrom je výkonný systém WMS slúžiaci ako centrálné riadenie prevádzky.

WMS je komplexný, viacvrstvový systém, ktorý dohliada a koordinuje každú fázu prevádzky automatizovaného skladu. Skladá sa z viacerých špecializovaných softvérových komponentov, z ktorých

každý plní konkrétne funkcie. Pri efektívnej integrácii tieto systémy zvyšujú rýchlosť spracovania, zlepšujú presnosť, znižujú prevádzkové náklady a podporujú organizovanejší logistický pracovný postup.

WMS funkcionality:

- riadenie materiálového toku,
- sledovanie zásob a využitia priestoru v reálnom čase,
- optimalizácia vychystávania a tvorba baliacich predpisov,
- príjem a expedícia v rámci skladu,
- integrácia čiarových kódov/RFID,
- podpora automatizovaných skladovacích systémov (G2P),
- analýza dát a kľúčových ukazovateľov výkonnosti (KPI),
- zefektívnenie manuálnych postupov a zníženie chýb [21].

Centrálny WMS začína pracovať už pri príchode tovaru do skladu. Zamestnanci alebo automatizované zariadenia skenujú produkty na príjmovej rampe a okamžite ich zaevidujú do databázy zásob. Po registrácii systém vyhodnotí najvhodnejšie skladové umiestnenie pre každú položku s ohľadom na rozmery, hmotnosť a frekvenciu dopytu.

Po prijatí zákazníckych objednávok WMS identifikuje najefektívnejšiu trasu vychystávania a prideli úlohu pracovníkovi, prípadne určí, ktoré materiály sa majú automaticky vychystať z G2P. Následne dohliada na pohyb položky v rámci prevádzky tak, aby bola manipulácia plynulá. Táto koordinácia zlepšuje tok materiálu, minimalizuje nesprávne umiestnené zásoby a znižuje riziko oneskorení pri expedícii.

Okrem toho WMS poskytuje detailné dáta v reálnom čase, ktoré zabezpečujú úplnú viditeľnosť naprieč celým procesom distribúcie. Analytické funkcie pomáhajú podnikom predikovať dopyt a proaktívne riešiť možné narušenia dodávateľského reťazca. Vďaka tomu môžu distribučné centrá prispôsobiť kapacitu požiadavkám zákazníkov pri zachovaní vysokej úrovne prevádzkovej výkonnosti. [1]

4 Automatizácia a kontrolné systémy (WCS / WES)

Kontrolné systémy môžeme rozdeliť na dva typy:

- systém kontroly skladu (Warehouse Control System - WCS): priamo riadi dopravníky, triediče a systémy G2P.
- systém realizácie skladu (Warehouse Execution System - WES): koordinuje skladové operácie v reálnom čase a často slúži ako most medzi WMS a WCS.

Tabuľka 1 – Funkcionality WCS

Funkcionalita	Stručný popis	Citácie
Prepojenie zariadení	Dopravníky, triediče, G2P, roboty, PLC	[22]
Zber dát v reálnom čase	Zbiera stavy, poruchy a senzorické dáta zo zariadení	[22]
Vykonávanie toku materiálu a smerovanie	Vydáva príkazy na smerovanie, odklonenie, spustenie/zastavenie	[22]
Monitoring a vizualizácia	Zobrazuje stav zariadení, alarmy a dashboardy priepustnosti	[22]
Distribúcia úloh z nadriadených systémov	Prekladá direktívy WMS/WES do inštrukcií na úrovni zariadenia	[22]

Zdroj: Vlastné spracovanie

WCS predstavuje riadiacu vrstvu na úrovni zariadení, ktorá sa priamo pripája na dopravníky, triediče, AGV a G2P, zbiera stavové dáta v reálnom čase a vykonáva príkazy pre tok materiálu. Medzi jej jadrové funkcie patrí integrácia zariadení, zber dát, vykonávanie a riadenie toku materiálu a monitoring zariadení v krátkych časových intervaloch blízkych reálnemu času [22].

WES nadväzuje na WCS a WMS a pripravuje tok práce vo vysoko automatizovaných distribučných centrách s veľkým počtom malých a časovo kritických objednávok. WES sa zameriava na optimalizáciu zdrojov a predchádzanie zápcham dynamickým plánovaním úloh tak, aby sa automatizácia, pracovná sila a zásoby využívali efektívne a zároveň sa plnili prísne časové okná. V praxi WES často prináša vyššiu logiku (napr. uvoľňovanie objednávok, vyrovňovanie záťaže, analytiku výkonu), pričom sa spolieha na WCS pri nízkoúrovňovom riadení zariadení [24]. Spolu tvoria vrstvený riadiaci systém, ktorý prepája strategické plánovanie vo WMS s vykonaním v reálnom čase [22]. V mnohých firmách sú WCS a WES spojené do jedného riešenia na zjednodušenie integrácie pod jednotným názvom WCS.

Tabuľka 2 – Funkcionality WES

Funkcionalita	Stručný popis	Citácie
Uvoľňovanie objednávok a práce	Rozhoduje, kedy a ako sa objednávky/úlohy uvoľnia na halu	[24]
Optimalizácia zdrojov a zápch	Vyrovnáva využitie práce, automatizácie a bufferov, aby sa predišlo úzkym miestam	[24]
Dynamická prioritizácia úloh a smerovanie	Určuje prioritu úlohy podľa termínu, dohody o službách a stavu systému	[24]
Koordinácia WMS a WCS	Prepája logiku zásob/objednávok (WMS) s riadením zariadení (WCS)	[24]
Monitoring výkonu a analytika	Sleduje priepustnosť, využitie a úrovne služby pre zlepšovanie	[24]

Zdroj: Vlastné spracovanie

4.1 Komunikácia s G2P

1. Vstup úloh z WMS. WMS zadáva úlohy vyššej úrovne, napr. „vzdvihni SKU X a doruč ju na stanovisko S“ alebo „ulož prepravku T“ [26].
2. Dekompozícia úloh vo WCS:
 - WCS rozkladá každú úlohu na čiastkové úlohy špecifické pre zariadenia:
 - G2P robot vyzdvihne alebo uloží prepravku v sklade,
 - dopravníky nasmerujú prepravky na správne pracovisko,
 - mobilné roboty presúvajú prepravky k pracovisku [25].
 - Vytvára poradie úloh tak, aby vyrovnal zaťaženie a predchádzal úzkym miestam [26].
3. Komunikácia na úrovni zariadení
 - WCS posiela príkazy štart/stop a smerovanie do programovateľného logického ovládača (Programmable Logic Controller – PLC) a prijíma stav (polohu, dokončenie, chybové kódy) cez priemyselné komunikačné protokoly [22].
4. Monitoring v reálnom čase a riešenie výnimiek
 - dáta zo senzorov, RFID a sledovania vstupujú do WCS (často cez IoT architektúru), čo umožňuje kontinuálnu viditeľnosť položiek, prepraviek a zariadení [22].
 - pri zaseknutiach, poruchách alebo plných bufferoch WCS presmeruje tok, prideli úlohy alebo vyhlási alarm operátorom [22].
5. Spätná väzba do WMS
 - Keď je prepravka privedená na G2P pracovisko alebo z neho odobratá, WCS potvrdí dokončenie, aby WMS mohol aktualizovať zásoby a stav objednávky [22].

4.2 WCS komunikácia s dopravníkmi

WCS riadi a komunikuje s dopravníkovými systémami ako koordinátor v reálnom čase, ktorý spravuje tok materiálu, stav zariadení a vykonávanie úloh. WCS prijíma úlohy vyššej úrovne z WMS alebo WES (napr. presun produktu na konkrétne miesto) a prekladá ich do detailných príkazov pre dopravníky a triediče [27]. Do PLC posiela signály štart/stop, smerovanie a riadenie rýchlosti, pričom PLC priamo ovláda motory a akčné členy dopravníka, často cez priemyselné komunikačné protokoly [28].

WCS priebežne monitoruje senzorické dáta (polohové senzory, detekcia zaťaženia, chybové hlásenia), aby sledoval pohyb produktu a „zdravie“ zariadenia v reálnom čase. Pri výnimkách (zaseknutie, preťaženie) WCS dynamicky presmeruje položky alebo pozastaví dopravníky, aby zabránil poškodeniu a udržal priepustnosť [28]. Nakoniec poskytuje spätnú väzbu nadriadeným systémom o dokončení úloh a aktualizuje stav zásob, čím zabezpečuje synchronizovanú prevádzku skladu [27].

5 BLACK / GREY / WHITE BOX SOFTVÉROVÉ RIEŠENIA PRE WCS

Pochopenie rozdielov medzi black, grey a white box softvérovými riešeniami je kľúčové pri návrhu a integrácii WCS, najmä z pohľadu transparentnosti, prispôbitelnosti a komunikácie s ostatnými systémami.

Tabuľka 3 – Porovnanie troch riešení

Vlastnosť	Black box	Grey box	White box
Prístup ku kódu	Žiadny	Čiastočný	Plný
Prispôbenie	Veľmi obmedzené	Stredné	Neobmedzené
Podpora dodávateľa	Silná	Rôzna	Často žiadna
Zodpovednosť	Dodávateľ	Zdieľaná	Spoločnosť
Riziko	Nízke	Stredné	Vysoké
Vhodné pre	Jednoduchosť	Flexibilita s podporou	Plná kontrola
Transparentnosť	Nízke	Stredné	Vysoké

Zdroj: Vlastné spracovanie

5.1 Black box

Black box systémy fungujú so „skrytými“ internými mechanizmami. Dodávateľ technológie G2P prevezme celkové riadenie a jeho riadiaci systém priamo komunikuje s WMS. Viditeľný je predovšetkým vzťah vstup–výstup. Často je dátovo orientovaný a pri modelovaní správanie systému využíva štatistické metódy alebo metódy strojového učenia.

Takéto riešenia sa zvyčajne nasadzujú jednoduchšie a ľahšie sa prispôbujú novým dátam, no majú nízku transparentnosť, čo sťažuje riešenie problémov aj integráciu s inými systémami. Komunikácia s inými systémami býva obmedzená na vopred definované rozhrania a interné rozhodovanie sa spravidla nedá jednoducho auditovať ani upravovať [29]. Medzi kľúčové vlastnosti patria:

- uzavretý zdroj,
- bez prístupu k internému kódu alebo logike,
- interakcia prebieha cez preddefinované rozhrania (napr. API alebo UI),
- veľmi obmedzené prispôbenie – potrebné schválenie dodávateľa.

Plusy

- jednoduché používanie a údržba,
- dodávateľ berie plnú zodpovednosť,
- potrebný nižší level technických zručností.

Mínusy

- limitovaná flexibilita,
- nie je možné opravovať chyby vlastnými silami,
- môže sa horšie integrovať s inými systémami,
- vyššia komplexnosť pri viacerých projektoch [29].

5.2 Grey box

Grey box prístup kombinuje prvky white aj black box modelov. Využíva čiastočné fyzikálne / prevádzkové poznanie (z white box prístupov) a dopĺňa ho dátovo orientovanými komponentmi (z black box prístupov). Tento hybridný prístup vyvažuje interpretovateľnosť a prispôsobiteľnosť, vďaka čomu je vhodný pre komplexné skladové prostredia, kde je časť znalostí o systéme dostupná, ale nie úplná. Grey box model môže zlepšiť presnosť odhadu a výkon systému a zároveň si zachovávať určitú mieru vysvetliteľnosti a flexibility [30]. Tieto dve časti patria medzi kľúčové vlastnosti:

- čiastočná viditeľnosť – WCS preberá viaceré funkcie,
- časť kódu alebo konfigurácie je možné meniť, iné časti sú uzamknuté.

Plusy

- rovnováha medzi flexibilitou a podporou,
- dodávateľ môže poskytnúť prispôbovanie,
- vhodné pre zložité pracovné postupy bez nutnosti úplného prepisovania kódu.

Mínusy

- stále existujú limity toho, čo sa dá zmeniť,
- prispôbovanie môže byť citlivé počas aktualizácii.

5.3 White box

White box prístup je plne transparentný – interná logika, algoritmy a dátové toky sú dostupné a vychádzajú z detailného poznania fyzických procesov. Umožňujú vysvetliteľné, interpretovateľné a modifikovateľné riadenie, preto sú vhodné tam, kde je potrebná hlboká integrácia a vysoká miera prispôsobenia. Nevýhodou je, že často vyžadujú výrazné expertné znalosti a vývojové úsilie a pri zmenách podmienok môžu byť menej adaptívne bez manuálnych úprav [29]. Kľúčovými vlastnosťami sú:

- open-source alebo plne prístupný kód,
- interné fungovanie softvéru je možné upravovať,
- vysoká flexibilita a prispôsobiteľnosť.

Plusy

- plná kontrola nad funkcionalitou a správaním,
- ľahšie hĺbkové integrácie,
- možné optimalizovať podľa špecifických potrieb.

Mínusy

- vyžaduje si skúsených vývojárov,
- zodpovednosť za chyby, aktualizácie a bezpečnosť je na strane firmy; dodávatelia G2P v tomto prípade dodávajú iba technológiu,
- vyššia počiatočná zložitosť.

Neexistuje jediný a najlepší prístup. Každá firma sa rozhodne, ktorý z troch uvedených prístupov zvolí v rámci svojej softvérovej stratégie podľa možnosti. V bežnej praxi je aj často viditeľné, že firmy si volia prístup podľa použitej technológie alebo krajiny implementácie. Je taktiež možné, že majú viaceré implementované riešenia v rámci jednej technológie.

Napríklad firma Z má vytvorený vlastný WCS systém, ktorý je možno integrovať s ktoroukoľvek G2P technológiou a momentálne už má vytvorenú API komunikáciu s jednou z nich. Jej stratégia je bežne využívať Grey box a mať celkové toky pod svojou kontrolou. Firma chce implementovať novú technológiu v Ázii, kde ale nemá základňu s developermi a implementácia a následný podpora by bola veľmi náročná. Firma sa môže stále rozhodnúť pre Grey box ale z pohľadu času a financií potrebných na takúto implementáciu sa rozhodne pre Black box riešenie. V budúcnosti plánuje vybudovať potrebné oddelenie a zmeniť typ WCS tak, aby spĺňal celkovú stratégiu firmy.

Pri riešení, aký typ WCS sa využije ide v praxi vždy o strategické rozhodnutia manažmentu. Toto by ale nemalo mať vplyv na plánovaný typ G2P. A vždy by mala zostať možnosť implementácie najvhodnejšej technológie z technického, technologického, personálneho a finančného pohľadu.

6 Záver

Predložený článok ukázal, že softvéri predstavujú rozhodujúci prvok úspešnej automatizácie skladovej logistiky. Hoci technológie typu G2P prinášajú výrazné zlepšenie v oblasti priepustnosti, redukcie chôdze a znižovania chybovosti, ich reálny prínos je podmienený kvalitným riadením a koordináciou prostredníctvom systémov WMS a WCS. Práve tieto systémy zabezpečujú prepojenie objednávok, zásob, zariadení a operácií do jedného funkčného celku, ktorý umožňuje efektívne vykonávanie logistických a obehových procesov v reálnom čase.

Analýza zároveň potvrdila, že výber vhodného softvérového prístupu nemožno vnímať izolovane od technológie, prostredia podniku a jeho strategických cieľov. Rozdiely medzi black box, grey box a white box riešeniami ukazujú, že rozhodovanie o architektúre WCS má priamy vplyv na mieru flexibility, možnosti integrácie, úroveň kontroly aj zodpovednosť za prevádzku systému. Úspešná implementácia preto vyžaduje nielen technické posúdenie zariadení, ale aj zohľadnenie softvérovej otvorenosti, budúcej škálovateľnosti a nárokov na interné kompetencie podniku.

Možno konštatovať, že automatizácia skladovej logistiky musí byť chápaná ako komplexný systém, v ktorom technológia a softvér tvoria neoddeliteľný celok. Výsledky článku tak potvrdzujú, že softvérová podpora nie je iba doplnkom automatizácie, ale jej základným predpokladom. Do budúcnosti preto zostáva dôležitou úlohou ďalej rozvíjať integráciu riadiacich systémov, ich flexibilitu a schopnosť reagovať na meniace sa podmienky logistickej praxe.

7 Literatúra

- [1] GONG, CH. Advancing operational efficiency in the logistics industry: The role of Logistics Information Systems (LIS). *Advances in Economics, Management and Political Sciences*. 2025. Vol. 167, no. 1, p. 34–40. [cit. 2026-05-24]. Dostupné na internete: <<https://doi.org/10.54254/2754-1169/2025.21167>> DOI: 10.54254/2754-1169/2025.21167.
- [2] STANISŁAWSKI, R. - SZYMONIK, A.. Impact of selected Intelligent Systems in logistics on the creation of a sustainable market position of manufacturing companies in Poland in the context of industry 4.0. *Sustainability*. 2021. Vol. 13, no. 7, p. 3996. [cit. 2026-05-24]. Dostupné na internete: <<https://doi.org/10.3390/su13073996>> DOI 10.3390/su13073996.
- [3] SON, D.W. - CHANG, Y.S. - KIM, W.R. Design of warehouse control system for real time management. In *IFAC-PapersOnLine* . 2015. Vol. 48, no. 3, s. 1434–1438. [cit. 2026-05-31]. Dostupné na internete: <<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.288>> DOI 10.1016/j.ifacol.2015.06.288
- [4] UYEN, H. - TUAN, N. NGUYEN. Analysis of the development of Warehouse Execution Systems (WES) in Warehouse Management. *Journal of Science and Development Economics*. 28 October 2025. No. 37, p. 173–177. [cit. 2026-05-31]. Dostupné na internete: <<https://doi.org/10.64632/jsde.37.2025.611>> DOI 10.64632/jsde.37.2025.611.
- [5] AZADEH, K. - DE KOSTER, R. - ROY, D. Robotized and Automated Warehouse Systems: Review and recent developments. In *Transportation Science* . 2019. Vol. 53, no. 4, s. 917–945. [cit. 2026-05-31]. Dostupné na internete: <<https://doi.org/10.1287/trsc.2018.0873>> DOI 10.1287/trsc.2018.0873.
- [6] BOYSEN, N. - KOSTER, R. DE - WEIDINGER, F. Warehousing in the e-commerce era: A survey. In *European Journal of Operational Research* . 2019. Vol. 277, no. 2, s. 396–411. [cit. 2026-06-02]. Dostupné na internete: <<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.08.023>> DOI 10.1016/j.ejor.2018.08.023.
- [7] YASEEN, A. - KALYAN, B.S. PLC/SCADA based product sorting and Logistics Warehouse Handling Automation. In *2022 International Conference on Recent Trends in Microelectronics, Automation, Computing and Communications Systems (ICMACC)* . 2022. s. 1–6. [cit. 2026-06-02]. Dostupné na internete: <<https://doi.org/10.1109/icmacc54824.2022.10093675>> DOI 10.1109/icmacc54824.2022.10093675.
- [8] SIKI, R. - GAWRON, E. - ROGALEWICZ, M. Optimization of the conveyor line system using computer simulation on the example of a modern warehouse. In *Advances in Science and Technology Research Journal* . 2023. Vol. 17, no. 1, s. 304–314. [cit. 2026-06-02]. Dostupné na internete: <<https://doi.org/10.12913/22998624/159103>> DOI 10.12913/22998624/159103.
- [9] BOOS, E. - MÄLZER, M. - CONRAD, F. - WIEMER, H. - IHLENFELDT, S. An engineer-friendly terminology of white, black and grey-box models. In *Proceedings of the 13th International Conference on Model-Based Software and Systems Engineering* . 2025. s. 313–320. [cit. 2026-06-02]. Dostupné na internete: <<https://doi.org/10.1038/s41598-024-67259-4>> DOI 10.5220/0013361400003896.

VPLYV G2P NA CHYBOVOSŤ, OPTIMALIZÁCIU ĽUDSKÝCH ZDROJOV A ENERGIE

Autori:

Matúš LAURENČÍK ¹

Tituly a pôsobisko autorov:

¹Ing. Matúš Laurenčík, 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: laurencik8@stud.uniza.sk

Abstrakt: Článok analyzuje vplyv systémov tovar k osobe (G2P) na chybovosť vychystávania, optimalizáciu ľudských zdrojov a spotrebu energie v skladovej logistike. Na základe syntézy odbornej literatúry a logiky skladových procesov porovnáva manuálne vychystávanie s automatizovaným riešením. Výsledky poukazujú na to, že implementácia G2P významne znižuje logické chyby a poškodenia súvisiace s manipuláciou, skracuje čas chôdze pracovníkov a zvyšuje produktivitu práce. Súčasne však zavádza nové prevádzkové riziká, najmä v oblasti konfigurácie systému, zlyhania softvéru a ergonomickej záťaže na stacionárnych pracoviskách. Z energetického hľadiska článok ukazuje, že G2P systémy síce zvyšujú absolútnu spotrebu elektrickej energie, no pri vhodnom návrhu procesu dokážu znížiť spotrebu energie na spracovanú objednávku. Vedeckým výstupom článku je ucelené zhodnotenie troch rozhodujúcich oblastí vplyvu G2P – kvality, práce a energie, ktoré môžu slúžiť ako podpora pri rozhodovaní o vhodnosti implementácie automatizácie.

Kľúčové slová: G2P, skladová logistika, automatizácia, logistické procesy, chybovosť, ľudské zdroje

JEL: L91, M11, O33

IMPACT OF G2P ON ERROR RATE, HUMAN RESOURCES OPTIMIZATION AND ENERGY

Abstract: The article analyses the impact of Goods-to-Person (G2P) systems on picking error rate, human resources optimization and energy consumption in warehouse logistics. Based on a synthesis of academic literature and warehouse process logic, it compares manual picking with automated solutions. The results indicate that G2P implementation significantly reduces logical errors and handling-related damage, shortens workers' walking time and improves labour productivity. At the same time, automation introduces new operational risks, particularly in system configuration, software failure and ergonomic strain at fixed workstations. From an energy perspective, the article shows that although G2P systems increase absolute electricity consumption, they can reduce energy consumption per processed order when the process is properly designed. The scientific contribution of the article lies in an integrated assessment of three key impact areas of G2P – quality, labour and energy – which can support decision-making on the suitability of automation implementation.

Keywords: G2P, warehouse logistics, automation, logistics processes, error rate, human resources

1 Úvod

Automatizácia skladovej logistiky sa v posledných rokoch stala jednou z najvýznamnejších odpovedí podnikov na rastúce požiadavky trhu, nedostatok pracovnej sily a tlak na vyššiu kvalitu logistických služieb. Výrazne sa táto potreba prejavuje pri vychystávaní objednávok, ktoré patrí medzi najnáročnejšie procesy z hľadiska potreby pracovného času, podielu neproduktívnych presunov a miery chybovosti. V prostredí

rastúcich objemov a vyššej variability objednávok preto podniky čoraz častejšie využívajú technológie typu tovar k osobe (G2P), ktoré menia tradičný model práce tým, že tovar automaticky dopravujú k pracovníkovi.

Cieľom článku je analyzovať vplyv G2P na tri oblasti, ktoré sú pre skladovú prevádzku kľúčové: kvalitu procesu vyjadrenú chybovosťou, využitie ľudských zdrojov a energetickú náročnosť prevádzky. Pozornosť sa sústreďuje na porovnanie manuálneho a automatizovaného vychystávania, na identifikáciu hlavných prínosov a rizík automatizácie a na posúdenie toho, za akých podmienok môže byť G2P technológia prínosom pre podnik. Prínos článku spočíva v prepojení kvalitatívneho, personálneho a energetického pohľadu do jedného rámca, ktorý môže podporiť rozhodovanie o vhodnosti automatizácie v skladovej logistike.

2 Manuálne procesy vychystávania

Článok sa zameriava na problematiku implementácie automatizácie pre proces vychystávania v skladovej logistike z viacerých pohľadov. Tento proces je štandardne braný ako najkritickejší z pohľadu efektivity a najnáročnejší na potrebu pracovných síl. Preto existuje možnosť ho optimalizovať a automatizovať.

Štandardne v skladoch nájdeme veľké množstvo manuálnych procesov, ktoré samé o sebe nie sú obmedzujúce. Pretože vo viacerých prípadoch prinášajú podnikom flexibilitu alebo ich nie je možné nahradiť efektívne automatizáciou. Tie ale taktiež prinášajú viaceré riziká. Cieľom väčšiny podnikov nie je nasadiť a využívať takzvané čierne sklady bez obsluhy ale nájsť najefektívnejší štíhly proces na prevádzku skladu.

Takmer väčšina manuálnych procesov vychystávania sa riadi zhruba porovnateľným pracovným postupom. Najprv sa objednávky uvoľnia a prevedú na úlohy vychystávania prostredníctvom prevádzkových rozhodnutí, ako sú dávkovanie, určovanie zón a smerovanie. Pokyny na vychystávanie sa potom vydávajú pomocou zvolenej metódy navádzania napr. papierové zoznamy, RF terminály, vychystávanie svetlom, vychystávanie hlasom, atď. Pracovník sa presunie na skladovacie miesta, identifikuje správny zásobník a skladovú jednotku, extrahuje požadované množstvo a umiestni položky do kontajnera na objednávky alebo konsolidačného zariadenia. Nakoniec sa položky zlúčia a prenesú sa ďalej na balenie, overenie a odoslanie [1].

Hlavným dôvodom pomalého manuálneho vychystávania je značná nehodnotná spotreba času a to najmä chôdza a vyhľadávanie, a preto sa akademická literatúra vo veľkej miere zameriava na znižovanie chôdze prostredníctvom návrhu lepšieho plánu skladu, pridelovania zón v rámci skladu a optimalizácie trasy. V manuálnych systémoch sa čas, ktorý pracovníci potrebujú na presun medzi lokalitami, tiež opisuje ako nepredvídateľný, čo prispieva k variabilite priepustnosti a náročnosti plánovania [1].

2.1 Chybovosť pri vychystávaní

Manuálny proces prináša zároveň viacero opakujúcich sa chýb, ktoré boli popísané výskumami v tejto oblasti. V skladovej logistike je chybovosť braná veľmi vážne. Či už ide o B2B alebo B2C proces, zákazníci chcú mať dodané to čo si objednali. Príkladom môžu byť 3PL poskytovatelia, ktorým ich zákazníci stanovujú chybovosť ako kľúčový ukazovateľ výkonnosti. Bežne sa uvádza cieľová hodnota pod jedno percento.

Hlavné chyby, ktoré môžu nastať počas manuálneho procesu sú definované takto:

- nesprávne položky - výber nesprávneho produktu často kvôli podobným skladovým jednotkám blízko seba alebo nedostatočnému overeniu počas vychystávania,
- nevychystané položky - chýbajúci riadok objednávky často zistené až po skončení vychystávania,

- nesprávne množstvo - vychystávanie príliš veľkého alebo príliš malého množstva jednotiek,
- poškodené položky - chyby pri plnení objednávok môžu zahŕňať poškodené položky, čo spôsobuje náklady na manipuláciu s vrátením tovaru a prepracovanie [2].

2.2 Makroekonomický pohľad

Pri plánovaní skladov hrajú neefektívnosť a chybovosť veľkú rolu. Hlavne v Európskej únii, kde sa posledných niekoľko rokov vytvára čoraz väčší tlak na pracovnú silu a zefektívňovanie všetkých procesov. Náklady na prácu v Európskej únii zaznamenali v posledných rokoch trvalý rastúci trend, ktorý bol poháňaný makroekonomickými faktormi, ako je inflácia, nedostatok pracovných síl a úpravy miezd vyvolané politikou. Podľa analýz Eurostatu sa hodinové náklady práce v EÚ v roku 2025 medziročne zvýšili približne o 4,1 %, pričom podobný rast bol zaznamenaný v mzdových aj nemzdových zložkách. Tento trend ale nie je vo všetkých členských štátoch únie jednotný. Zatiaľ čo vyspelé ekonomiky ako Nemecko, Francúzsko a Holandsko vykazujú mierny nárast (približne 3 – 5 %), niekoľko krajín strednej a východnej Európy hlási výrazne vyššie tempo rastu presahujúce 8 – 13 % [3].

Trend tohto typu ukazuje, že automatizácia a to hlavne pre najintenzívnejšie procesy na pracovnú silu ako je vychystávanie a balenie sa začala uplatňovať nielen v krajinách ako je Nemecko ale taktiež Poľsko alebo Slovenská republika.

Zvýšenie nákladov na pracovnú silu úzko súvisí so štrukturálnym nedostatkom pracovnej sily pozorovaným v krajinách EÚ. Správy Európskeho orgánu práce identifikujú rozsiahly nedostatok pracovných síl vo všetkých odvetviach vrátane dopravy, skladovania a povolanií súvisiacich s logistikou. Tento nedostatok je spôsobený viacerými dlhodobými faktormi, ako je starnutie obyvateľstva, nesúlad medzi ponúkanými a požadovanými zručnosťami a neatraktívne pracovné podmienky vo fyzicky náročných pracovných miestach [4].

3 Chyby pri vychystávaní – vplyv automatizácie

Ako bolo uvedené na začiatku článku, manuálne procesy prinášajú viaceré opakujúce sa chyby, ktoré znižujú efektívnosť vychystávania, zhoršujú kvalitu služieb a vedú k finančným stratám.

Implementáciou systémov tovar k osobe (goods-to-person G2P) je možné väčšinu z nich zásadne zredukovať alebo úplne odstrániť. Medzi tieto chyby hlavne patria:

- zníženie poškodenia súvisiaceho s manipuláciou – ide hlavne o fyzické poškodenia spôsobené manuálnou prepravou a frekvenciou manipulácie. To vedie k stabilnejším podmienkam manipulácie a zníženiu vystavenia fyzickým otrasom. Štúdie automatizovaných systémov naznačujú zlepšenú konzistenciu procesov a zníženú manuálnu variabilitu, čo znižuje pravdepodobnosť poškodenia,
- zníženie logických chýb – G2P systémy využívajú overovanie čiarovými kódmi, systémom riadené vychystávanie, overenie v reálnom čase. Tieto mechanizmy výrazne zlepšujú presnosť, pričom výskum ukazuje zníženie chýb pri výbere približne o 30 % alebo viac [5].

Na druhej strane automatizácia môže priniesť nové riziká, ktoré sa s ňou spájajú. Ku nim patria hlavne tieto tri body:

- poškodenie pri automatizovanej preprave (napr. kolízie dopravníkov),
- chyby konfigurácie systému,
- zlyhania softvéru alebo riadenia.

Okrem toho výkon silne závisí od koordinácie systému a rozhodovacích algoritmov, čo znamená, že zle nakonfigurované systémy môžu stále generovať chyby.

Keďže pracovníci obsluhujúci G2P majú svoje dedikované pozície, kde strávia aj celú zmenu, môže nastať opakujúca sa ergonomická záťaž. Systémy G2P eliminujú chôdzu, ale zintenzívňujú opakovanie. Pracovníci vykonávajú stovky opakovaní za hodinu a tým sa zvyšujú sa opakované pohyby hornej časti tela. Výskum ukazuje, že môže mať vplyv na dlhodobú presnosť a nepriamo viesť k chybám. [6] Preto sa väčšina dodávateľov týchto systémov zameriava na zvyšovanie ergonomie na staniciach vychystávania. A taktiež z operatívneho hľadiska sa firmy snažia rotovať pracovníkov počas dňa.

Všetky tieto body nám naznačujú, že ani jeden z procesov či už manuálny alebo automatický sa nevyhne istým chybám. Pri plánovaní G2P je nevyhnutné poznať aj ich riziká a určiť pravdepodobnosť ich výskytu. Vo všeobecnosti platí, že pri automatizácii dochádza k nižšiemu počtu kvalitatívnych chýb, čo vedie k vyššej spokojnosti zákazníkov.

Chybovosť a riziká spojené s G2P by mali byť jedným z bodov rozhodovacieho procesu pri vyhodnocovaní vhodnosti týchto technológií pre firmu.

4 Optimalizácia ľudských zdrojov

Vychystávanie je všeobecne uznávané ako najnáročnejšia činnosť v skladových operáciách, ktorá predstavuje až 50 – 55 % celkových prevádzkových nákladov na pracovnú silu. V dôsledku toho sa optimalizácia ľudských zdrojov stala ústredným cieľom vo výskume v oblasti návrhu a automatizácie skladov. Systémy G2P sa zameriavajú na zlepšenie využitia pracovnej sily elimináciou úloh, ktoré neprinášajú pridanú hodnotu, ako je cestovanie a vyhľadávanie.

Empirické štúdie ukazujú, že okolo 55 % času pri manuálnom vychystávaní je strávených na chôdzu a iba okolo 10 % času je strávený samotným vychystávaním [7]. Táto neefektívnosť vedie k:

- nízkej produktivite práce,
- vysokým nárokom na počet pracovníkov,
- zvýšeniu rizika únavy a zranenia pracovníkov.

Z ergonomie predstavuje manuálne vychystávanie vysokú fyzickú záťaž vrátane zdvíhania, ohýbania a chôdze, čo môže viesť k poruchám pohybového aparátu a zníženiu dlhodobej produktivity.

Systémy G2P zásadne menia využitie pracovnej sily odstránením času cestovania a automatizáciou vyhľadávania položiek. Zásoba je prístupná stacionárnym pracovníkom. Chôdza, vyhľadávanie a navigácia sú do značnej miery eliminované.

Namiesto úplného odstránenia pracovných síl G2P transformujú úlohu ľudských pracovníkov z časti na efektívnejšie pracovné pozície z manuálneho vychystávania na prevádzku a dohľad nad systémom alebo taktiež na činnosti s pridanou hodnotou (kontrola kvality, balenie).

Výskum ukazuje, že automatizácia umožňuje zlepšenie produktivity pracovnej sily, využitie zručností s vyššou hodnotou a zavedenie technických rolí. Toto je v súlade so zisteniami, že spolupráca človeka a robota často prináša lepšie výsledky ako čisto manuálne systémy. [8]

V tabuľke nižšie je popísané kvantitatívne porovnanie produktivity práce medzi manuálnym procesom vychystávania a G2P.

Tabuľka 4 - Kvantitatívne porovnanie produktivity práce

Kľúčový ukazovateľ	Manuálne vychystávanie	G2P
Vychyst. / hodinu	60-120	200-600
Pomer času chôdze	okolo 55 %	0-10 %
Potreba pracovníkov	vysoká	redukcia 50-70 %
Produktivita práce	nízka-stredná	vysoká
Náklady na prácu a obj.	vysoká	nižšia
Fyzická záťaž	vysoká	znížená

Zdroj: Vlastné spracovanie

Z tabuľky je viditeľné, že potenciál optimalizácie ľudských zdrojov prostredníctvom implementácie G2P je vysoký z teoretického hľadiska. Do úvahy ale musia byť brané aj iné technické, technologické, procesné a finančné faktory. Z pohľadu plánovania logistiky sa berie optimalizácia ľudských zdrojov len ako jeden z faktorov vyhodnocovania vhodnosti G2P.

5 Spotreba energie

Spotreba energie sa stala čoraz dôležitejším aspektom výkonnosti v skladových operáciách, najmä v kontexte udržateľnosti, nákladovej efektívnosti a environmentálnych predpisov. Tradične sa systémy manuálneho vychystávania spoliehajú predovšetkým na mechanickú energiu človeka, zatiaľ čo systémy G2P zavádzajú elektricky poháňané automatické technológie.

Z akademického hľadiska si hodnotenie spotreby energie vyžaduje prístup na úrovni systému, ktorý zohľadňuje:

- výdaj ľudskej energie,
- spotrebu energie strojov (systémy GTP),
- efektívnosť procesu a skrátenie času.

5.1 Výdaj ľudskej energie (manuálne vychystávanie)

Manuálne vychystávanie sa spolieha prevažne na ľudskú prácu, čo znamená, že vstup energie je primárne biomechanický. Výskum v oblasti ergonómie a riadenia prevádzky ukazuje, že výdaj ľudskej energie sa výrazne zvyšuje s prejdenu vzdialenosťou a intenzitou chôdze.

Výskum založený na simulácii ukazuje, že spotreba energie pri manuálnom vychystávaní silne koreluje s prejdenu vzdialenosťou a nosením, pričom chôdza predstavuje energeticky najnáročnejšiu zložku procesu. [9]

5.2 Nepriama energetická neefektívnosť (manuálne vychystávanie)

Manuálne systémy tiež vytvárajú nepriamu energetickú neefektívnosť ako sú napríklad:

- dlhé časy spracovania (pomalé cykly vychystávania) - toto vedie napríklad k zvýšenej spotrebe elektrickej energie potrebné na osvetlenie a infraštruktúru ako sú počítače, skenery, atď.,
- neefektívne využitie priestoru - zvýšené potreby vykurovania / chladenia priestoru,
- spoliehanie sa na vysokozdvížne vozíky a pomocné zariadenia. [10]

5.3 Spotreba elektrickej energie pri G2P

Spotrebu elektrickej energie nie je možné generalizovať celkom na G2P ako celok pretože závisí od použitých čiastkových technológií v systéme ako sú napríklad roboty, dopravníky, zakladače, atď. Absolútna spotreba elektrickej energie pri G2P v porovnaní s manuálnym procesom je v zásade vyššia.

Vo všeobecnosti sa dá deklarováť, že G2P typu Shuttle alebo Miniload majú vyššiu spotrebu elektrickej energie voči Open Rack Shuttle alebo vrchom plneným G2P ako je napríklad AutoStore. Pretože využívajú viac technologických častí s vyššou spotrebou ako sú napríklad pri Shuttle výťahy. Druhé dva typy technológií využívajú len roboty ako také s batériami, ktoré sú pomerne úsporné a efektívne.

5.4 Efektívnosť procesu a skrátenie času

Napriek vyššej absolútnej spotrebe elektriny výskum naznačuje, že systémy G2P môžu znížiť celkovú spotrebu energie na spracovanú objednávku vďaka:

- skrátenému času spracovania,
- eliminácii redundantných pohybov,
- zvýšenej priepustnosti [11].

Automatizácia zlepšuje prevádzkovú efektívnosť, skracuje čas na úlohu a tým aj spotrebu energie na spracovanú jednotku. Štúdie ukazujú, že automatizované systémy výrazne zlepšujú efektívnosť a skracujú radikálne časy cyklov, čo nepriamo znižuje celkovú spotrebu energie systému na manipulovanú položku.

Z hľadiska systému je spotreba energie silne spojená s trvaním procesu a kratšie časy cyklov v systémoch G2P kompenzujú vyššiu okamžitú spotrebu energie.

Z ďalšieho pohľadu systémy G2P využívajú vertikálne skladovanie s vysokou hustotou, ktoré znižuje fyzickú veľkosť skladov vďaka zníženej zastavanej ploche budovy a tým sa aj znižujú požiadavky na vykurovanie, chladenie a osvetlenie. Pri viacerých G2P systémoch priamo v skladovej časti nemusí byť vôbec použité osvetlenie pre bežnú prevádzku.

Moderné systémy G2P zahŕňajú algoritmy optimalizácie v reálnom čase, energeticky efektívne smerovanie a vyvažovanie záťaže. Skladové systémy riadené umelou inteligenciou optimalizujú trasy pohybu a využitie systému, čím ďalej znižujú zbytočnú spotrebu energie.

6 Záver

Analýza potvrdila, že systémy G2P môžu významne ovplyvniť kvalitu a efektívnosť skladových procesov. V porovnaní s manuálnym vychystávaním prinášajú vyššiu presnosť, zníženie poškodenia pri manipulácii a lepšie využitie pracovného času vďaka eliminácii chôdze a vyhľadávania. Zároveň vytvárajú predpoklady na zníženie potreby pracovných síl a na premenu ich úloh smerom k dohľadu, kontrole a činnostiam s vyššou pridanou hodnotou. V energetickej oblasti článok ukazuje, že napriek vyššej absolútnej spotrebe elektriny môže automatizácia znížiť spotrebu energie na spracovanú objednávku v dôsledku kratších časov cyklu a vyššej priepustnosti.

Možno konštatovať, že vplyv G2P na chybovosť, ľudské zdroje a energiu musí byť posudzovaný komplexne. Reálny prínos automatizácie nevzniká len z technológie samotnej, ale zo správneho nastavenia procesov, pracovísk a riadenia systému. Výsledky článku preto podporujú názor, že rozhodovanie o implementácii G2P má vychádzať z kombinácie kvalitatívnych, prevádzkových a energetických ukazovateľov, aby bolo možné objektívne určiť vhodnosť automatizácie pre konkrétnu skladovú prevádzku.

7 Literatúra

- [1] KOSTER, R. DE - LE-DUC, T. - ROODBERGEN, K.J. Design and control of Warehouse Order Picking: A Literature Review. In *European Journal of Operational Research* . 2007. Vol. 182, no. 2, s. 481–501. DOI 10.1016/j.ejor.2006.07.009.
- [2] VIDOVIČ, E. - GAJŠEK, B. Analysing picking errors in vision picking systems. In *Logistics & Sustainable Transport* . 2020. Vol. 11, no. 1, s. 90–100. DOI 10.2478/jlst-2020-0006.
- [3] Hodinová mzda v EÚ sa v roku 2016 pohybovala od 12 do 57 eur. [online]. [cit. 2026-05-10]. Dostupné na internete: <<https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/ddn-20260331-2>>
- [4] Nedostatok a prebytok pracovnej sily v Európe. [online]. [cit. 2026-05-10]. Dostupné na internete: https://eures.europa.eu/living-and-working/labour-shortages-and-surpluses-europe_en
- [5] ŁOPUSZYŃSKI, M. - JANUSZ, K. - KARWAT, D. Comparative study of selected order-picking methods: Efficiency, ergonomics, and adaptation rate of new employees. In *Sensors* . 2025. Vol. 25, no. 3, s. 923. DOI 10.3390/s25030923.
- [6] LERHER, T. - EKREN, Y.B. - SARI, Z. Simulation analysis of shuttle based storage and retrieval systems. In *International Journal of Simulation Modelling* . 2015. s. 48–59. DOI 10.2507/ijimm14(1)5.281.
- [7] Tovar k osobe verzus osoba k tovaru: Ktorý model plnenia objednávok je pre vašu prevádzku ten správny? [online]. [cit. 10.05.2026]. Dostupné na internete: <https://peaklogix.com/goods-to-person-vs-person-to-goods-which-fulfillment-model-is-right-for-your-operation/>
- [8] KOSTER, R. DE - ROY, D. Research: Warehouse and Logistics Automation Works better with human partners. In *Harvard Business Review* [online]. 2024. [cit. 2026-05-12]. Dostupné na internete: <<https://hbr.org/2024/06/research-warehouse-and-logistics-automation-works-better-with-human-partners>>
- [9] STEINEBACH, T. - WAKULA, J. - DIEFENBACH, H. - GLOCK, C. - GROSSE, E. Ergonomic parameters considering physical workload for optimization models in manual order picking. In *AHFE International* . 2022. Vol. 63. DOI 10.54941/ahfe1002611.
- [10] CINAR, Z.M. - ZEESHAN, Q. Design and optimization of automated storage and retrieval systems: A Review. In *SpringerLink* [online]. 2021. [cit. 2026-06-04]. Dostupné na internete: <https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-76724-2_14>.
- [11] KIYONO, Y. - SUGINOUCHI, S. - MIZUYAMA, H. Modeling and simulation of SBSRS-based goods-to-person system. In *IFIP Advances in Information and Communication Technology* . 2025. s. 364–376. DOI 10.1007/978-3-032-03538-7_26.

VYUŽITIE FMDS PRI PLÁNOVANÍ PROTIPOŽIARNEJ OCHRANY V SKLADOCH

Autori:

Matúš LAURENČÍK ¹

Tituly a pôsobisko autorov:

¹Ing. Matúš Laurenčík, 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: laurencik8@stud.uniza.sk

Abstrakt: Článok sa zaoberá využitím údajových listov FM Global (FM Data Sheets – FMDS) pri plánovaní protipožiarnej ochrany v skladoch. Cieľom je vytvoriť prehľad najdôležitejších FMDS používaných pri skladovaní bežných komodít, nebezpečných látok a v automatizovaných skladovacích systémoch a poukázať na ich význam pri navrhovaní požiarnej bezpečnosti. Práca analyzuje vybrané FMDS zamerané na zápalné kvapaliny, aerosólové výrobky, lítiovo-iónové batérie, konvenčné skladovanie a automatizované skladové systémy a porovnáva ich praktickú využiteľnosť. Výstupom článku je zhrnutie hlavných princípov aplikácie FMDS v skladovej logistike a identifikácia ich významu pri rozhodovaní o vhodnom type skladovania, technológii a koncepte protipožiarnej ochrany. Vedeckým prínosom článku je syntéza technických odporúčaní FM Global do prehľadného rámca využiteľného pri plánovaní skladov a pri hodnotení limitov automatizovaných a konvenčných riešení z pohľadu ochrany majetku a kontinuity prevádzky.

Kľúčové slová: FMDS, FM Global, protipožiarňa ochrana, skladovanie, nebezpečné látky, ASRS, skladová logistika

JEL: L91, R41

USE OF FMDS IN PLANNING FIRE PROTECTION IN WAREHOUSES

Abstract: The article deals with the use of FM Global Data Sheets (FMDS) in planning fire protection in warehouses. The aim is to provide an overview of the most important FMDS applied to ordinary commodities, hazardous materials and automated storage systems, and to highlight their significance in fire protection design. The paper analyses selected FMDS related to flammable liquids, aerosol products, lithium-ion batteries, conventional storage and automated storage systems, and compares their practical applicability. The main outcome is a structured summary of the key principles of FMDS application in warehouse logistics and an identification of their importance for deciding on the appropriate storage type, technology and fire protection concept. The scientific contribution of the article lies in synthesizing FM Global technical guidance into a practical framework that can support warehouse planning and the assessment of limits of both automated and conventional storage solutions from the perspective of property protection and business continuity.

Keywords: FMDS, FM Global, fire protection, warehousing, hazardous materials, ASRS, warehouse logistics

1 Úvod

Protipožiarna ochrana patrí medzi rozhodujúce oblasti plánovania a prevádzky skladov, pretože skladové objekty koncentrujú vysoké hodnoty majetku, technologické zariadenia a často aj komodity s rozdielnou mierou požiarneho rizika. Zložitosť tejto problematiky sa ešte zvyšuje s rastúcou úrovňou automatizácie, vyššou hustotou skladovania a širším zastúpením nebezpečných látok, ako sú zápalné kvapaliny, aerosóly či lítiovo-iónové batérie. V takomto prostredí už nestačí vychádzať len zo všeobecných požiadaviek národných predpisov, ale je potrebné opierať sa aj o podrobné technické štandardy, ktoré zohľadňujú reálne správanie požiaru a možnosti jeho potlačenia.

Jedným z najvýznamnejších medzinárodne uznávaných rámcov v tejto oblasti sú údajové listy FM Global (FM Data Sheets – FMDS), ktoré poskytujú technické odporúčania orientované na ochranu majetku a kontinuitu prevádzky. Cieľom článku je poukázať na možnosti využitia FMDS pri plánovaní protipožiarinej ochrany v skladoch, identifikovať najdôležitejšie údajové listy používané v skladovej logistike a zhodnotiť ich praktický význam pri konvenčnom aj automatizovanom skladovaní. Prínos článku spočíva v zosumarizovaní FMDS do prehľadného rámca, ktorý môže pomôcť pri návrhu technických riešení a pri rozhodovaní o vhodnej forme skladovania z pohľadu požiarnej bezpečnosti.

2 Základné informácie k FM Global

Dve hlavné medzinárodne uznávané technické usmernenia zamerané na zvyšovanie protipožiarinej ochrany počas skladovania sú od inštitúcie NFPA a FM Global. NFPA zlepšuje bezpečnosť požiarov, zosúladienie s predpismi a prevádzkovú konzistentnosť. FM Global navyše zlepšuje ochranu majetku, znižuje riziko katastrofických strát a zaisťuje odolnosť na technickej úrovni. Spolu vytvárajú robustný a medzinárodne dôveryhodný rámec na ochranu ľudí, objektov a kontinuity podnikania pri skladovaní. Článok sa bude ďalej venovať hlavným údajovým listom spojených so skladovaním a nebezpečnými látkami od FM Global, keďže tie sú častejšie využívané v Európskej únii ako NFPA. Cieľom je vytvoriť jednotný a jednoduchý prehľad údajových listov najčastejšie využívaných v skladovej logistike a definovať ich využiteľnosť v praxi.

FM Global (Factory Mutual – poisťovňa-inžinierske štandardy) poskytuje inžinierske odporúčania zamerané na riziká majetku, známe ako FM Data Sheets alebo FM údajové listy (FMDS), ktoré sa celosvetovo používajú v poistených priemyselných prevádzkach na znižovanie rizika požiaru a veľkých škôd. Väčšina developerov skladov v Európe sa nimi riadi už vo fáze výstavby pri tvorbe konceptov požiarnej bezpečnosti; podobne aj hlavné poisťovne v Európe.

FMDS špecifikujú konštrukčné riešenia, dymovody, sprinklerovú ochranu, odvod tepla a dymu a klasifikácie komodít podľa nebezpečnosti. Štandardy FM Global sú poisťovne motivované, spravidla konzervatívnejšie než NFPA, a ich cieľom je minimalizovať škody na majetku, nielen chrániť život. Silné stránky FM Global spočívajú v inžinierskej hĺbke, výraznom zameraní na návrh potlačenia požiaru (požiariarne postrekovače, odvetranie, rozostupy) a v tom, že býva vyžadovaná pre prevádzky poistené cez FM Global.

3 Prehľad FMDS pre nebezpečné látky

3.1 FMDS 7-29 Skladovanie zápalných kvapalín v prenosných obaloch

Inžinierske usmernenie na prevenciu požiarov a veľkých majetkových škôd pri skladovaní zápalných (horľavých / zápalných) kvapalín v prenosných obaloch (napr. sudy, IBC kontajnery, bezpečnostné nádoby) v interiéri aj exteriéri [1]. Zápalné kvapaliny spôsobujú rýchlo sa rozvíjajúce požiare. FMDS 7-29 prevádza

vlastnosti kvapalín a typy obalov do praktických požiadaviek na dispozičné riešenie, záchyt únikov a ochranné opatrenia, ktoré môžu zabrániť katastrofickým stratám [1, 2].

Prehľad toho, čo údajový list pokrýva:

- ako posúdiť kvapaliny (vrátane atypických zmesí) a priradiť vhodný spôsob ochrany,
- požiadavky na konštrukciu a umiestnenie, odvodnenie a sekundárny záchyt, vetranie a poriadok v skladových priestoroch,
- kritériá pre prefabrikované budovy / skrinky používané na skladovanie horľavín. Detailné schémy sprinklerovej ochrany a separácie pre kovové obaly, veľkoobjemové nádoby a kompozitné IBC kontajnery schválené FM Global [1, 3].

3.2 FMDS 7-31 Skladovanie aerosólových výrobkov

Štandard FM Global pre skladovanie aerosólových výrobkov v skladoch, maloobchode a v automatizovaných systémoch skladovania a vyhľadávania (Automated Storage and Retrieval System ASRS) rieši aerosóly v kovových aj plastových obaloch a zahŕňa aj špeciálne prípady [1]. Aerosólové nádoby môžu rýchlo zintenzívniť požiar uvoľnením hnacieho plynu a javom prudkého vzletu alebo tryskania nádob. FMDS 7-31 poskytuje pravidlá návrhu sprinklerovej ochrany a dispozičného riešenia podľa klasifikácie, ktoré boli overené testovaním a sú zamerané na obmedzenie rastu požiaru. V údajovom liste sú pokryté hlavne tieto oblasti:

- klasifikácia aerosólových výrobkov podľa typu / veľkosti obalu (napr. do 1000 ml) a obsahu, s osobitnými kategóriami pre plastové aerosóly a kuchynské spreje,
- konštrukcia / umiestnenie, kontrola obsadenia a prevádzky, kontrola zdrojov zapálenia a požiadavky na školenia a ľudský faktor,
- ochranné schémy pre skladovanie v skladoch (regály, stohy), maloobchodné vystavenie a usmernenia špecifické pre ASRS,
- výskum FM naďalej spresňuje kategórie plastových s cieľom zosúladiť klasifikáciu s FMDS 7-31 a NFPA 30B [1, 4].

3.3 FMDS 7-112 Výroba a skladovanie lítiovo-iónových batérií

Komplexné usmernenie FM Global pre výrobné priestory a skladovanie lítiovo-iónových článkov, modulov, batérií a výrobkov, ktoré ich obsahujú. Rieši špecifické riziká tepelného úniku, opätovného vznietenia, požiaru a výbuchu. Incidenty Li-ion môžu mať vysokú energiu, dlhé trvanie a tendenciu k opätovnému vzplanutiu; FMDS 7-112 zhrňa aktuálny výskum a testovanie do praktických návrhov prevencie a zmierňovania na ochranu objektov a kontinuity podnikania. Tento údajový list pokrýva najmä:

- požiadavky na konštrukciu / umiestnenie a prevádzkové obmedzenia, vrátane vetrania a separácie batérií,
- stratégie ochrany pre oblasti formovania a starnutia vo výrobe,
- usmernenia pre doplnkové skladovanie hotových článkov / modulov / batérií a pre produkty so zabudovanými batériami v skladoch,
- kontext a priemyselné pozadie potvrdzujúce zámer a rozsah tohto údajového listu [1, 5].

4 Skladovanie tovaru

FM Global rozlišuje dva základné typy skladovania: skladovanie v ASRS (automatizované skladovanie) a klasické (konvenčné) skladovanie. Na tento účel FM Global vydalo dva kľúčové údajové listy.

FMDS 8-34 je orientovaný na ASRS riešenia a prispôsobuje požiaru ochranu automatizovaným systémom a konštrukcii kontajnerov a pri špeciálnych rizikách (napr. zápalné kvapaliny alebo lítiovo-iónové batérie) explicitne odkazuje na relevantné FMDS zamerané na nebezpečné látky [1].

FMDS 8-9 je základ pre konvenčný sklad, ktorý predstavuje hlavný návrhový prostriedok pre klasifikáciu komodít, dymovody (požiarné priestory v regáloch), odvetranie a sprinklerové koncepty pri neautomatizovanom skladovaní [1].

4.1 FMDS 8-9 Skladovanie komodít triedy 1, 2, 3, 4 a plastov

FMDS 8-9 je základný štandard FM Global na ochranu skladov, ktoré skladujú bežné komodity – celý rozsah tovarov triedy 1–4 a plastov – v regálových, stohovaných, paletových, policových a boxových usporiadaniach. Podrobne opisuje konštrukčné a lokalizačné prvky (napr. ochrana oceľových stĺpov, odvod tepla a dymu a použitie proti vetracích clôn), ktoré ovplyvňujú rast požiaru a účinnosť jeho potláčania.

Práce Gollner et al. (časť I a II) skúmajú skladové komodity z fundamentálnych princípov a ukazujú, že rozdiel medzi napríklad kartónom a plastovými komoditami nie je iba praktický, ale fyzikálne zásadný [6]

Definuje klasifikáciu nebezpečnosti komodít, požadované dymovody pre regálové skladovanie, kritériá pre palety a špeciálne podmienky skladovania tak, aby geometria uloženia podporovala výkon postrekovačov a nebránila mu. Zároveň poskytuje usmernenia, kedy použiť iba stropné postrekovače a kedy kombináciu stropných a regálových postrekovačov, vrátane rozostupov a kontinuity priestoru na spaliny podľa zvolenej schémy ochrany [1].

Keďže typ komodity, balenie a spôsob skladovania drasticky ovplyvňujú správanie požiarnikov, 8-9 premieňa tieto premenné na praktické pravidlá návrhu, ktoré včas reagujú na požiar a obmedzujú počet potrebných požiarnikov a znižujú straty majetku a prestoje v typických distribučných a výrobných skladoch [6, 7].

4.2 FMDS 8-34 Ochrana automatizovaných skladových systémov (ASRS)

FMDS 8-34 je inžinierske riešenie a údajový list zameraný na ochranu pred požiarom a stratami v automatických skladovacích a vyberacích systémoch (ASRS), vrátane miniload, kyvadlového/horizontálneho nakladania, napr. shuttle, vrchného nakladania, napr. AutoStore, a niektorých vertikálne uzavretých systémov.

V tomto informačnom liste sú uvedené všeobecné odporúčania pre všetky systémy ASRS – ako napríklad používanie zariadení schválených FM, konštrukčné / umiestnené aspekty, kontroly obsadenosti, stratégie požiarnej ochrany (napr. stropné a vstavané postrekovače, ak sú potrebné), konečné plánovanie hasenia a požiadavky na elektrické a radiace systémy [1].

Následne uvádza schémy ochrany špecifické pre konkrétne usporiadanie a typ ASRS a typ kontajnerov (napr. otvorené nehorľavé kontajnerov so súvislými stenami, skladovanie na podnosoch alebo v uzavretých celulózových obaloch), pričom zohľadňuje, ako geometria a odvetranie kontajnerov ovplyvňujú účinnosť postrekovačov [1, 7].

Najnovšie dočasné aktualizácie spresňujú, že niektoré riziká sú mimo rozsahu FMDS 8-34 a pri ich skladovaní v ASRS je potrebné použiť iné FMDS – napr. zápalné kvapaliny (FMDS 7-29), aerosólové výrobky (FMDS 7-31) a lítiovo-iónové batérie (FMDS 7-112).

ASRS vytvárajú jedinečné výzvy – vysokú hustotu skladovania, obmedzený prístup a zložité prúdenie vzduchu – ktoré môžu rýchlo preťažiť konvenčnú ochranu; 8-34 poskytuje overený, systémovo špecifický plán na zabránenie veľkým stratám v týchto automatizovaných prostrediach [1].

Nižšie je uvedená prehľadná tabuľka porovnávajúce tieto dva údajové listy tak, aby čitateľ lepšie pochopil v akých prípadoch je možné využiť jeden z nich.

Tabuľka 5 - Porovnanie FMDS 8-34 a FMDS 8-9

Oblasť	FMDS 8-34 — Ochrana automatického skladovania (ASRS)	FMDS 8-9 — Skladovanie komodít triedy 1, 2, 3, 4 a plastov
Hlavné zameranie	Požiarne ochrana pred stratami špecifickými pre automatizované skladovanie (miniload, shuttle, TL-ASRS, určité vertikálne uzavreté ASRS) vrátane jedinečných rizík ASRS (prístup, prúdenie vzduchu, vysoká hustota).	Základné pravidlá ochrany pre bežné komodity (triedy 1–4 a plasty) pre regálové, paletové, stohované, policové a boxové skladovanie v konvenčných skladoch.
Typické prevádzky	Automatizované sklady a výrobné sklady využívajúce žeriavy /shuttle / roboty na presun prepraviek, podnosov alebo boxov.	Distribučné centrá, výrobné sklady a 3PL prevádzky s manuálnou alebo konvenčnou mechanizovanou manipuláciou.
Rozsah komodít	Ťažisko je na skladovom systéme. Odporúčania ochrany podľa komodity závisia od typu kontajnera a usporiadania v ASRS.	Explicitne pokrýva komodity triedy 1–4 a plasty; detailná klasifikácia nebezpečnosti komodít určuje kritériá ochrany.
Pokryté spôsoby skladovania	Rozlišuje sa podľa geometrie kontajnerov (otvorené nehorľavé so súvislými stenami, podnosy, uzavreté celulózové obaly) a odvetrania kontajnerov.	Regálové, patetizované, hromadné, policové a prepravné usporiadania s explicitnými pravidlami pre každé z nich.
Kľúčové návrhové premenné	Geometria kontajnera a jeho vrchu, materiály stien, odvetranie, konfigurácia ASRS a prístup pre finálne hasenie hasičským zborom. Obsahuje aj požiadavky na elektrické a riadiace systémy.	Trieda komodity, výška skladovania, balenie, podiel plastov, geometria regálu a kontinuita dymovodov; stavebné prvky (stĺpy, dymové závesy, odvetranie).
Prístup k požiarnej ochrane	Schémy špecifické pre každý prípad ASRS a kontajnera. Usmernenie, kedy sú potrebné stropné a kedy zabudované postrekovače a ako doceliť finálne hasenie.	Určuje, kedy je prijateľná iba stropná ochrana a kedy je potrebná kombinácia stropných a regálových postrekovačov podľa komodity a spôsobu skladovania.

Dymovody / detaily regálov	Rieši, ako geometria a rozostupy kontajnerov v ASRS ovplyvňujú výkon postrekovačov a pohyb dymu / tepla. Ochrana je viazaná na pôdorys ASRS, nie na štandardné tabuľky dymovodov pre regály.	Poskytuje explicitné požiadavky týkajúce sa spalinového priestoru pre regály (pozdĺžne / priečne) s rôznymi kritériami pre stropné postrekovače. Zahŕňa aj vplyvy pevných políc a priehradiek.
Odvod tepla a dymu / dymové závesy	Zohľadňuje celkovú stratégiu hasenia a prístupu. Odvetranie je chápané ako súčasť holistického návrhu ochrany ASRS, nie iba ako všeobecné pravidlá pre sklady.	Obsahuje časti o odvode tepla a dymu a dymových závesoch ako súčasť konštrukčných a dispozičných prvkov ovplyvňujúcich rast požiaru a výkon postrekovačov.
Elektrické a riadiace systémy	Obsahuje samostatné usmernenia pre elektrické a riadiace systémy ASRS, ktoré reflektujú potreby automatizácie v oblasti prevencie zapálenia a spoľahlivosti.	Neobsahuje túto časť pretože sa zameriava na konvenčné skladovanie.
Špeciálne riziká	Výslovne sa odvoláva na iné FMDS pre špeciálne nebezpečenstvá uložené v ASRS.	Špeciálne komodity posudzuje cez triedu komodity a podiel plastov. Pri zápalných kvapalinách / aerosóloch / Li-ion sa odkazuje aj na príslušné FMDS.
Krížové odkazy	Silné krížové odkazovanie na iné FMDS, keď ASRS manipuluje s komoditami s vyšším rizikom.	Prepája sa s ďalšími FMDS pre čerpadlá, zdroje vody, detekciu atď.
Dokumentácia a schválenia	Odporúča používať komponenty, materiály a služby schválené FM ako súčasť konceptu ochrany ASRS.	Rieši konštrukčné / dispozičné a ochranné prvky. Schválenia FM sa používajú tam, kde je to relevantné pre komponenty požiarnej ochrany.

Zdroj: spracované autorom na základe [1]

5 Praktické využitie

V praxi sa musí využiť často kombinácia viacerých údajových listov pretože skladovacia logistika je komplexné odvetvie, v ktorom sa bežne kombinujú rôzne typy skladovania. Z tohto dôvodu je nevyhnutná dostatočná znalosť minimálne uvedených údajových listov.

Ako je z textu rozpoznateľné, najzložitejšia je ochrana pre ASRS. Protipožiarna ochrana je jedno z hlavných rozhodovacích kritérií pri plánovaní možnosti implementácie takýchto systémov v sklade. V niektorých prípadoch sa môže stať, že jeden alebo viaceré typy ASRS musia byť vylúčené z plánovania

práve kvôli nevhodnosti skladovania pri určitých podmienkach z pohľadu protipožiarnej ochrany alebo sa stane implementácia protipožiarnej ochrany pre danú technológiu príliš finančne náročná oproti ostatným.

Tieto údajové listy dávajú technický základ ako plánovať protipožiarnu ochranu. Treba ale dodať, že národné predpisy v rôznych krajinách alebo požiarny zbor v danej lokalite môžu iný alebo kritickejší postoj. Preto sa vždy dáva celkový protipožiarny koncept skladu zlučujúci všetky časti zodpovedným orgánom na schválenie.

5.1 Príklad postupu pre vrchom plnené automatické systémy

Táto kapitola poskytuje odporúčania na základe FMDS týkajúce sa predchádzania stratám prispôsobené systémom TL-ASRS s vrchným plnením (napr. AutoStore) bez skladovania nebezpečných látok. Pri týchto systémoch roboty pracujú na vrchu skladového priestoru a vyberajú prepravky zhora. Tieto systémy vytvárajú výzvy v oblasti protipožiarnej ochrany akými sú:

- veľmi husté skladovanie,
- limitovaný vnútorný priestor,
- náročnosť aplikácie tradičných regálových postrekovačov.

Vo všeobecnosti je potrebné si stanoviť základné parametre daného skladu, ktoré je potrebné rozhodnúť pred výberom postrekovacích systémov alebo inej ochrany. Účinnosť ochrany vo veľkej miere závisí od rozmerov skladovej plochy, výšky stropu (svetlá výška v sklade) a schopnosti vytvoriť zvládnutelné rozdelenia priestoru a prístup pre hasičov. [1, 8]

Kľúčové témy zahŕňajú:

- obmedzenie efektívnej veľkosti alebo hĺbky skladovej plochy. T. j. riadenie toho, ako ďaleko môže byť požiarnik od prístupových bodov. Dátový list obsahuje príklad, ktorý explicitne zobrazuje TL-ASRS s maximálnou hĺbkou 30 m v jednom smere [1, 8]. Toto je jasný signál, že rozmery sú dôležité pre stratégiu ochrany. V prípade, že táto hĺbka prekročená z dôvodu potrebnej technickej kapacity technológie, je nevyhnutné implementovať tzv. mólo ponad technológiu, na ktoré môže vyjsť hasičský zbor a vykonať finálne hasenie,
- výška stropu je rozhodujúci faktor pre možnosti ochrany. Údajový list obsahuje obrázky usporiadaní TL-ASRS s uvedenými maximálnymi výškami stropu, čo naznačuje, že výška stropu môže byť obmedzená alebo optimalizovaná tak, aby bol zvolený spôsob ochrany realizovateľný. Napríklad implementácia falošného stropu s dodatočnými postrekovačmi pri vyšších halách s nedostačujúcou sprinklerovou ochranou [1, 8]. Uplatnením tejto možnosti je možné vynechať niektoré technické riešenia popísané nižšie,
- technické riešenia na zlepšenie konečného hasenia a obmedzenie šírenia požiaru, ako sú obvodové plochy pre prístup požiarnikov (z angličtiny tzv. perimeter mezzanine), vertikálne bariéry vo vnútri skladu alebo pevné monitorovacie trysky [1, 8]. Nie všetky technické riešenia musia byť aplikované súčasne.

Praktické očakávanie je, že ochrana TL-ASRS nie je iba s postrekovačmi. Často ide o holistickú metódu, ktorá kombinuje kontrolu požiaru pomocou ochrany:

- zo stropu prostredníctvom postrekovačov,
- ovládania systémov / robotov – nastavenie správania robotov pri alarme, napr. kam sa majú presunúť a ako zabrániť zhoršeniu incidentu. Taktiež je potrebné vytvoriť vyhradené zóny na parkovanie robotov, aby sa zabránilo ich vstupu do požiarnej zóny a uľahčila sa reakcia,
- implementáciou včasnej detekcie – akými sú napríklad alarmy,
- plánovaného prístupu pre finálne hasenie hasičským zborom alebo statickými systémami [1, 8].

6 Záver

Analýza potvrdila, že údajové listy FM Global predstavujú dôležitý technický rámec pre plánovanie protipožiarnej ochrany v skladoch, najmä tam, kde sa kombinujú vysoká hustota skladovania, nebezpečné látky a automatizované technológie. Ich význam spočíva v tom, že poskytujú podrobné inžinierske odporúčania pre klasifikáciu komodít, návrh sprinklerových systémov, dymovodov, odvetrania a celkového dispozičného riešenia skladu. V praxi sa ukazuje, že pri konvenčnom skladovaní plní kľúčovú úlohu predovšetkým FMDS 8-9, zatiaľ čo pri ASRS systémoch je rozhodujúci FMDS 8-34 v kombinácii s ďalšími údajovými listami zameranými na špecifické nebezpečenstvá.

Možno konštatovať, že FMDS nemožno vnímať izolovane, ale ako súčasť komplexného procesu plánovania požiarnej bezpečnosti, ktorý musí zohľadňovať technológiu skladu, skladované komodity, národné predpisy aj požiadavky poisťovní a požiarnych zborov. Výsledky článku preto podporujú názor, že znalosť a správna aplikácia FMDS môže významne prispieť k zníženiu rizika veľkých majetkových škôd a k efektívnejšiemu rozhodovaniu o vhodnom skladovom a technologickom riešení. Pri moderných skladoch sa tak FMDS stávajú nielen nástrojom protipožiarnej ochrany, ale aj dôležitým faktorom strategického plánovania logistickej infraštruktúry.

7 Literatúra

- [1] Dátové listy FM pre prevenciu škôd na majetku. [online]. [cit. 2026-04-19]. Dostupné na internete: <https://www.fm.com/resources/fm-data-sheets>
- [2] Hodnotenie kvapalín, ktoré horia. [online]. [cit. 2026-04-19]. Dostupné na internete: https://www.fireprotectionengineering-digital.com/fireprotectionengineering/library/item/q3_2023/4132877/
- [3] XIN, Y. - TAMANINI, F. Assessment of commodity classification for sprinkler protection using representative fuels. In *Fire Safety Science*. 2008. Vol. 9, s. 527–538. DOI 10.3801/iafss.fss.9-527.
- [4] Schéma protipožiarnej ochrany A pre kartónové plastové aerosólové výrobky triedy 3 a aerosólové výrobky úrovne 2 a 3. [online]. [cit. 2026-04-19]. Dostupné na internete: <https://www.fm.com/-/media/Files/FM-Global/Research-Technical-Reports/Public-Technical-Report-NFPA-30B.pdf>
- [5] Zvýšenie bezpečnosti lítium-iónových batérií: Poznatky z dátového listu FM 7-112 a sympózia SFPE Engineering Solutions: Pokrok v oblasti požiarnej bezpečnosti lítium-iónových batérií. [online]. [cit. 2026-04-19]. Dostupné na internete: <https://risklogic.com/enhancing-lithium-ion-battery-safety-insights-from-fm-data-sheet-7-112-and-the-sfpe-engineering-solutions-symposium-progress-with-li-ion-battery-fire-safety>
- [6] GOLLNER, M.J. - OVERHOLT, K. - WILLIAMS, F.A. - RANGWALA, A.S. - PERRICONE, J. Warehouse commodity classification from fundamental principles. part I: Commodity & burning rates. In *Fire Safety Journal*. 2011. Vol. 46, no. 6, s. 305–316. DOI 10.1016/j.firesaf.2011.03.002.
- [7] OVERHOLT, K.J. - GOLLNER, M.J. - PERRICONE, J. - RANGWALA, A.S. - WILLIAMS, F.A. Warehouse commodity classification from fundamental principles. part II: Flame Heights and flame spread. In *Fire Safety Journal*. 2011. Vol. 46, no. 6, s. 317–329. DOI 10.1016/j.firesaf.2011.05.002.
- [8] Ochrana ASRS pomocou najnovších pokynov v informačnom liste FM Global Majetkové škody 8-34. [online]. [cit. 2026-04-19]. Dostupné na internete: https://www.firesprinklerinternational.com/wp-content/uploads/2022/06/BakerWolin_Protecting-ASRS-using-the-latest-guidance-in-FMDS-8-34.pdf

IMPLEMENTACE 4. ŽELEZNIČNÍHO BALÍČKU: VÝZVY A VÝVOJ V KONTEXTU JEDNOTNÉHO EVROPSKÉHO ŽELEZNIČNÍHO PROSTORU

Autoři:

Pavína LINHOVÁ¹, Eva NEDELIÁKOVÁ²

Tituly a působišť autorů:

¹Ing. Pavína Linhová, Žilinská univerzita v Žiline, FPEDAS, Katedra železničnej dopravy, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, E-mail: linhova@stud.uniza.sk

²doc. Ing. Eva Nedeliaková, PhD., Žilinská univerzita v Žiline, FPEDAS, Katedra železničnej dopravy, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, E-mail: linhova@stud.uniza.sk

Abstrakt: Tento článok analyzuje proces implementácie čtvrtého železničného balíčku a jeho kľúčovou rolu pri dokončovaní jednotného evropského železničného priestoru. Článok sa venuje obom pilířom tohoto balíčku. Podrobne je zde popsán technický pilíř, zejména nová role Agentury Evropské unie pro železnice (ERA) jako ústředního schvalovacího orgánu vyživajícího systém Jednotného kontaktního místa (OSS) pro uvádění vozidel na trh a vydávání osvědčení o bezpečnosti. V rámci tržního pilíře jsou zkoumány aspekty liberalizace vnitrostátní osobní dopravy a modely správy infrastruktury. Přínosem článku je zhodnocení dosavadního vývoje schvalovacích procesů a identifikace klíčových bariér. V závěru je zdůrazněna nezbytnost posílení evropské spolupráce pro plné využití potenciálu železnice jako páteře udržitelné mobility.

Klíčová slova: 4. železniční balíček, jednotný evropský železniční prostor, železniční doprava, interoperabilita, ERA

JEL: L92

IMPLEMENTATION OF THE 4TH RAILWAY PACKAGE: CHALLENGES AND DEVELOPMENTS IN THE CONTEXT OF A SINGLE EUROPEAN RAILWAY AREA

Abstract: This article analyses the implementation process of the Fourth Railway Package and its key role in completing the Single European Railway Area. The article covers both pillars of this package. It provides a detailed description of the technical pillar, particularly the new role of the European Union Agency for Railways (ERA) as the centralized approval authority utilizing the One-Stop Shop (OSS) system for vehicle authorisation and safety certification. Within the market pillar, the article examines aspects of the liberalization of domestic passenger transport and infrastructure management models. The article's contribution is the evaluation of development of authorisation processes at this moment and identification of key barriers. In conclusion, it emphasizes the necessity of strengthening European cooperation to fully unleash the potential of railways as the backbone of sustainable mobility.

Keywords: 4th Railway Package, Single European Railway Area, railway transport, interoperability, ERA

1 Úvod

V současné době čelí železniční sektor mnoha výzvám jako jsou vysoké náklady na rozvoj a provoz, silná závislost na veřejném financování, administrační a technické překážky a odlišný přístup k liberalizaci železničních trhů [1]. Snahou Evropské unie je zvrátit pokles využívání železnice, k němuž dochází od konce 80. let pomocí sjednocení požadavků a podmínek přístupu k železnici v jednotlivých členských státech. Železniční doprava je v rámci evropských strategických dokumentů vnímána jako ústřední pilíř dekarbonizace [2]. Současný stav, kdy silniční doprava dominuje vnitrostátní i mezinárodní přepravě, je z dlouhodobého hlediska neudržitelný, co se týče emisí CO₂ i přetíženosti infrastrukturních sítí. Právě proto je sjednocení podmínek přístupu k železnici v členských státech klíčovým předpokladem pro to, aby se železnice stala konkurenceschopnou alternativou, která dokáže pojmout významnou část přepravních výkonů ze silnic.

Jedním z klíčových cílů evropské železniční politiky je postupné vytváření jednotného železničního prostoru. Od roku 2001 proto EU přijímá postupně navazující legislativní balíčky v oblasti železniční dopravy, jejichž cílem je postupné otevírání železničních trhů hospodářské soutěži a zajištění interoperability vnitrostátních železničních systémů v rámci celé EU [3], tedy aby vlaky mohly jezdit napříč sítí bezpečně, plynule a při zachování požadované úrovně výkonnosti [4]. Součástí těchto opatření jsou mimo jiné pravidla pro přidělování kapacity a zpoplatnění infrastruktury, společná ustanovení pro udělování osvědčení železničním podnikům, certifikace strojvedoucích, bezpečnostní požadavky či ochrana práv cestujících [5].

První železniční balíček z roku 2001 položil základy liberalizace trhu tím, že vyžadoval oddělení funkcí správy infrastruktury od provozování dopravy [6]. Druhý železniční balíček z roku 2004 navázal snahou o oživení železniční dopravy a urychlení budování jednotného evropského železničního prostoru [5]. Třetí železniční balíček z roku 2007 dále rozvinul regulační rámec [5]. Druhý a třetí železniční balíček tedy přinesly další pokrok směrem k plné liberalizaci nákladní a mezinárodní osobní dopravy [6]. Významným krokem bylo také přijetí směrnice 2012/34/EU o vytvoření jednotného evropského železničního prostoru [5].

Čtvrtý železniční balíček představuje soubor šesti legislativních aktů, které byly přijaty Evropským parlamentem a Radou během roku 2016, jejichž cílem je dokončení jednotného evropského železničního prostoru [7]. Členské státy EU měly za povinnost tyto akty zanést do své právní úpravy do června roku 2019 [8]. Hlavní snahou čtvrtého železničního balíčku je revitalizace železniční dopravy a zvýšení její efektivity a konkurenceschopnosti vůči ostatním druhům dopravy [9]. Tento balíček je tvořen dvěma pilíři, technickým a tržním [7]. Implementací balíčku získala Agentura Evropské unie pro železnice (dále jen ERA) nové funkce a povinnosti [8].

ERA poskytuje členským státům EU a Evropské komisi technickou pomoc při rozvoji a zavádění jednotného evropského železničního prostoru. To zahrnuje posilování technické interoperability a harmonizaci pravidel, podporu zjednodušeného přístupu pro zákazníky, rozvoj společného přístupu k bezpečnosti a bezpečnostní kultuře, poradenství v oblasti telematických aplikací a jednotného evropského zabezpečovacího systému (dále jen ERTMS = European Rail Traffic Management System), monitorování vnitrostátních bezpečnostních orgánů a certifikovaných subjektů a usnadňování výměny informací mezi železničními subjekty v Evropě [8].

Změny vycházející ze čtvrtého železničního balíčku se týkají všech subjektů, kteří vyrábějí nebo upravují železniční vozidla, schvalují vozidla nebo pevná zařízení a vydávají osvědčení o bezpečnosti, provozují železniční dopravu, spravují infrastrukturu nebo regulují bezpečnost a interoperabilitu železnic [9].

2 Klíčové prvky čtvrtého železničního balíčku

Účelem legislativních úprav vyplývajících ze čtvrtého železničního balíčku je přehlednější vymezení podmínek celkové kompatibility železničního systému EU s podporou rozvoje poskytovaných služeb

železniční dopravy a celkovým zvýšením úrovně bezpečnosti [10]. Klíčové cíle vychází z již zmiňovaných dvou pilířů čtvrtého železničního balíčku. Technický pilíř zahrnuje:

- Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2016/796 ze dne 11. května 2016 o Agentuře Evropské unie pro železnice a o zrušení nařízení (ES) č. 881/2004,
- Směrnici Evropského parlamentu a Rady (EU) 2016/797 ze dne 11. května 2016 o interoperabilitě železničního systému v Evropské unii,
- Směrnici Evropského parlamentu a Rady (EU) 2016/798 ze dne 11. května 2016 o bezpečnosti železnic [7].

Technický pilíř má za úkol železničním podnikům, které chtějí provozovat dopravu v členských státech EU, výrazně snížit náklady a administrativní zátěž pomocí ušetření nutnosti podávat vícenásobné žádosti v případě provozu přesahujícím hranice jednoho členského státu. Před zavedením technického pilíře čelili dopravci tzv. neviditelným hranicím. Každý členský stát měl vlastní soubor specifických národních pravidel, což v praxi například znamenalo, že lokomotiva přejíždějící hranice musela být kromě vybavení několika různými zabezpečovacími systémy schválena několika národními úřady. Tento proces byl nejen finančně nákladný, ale i časově neúnosný, což odrazovalo nové subjekty od vstupu na mezinárodní trh. Po zavedení balíčku jsou schválení vozidel pro provoz na železniční síti, jednotná osvědčení o bezpečnosti a schválení ERTMS tratí vydávaná ERA a platná v celé EU podle požadavků žadatele pomocí vytvořeného jednotného kontaktního místa (dále jen OSS = One Stop Shop) [7, 9]. OSS je IT nástroj fungující jako jediné vstupní místo pro všechny žádosti na ERA, čímž je zajištěna transparentnost a konzistence žádostí [11]. Taktéž mohou žadatelé sledovat stav své žádosti v reálném čase. Vývoj tohoto nástroje zahrnoval i testování uživatelského rozhraní pomocí „mock-upů“ v Německu a v Itálii [12]. Dalšími úkoly jsou snížení vysokého počtu vnitrostátních předpisů, představujících riziko nedostatečné transparentnosti a skryté diskriminace nových železničních podniků, a zajištění interoperability zařízení ERTMS, který zajišťuje zvýšení bezpečnosti a propustnosti železniční dopravy [7, 9].

Hlavními změnami, které technický pilíř tedy přináší, jsou harmonizace postupů pro certifikaci bezpečnosti, schvalování vozidel a zavádění systému ERTMS v rámci členských států s předchozí kontrolou, zda jsou plánovaná technická řešení plně v souladu s příslušnými technickými specifikacemi interoperability (dále jen TSI) a tedy jsou plně interoperabilní [9]. Taktéž se počítá se přechodem národních registrů drážních vozidel do jednotné na úrovni EU vedeného registru [10].

Tržní pilíř zahrnuje pak:

- Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2016/2338 ze dne 14. prosince 2016, kterým se mění nařízení (ES) č. 1370/2007, pokud jde o otevření trhu vnitrostátních služeb v přepravě cestujících po železnici,
- Směrnici Evropského parlamentu a Rady (EU) 2016/2370 ze dne 14. prosince 2016, kterou se mění směrnice 2012/34/EU, pokud jde o otevření trhu vnitrostátních služeb v přepravě cestujících po železnici a správu a řízení železniční infrastruktury,
- Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2016/2337 ze dne 14. prosince 2016, kterým se zrušuje nařízení Rady (EHS) č. 1192/69 o společných pravidlech normalizace účtů železničních podniků [7].

Hlavním úkolem tržního pilíře je završení procesu postupné liberalizace trhu, který byl zahájen prvním železničním balíčkem. V tomto pilíři je stanoveno obecné právo železničních podniků usazených v jednom členském státě provozovat po splnění jednotných podmínek dopravu kdekoli v EU. V oblasti osobní dopravy se očekával přínos v podobě většího výběru a lepší kvality železničních služeb zavedením zásady povinného výběrového řízení na veřejné zakázky železniční dopravní obslužnosti. Tato hospodářská soutěž má vést k povzbuzení železničních osobních dopravců k pružnějším reakcím na potřeby zákazníků, zlepšení poskytovaných služeb a jejich nákladovou efektivitu [7]. Tento tlak na efektivitu a orientaci na zákazníka je nezbytný pro to, aby se železnice stala první volbou pro moderního evropského cestujícího.

V rámci OSS balíček dále zavádí tzv. „pool of experts“, kdy může ERA po obdržení žádosti o uvedení vozidla na trh nebo osvědčení o bezpečnosti rozhodnout, že je třeba přizvat externí odborníky,

aby jí při posuzování pomohli. Těmito externími odborníky mohou být zaměstnanci vnitrostátních bezpečnostních orgánů, které určí jejich zaměstnavatel, nebo nezávislí odborníci. V obou případech musí tito odborníci splňovat stejné požadavky na odbornou způsobilost [9]. Jedná se o síť 200 odborníků z celé Evropy, což zvyšuje flexibilitu a dostupnost expertízy a přispívá k nezávislosti celého hodnocení [12].

3 Stav implementace 4. železničního balíčku

Původní lhůta pro implementaci technické pilíře byla 16. června 2019, tento termín splnilo deset členských států. Pět členských států, mezi nimi i Slovensko, využili možnost odložení této implementace o jeden rok do 16. června 2020 a zbývající státy včetně České republiky následně implementaci odložili ještě zhruba o další čtyři měsíce do 31. října 2020 z důvodu pandemie COVID-19 [13].

Po implementaci čtvrtého železničního balíčku se mnozí obávali změn, které to přinese, a s tím nově vzniklých problémů. ERA samotná ale v roce 2023 ve svém shrnutí uvádí, že v rámci svých nových funkcí v prostředí OSS za 4 roky uvedli na trh již 60 000 železničních vozidel, vydali 150 jednotných osvědčení o bezpečnosti a 10 schválení traťového zařízení ERTMS. Čtvrtý železniční balíček tedy považuje za „obrovský krok vpřed“. Namísto podávání žádostí u vícera vnitrostátních orgánů nyní stačí jen jediná žádost podaná u ERA prostřednictvím OSS k uvedení vozidla na trh nebo k získání jednotné osvědčení o bezpečnosti platného v několika členských státech [11]. Implementace balíčku dále také přinesla přesnější vymezení odpovědnosti za bezpečnost mezi různými aktéry železničního systému a nový přístup ke kontrole technické kompatibility vozidla s trasou.

Důležitým přínosem pro žadatele je možnost požádat o předběžné jednání s úřady ještě před podáním žádosti, aby si vyjasnili proces rozhodování a požadavky a mohli předem vyřešit případné nedostatky [12]. Jedná se o nepovinnou fázi, během níž si žadatel upřesní obsah a rozsah žádosti a předejde tak problémům ještě před oficiálním podáním žádosti [14].

V rámci tržního pilíře došlo k intenzivním politickým sporům ohledně povinného oddělení dopravců a správců infrastruktury. Ze strany Evropského parlamentu nakonec došlo ke schválení kompromisu, který umožňuje zachování integrovaných holdingových struktur při zajištění nezávislosti manažera infrastruktury [12]. Taktéž ohledně hospodářské soutěže byla ještě za určitých podmínek, ale s jasnými požadavky na kvalitu, povolena přímá zadávání zakázek na poskytování veřejných dopravních služeb. Stávající smlouvy mohou trvat až do roku 2034 [12].

Ze strany kritiků je uváděno, že balíček dostatečně neřeší přístup nových dopravců na trhu k distribučním systémům prodeje jízdenek dominantních státních dopravců, čímž může naopak dojít ke zhoršení kvality přepravy pro cestující [12]. Legislativa sama o sobě nestačí, v některých případech je třeba tlak od antimonopolních úřadů a změna myšlení u národních vlád, aby se omezila dominance historických státních dopravců. Co se týče ekonomického přínosu, na začátku byl očekáván krátkodobý růst související s investicemi do přechodu na nové podmínky. V současnosti už je ale očekáváno snížení nákladů díky efektivitě a jednotným procesům.

Evaluační ERA z roku 2025 [15] naznačuje, že úspěch čtvrtého železničního balíčku je paradoxně limitován jeho vlastním úspěchem. ERA poukazuje na pokrok, kterého bylo dosaženo v oblasti zvyšování bezpečnosti, interoperability a rozvoje jednotného evropského železničního prostoru, avšak taktéž zmiňuje omezené zdroje, které jí brání v plné realizaci cílů v rámci čtvrtého železničního balíčku. Čímž hrozí, že se ERA může stát novým úzkým hrdlem systému. Podle evaluace tyto omezené zdroje mohou omezovat její schopnost zvládat úkoly v oblasti udělování povolení a současně plnit své politické povinnosti. Tato evaluace dále také zmiňuje, že je třeba ještě optimalizovat procesy pro uvádění vozidel na trh a udělování osvědčení o bezpečnosti, jelikož mohou být složité a někdy i příliš zatěžující, což omezuje možnou úsporu nákladů, která byla v rámci implementace čtvrtého železničního balíčku očekávána. Závěr evaluace ale potvrzuje významnost a přínosy opatření na úrovni EU vedoucí k posílení interoperability a harmonizovaného provozu v rámci celého evropského železničního systému [15].

Taktéž evaluace Evropské komise z roku 2025 [16] v oblasti jednotného evropského železničního prostoru poukázala na několik problémů, které stále brání jeho plné integraci. Komise zjistila, že některé oblasti vyžadují další monitoring a případná opatření, aby se odstranily přetrvávající překážky a posílil regulační rámec. Zmiňovány jsou například překážky při přístupu nezávislých dopravců k infrastruktuře, zejména u vertikálně integrovaných manažerů infrastruktury či nedostatečné rozvíjení vysokorychlostních spojení mezi členskými státy. Taktéž je zmiňováno, že se členské státy stále potýkají s dopady pandemie COVID-19 a energetické krize, což komplikuje přesné posouzení dlouhodobých efektů směrnice. Evropská komise proto dále hodlá pokračovat v úzké spolupráci se všemi zainteresovanými subjekty a zároveň posílit prosazování stávajících pravidel, aby evropský železniční sektor skutečně směřoval efektivnosti, konkurenceschopnosti a jednotnosti [16].

4 Závěr

Implementace čtvrtého železničního balíčku představuje zásadní milník v úsilí o dokončení jednotného evropského železničního prostoru. Tento komplexní soubor legislativních opatření není jen administrativní změnou, ale i snahou o oživení železničního sektoru, zvýšení jeho efektivity a posílení konkurenceschopnosti vůči jiným druhům dopravy, zejména silniční. Klíčovým cílem tak zůstává vytvoření efektivního, propojeného a interoperabilního systému, který dokáže překonávat stávající bariéry a nabídnout atraktivní služby jak pro cestující, tak pro nákladní dopravu. Významnou roli v celém procesu zastává ERA, která představuje důležitý prvek s přidanou hodnotou a zároveň garanta jednotných pravidel, bezpečnosti a technické kompatibility.

Čtvrtý železniční balíček poskytuje nástroje potřebné k vybudování takového systému, avšak jeho úspěšná realizace závisí na posílení evropského přístupu a odhodlání národních autorit uvádět jednotný železniční prostor do praxe. Neméně důležitá je i spolupráce mezi všemi aktéry železničního trhu, od výrobců přes dopravce až po manažery infrastruktury. Pouze koordinovaný přístup umožní železnici plně rozvinout její potenciál jako páteře udržitelné mobility v Evropě a zároveň efektivně reagovat na současné i budoucí výzvy. Mezi tyto výzvy patří především zajištění skutečné interoperability a otevřenosti trhu, které povedou k efektivnějšímu využívání kapacit, snižování nákladů a zvyšování kvality poskytovaných služeb. Současně je nutné zvládnout reagovat na dynamicky se měnící požadavky společnosti, zejména v oblasti digitalizace, automatizace a environmentální udržitelnosti. Železniční doprava má potenciál sehrávat zásadní úlohu při dosahování klimatických cílů EU, avšak tento potenciál bude možné naplno využít pouze v případě, že se podaří vytvořit skutečně jednotný, konkurenceschopný a inovativní systém.

Důležitým předpokladem úspěchu je také budování důvěry mezi členskými státy, evropskými institucemi a jednotlivými účastníky trhu. Bez této důvěry nelze dosáhnout potřebné míry koordinace a spolupráce, která je pro fungování jednotného evropského železničního prostoru nezbytná. Implementace čtvrtého železničního balíčku proto nepředstavuje jednorázový legislativní krok, ale dlouhodobá proces transformace celého odvětví. Jeho skutečný přínos se projeví až ve chvíli, kdy budou jednotlivá opatření důsledně uplatňována v každodenní praxi a stanou se přirozenou součástí fungování trhu.

Tento proces vyžaduje nejen technickou harmonizaci a odstranění administrativních překážek, ale i změnu přístupu všech zúčastněných subjektů, a to jak na úrovni národních institucí, tak i soukromých aktérů. Navzdory širokému spektru problémů železniční infrastruktury i nabídky služeb lze konstatovat, že při naplnění uvedených předpokladů může čtvrtý železniční balíček představovat základ moderní evropské železnice. Systému, který bude nejen efektivní a ekonomicky životaschopný, ale i ekologicky udržitelný a atraktivní pro významný okruh uživatelů. V konečném důsledku tak jde o významný příspěvek k posílení mobility, hospodářské integrace i kvality života v EU.

5 Literatura

- [1] EUROPEAN PARLIAMENT: DIRECTORATE-GENERAL FOR PARLIAMENTARY RESEARCH SERVICES. The fourth railway package – Another step towards a single European railway area – In-depth analysis, 2016. [cit. 2026-4-23]. Dostupné z: <https://data.europa.eu/doi/10.2861/884699>.
- [2] EURÓPSKA KOMISIA. Biela kniha o doprave: Plán jednotného európskeho dopravného priestoru, 2011. [cit. 2026-04-24]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/?uri=celex:52011DC0144>.
- [3] UNIFE. Fourth Railway Package. [cit. 2026-04-23]. Dostupné z: <https://www.unife.org/activities/fourth-railway-package/>.
- [4] EUR-Lex. Interoperabilný železničný systém, 2023. [cit. 2026-04-24]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/SK/legal-content/summary/an-interoperable-eu-rail-system.html>.
- [5] DIRECTORATE-GENERAL FOR MOBILITY AND TRANSPORT. Railway Packages. [cit. 2026-04-24]. https://transport.ec.europa.eu/transport-modes/rail/railway-packages_en.
- [6] DELSIGNORE, Monica. The Fourth Railway Package: the Governance Structure and the Unsolved Problem of Vertical Integration, 2018. [cit. 2026-04-23]. Dostupné z: https://images.rivistadellaregolazionedeimercati.it/f/articoli/154_articolo_Rb5fu_due.pdf.
- [7] DIRECTORATE-GENERAL FOR MOBILITY AND TRANSPORT. Fourth Railway Package of 2016. [cit. 2026-4-17]. Dostupné z: https://transport.ec.europa.eu/transport-modes/rail/railway-packages/fourth-railway-package-2016_en.
- [8] EUROPEAN UNION AGENCY FOR RAILWAYS. 4th Railway Package implementation. One Europe. One Railway. One process., 2023. [cit. 2026-4-17]. Dostupné z: <https://www.era.europa.eu/content/4th-railway-package-implementation-one-europe-one-railway-one-process>.
- [9] EUROPEAN UNION AGENCY FOR RAILWAYS. FAQ & Contact Us. 4th Railway Package. [cit. 2026-04-17]. Dostupné z: https://www.era.europa.eu/can-we-help-you/faq/290_en.
- [10] MINISTERSTVO DOPRAVY. Upravený zákon o dráhách začíná platit, zlepší podmínky na české železnici, 2022. [cit. 2026-04-23]. Dostupné z: <https://md.gov.cz/Media/Media-a-tiskove-zpravy/Upraveny-zakon-o-drahach-zacina-platit,-zlepsi-pod>.
- [11] EUROPEAN UNION AGENCY FOR RAILWAYS. 4th Railway Package – What does it mean for me?. [cit. 2026-04-23]. Dostupné z: <https://www.era.europa.eu/system/files/2022-10/4th%20Railway%20Package%20-%20What%20does%20it%20mean%20for%20me.pdf?t=1776431362>
- [12] BARROW, Keith. The Fourth Railway Package – Magic bullet or missed opportunity?, 2018. [cit. 2026-04-23]. Dostupné z: <https://www.era.europa.eu/system/files/2022-10/The%20Fourth%20Railway%20Package%20-%20Magic%20bullet%20or%20missed%20opportunity.pdf?t=1776431223>.
- [13] URZAD TRANSPORTU KOLEJOWEGO. In some EU countries the 4th Railway Package has come into effect as of 16 June 2020, 2020. [cit. 2026-04-23] Dostupné z: <https://utk.gov.pl/en/new/16094,In-some-EU-countries-the-4th-Railway-Package-has-come-into-effect-as-of-16-June-.html>.
- [14] EUROPEAN UNION AGENCY FOR RAILWAYS. Často kladené otázky ohľadom 4. železničného balíka. [cit. 2026-04-23]. Dostupné z: https://nsat.sk/wp-content/uploads/2018/12/FAQ-4RP_SK.pdf.

- [15] DIRECTORATE-GENERAL FOR MOBILITY AND TRANSPORT. Evaluation of the European Union Agency for Railways, 2025. [cit. 2026-04-23]. Dostupné z: https://transport.ec.europa.eu/news-events/news/evaluation-european-union-agency-railways-2025-11-10_en.
- [16] DIRECTORATE-GENERAL FOR MOBILITY AND TRANSPORT. Commission reviews progress toward a Single European Railway Area, 2025. [cit. 2026-04-24]. Dostupné z: https://transport.ec.europa.eu/news-events/news/commission-reviews-progress-toward-single-european-railway-area-2025-07-08_en.

Poděkování

Příspěvek vzniknul v rámci řešení grantového projektu KEGA 034ŽU-4/2025 „Inovatívne vzdelávanie projektového manažmentu pre udržateľnú a inteligentnú dopravu v EÚ v súlade s Priemyslom 5.0" řešeným na Fakulte prevádzky a ekonomiky dopravy a spojov Žilinskej univerzity v Žiline.

Zvýšenie kapacity vzletovo pristávacej dráhy s jednou rolovacou dráhou

Autori:

Ľubomír NOSÁL¹

Tituly a pôsobisko autorov:

¹Ing. Ľubomír Nosál, Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta prevádzky a ekonomiky dopravy a spojov, Katedra leteckej dopravy, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, Slovenská republika, E-mail: lubomir.nosal.2@gmail.com

Abstrakt: Článok sa zaoberá dráhovými systémami s jednou rolovacou dráhou. Hlavným cieľom je zvýšenie hodinovej kapacity takéhoto systému. Zvýšenie kapacity je navrhnuté z pohľadu riadenia letovej prevádzky, zavedením nového postupu. Výskum je prevedený na vzorovom letisku Poprad – Tatry, avšak výstup je aplikovateľný na všetky letiská s podobnou problematikou. Autor rozdelil lietadlá do troch skupín na základe ich brzdných dráh. Meraním z reálnej prevádzky určil čas obsadenia dráhy po pristátí pre každú skupinu. Využitím teórie hromadnej obsluhy vyrátal percentuálne zvýšenie hodinovej kapacity pristávacej dráhy. Zavedením navrhovaného systému zvýšil hodinovú kapacitu o 54%.

Kľúčové slová: dráhový systém, jedna rolovacia dráha, kapacita, riadenie letovej prevádzky

JEL: klasifikácia článku podľa JEL

Capacity increasement for runways with one taxiway

Abstract: The scope of the article is based on runway systems with one taxiway. The main goal is to increase the hour capacity of such system. We increase the capacity of system by implementing new procedure from the perspective of air traffic control. The research is performed at the airport Poprad – Tatry, however the results are applicable to all the airports with similar design. The author divided the most common aircraft at this airport into 3 groups based on theirs landing distances. By measuring the real time runway occupancy the author assigned average times for each group. The queueing theory is used for the calculations. We have increased the hour capacity of researched runway system by 54%.

Keywords: runway system, one taxiway, capacity, air traffic control

1 Úvod

Po celom svete je trendom rast leteckej prevádzky. Riadiacich letovej prevádzky a celkovo pracovníkov v tomto odvetví je globálne málo. Zavádzaním nových postupov a ich optimalizáciou je možné znižovať záťaž na celý systém a taktiež zvýšiť kapacitu systému bez veľkých investičných vstupov. Jedným z týchto príkladov sú dráhové systémy. Pre zvýšenie kapacity je mnohokrát nevyhnutná ich rekonštrukcia a dobudovanie novej infraštruktúry, čo je finančne náročné a malé letiská nie sú schopné takéto investície financovať. Cieľom tohto článku je zvýšenie kapacity vzletovo pristávacích dráh s jednou rolovacou dráhou. Zvýšenie kapacity je riešené zavedením nových postupov v oblasti riadenia letovej prevádzky, čo má za následok zníženie rozstupov na konečnom priblížení a teda zvýšenie hodinovej kapacity vzletovo pristávacej dráhy. Výskum bude prevedený na vzorovom letisku Poprad-Tatry. Autor roztriedi lietadlá do kategórií podľa pristávacej vzdialenosti a na základe meraní určí obsadenie dráhy po pristátí pre každú kategóriu. Využitím teórie hromadnej obsluhy vyráta zvýšenie hodinovej kapacity pristávacej dráhy.

2 Letiská so vzletovo pristávacou dráhou vybavené jednou rolovacou dráhou

Vo svete sa používajú rôzne typy a konfigurácie vzletovo pristávacích dráh (VPD). Na ich rozmiestnenie vplyvajú rôzne faktory. Najdôležitejším faktorom je typ a hustota prevádzky daného letiska a taktiež ekonomický faktor. Ak prevádzka a finančná situácia umožňuje vybudovanie komplexného systému rolovacích dráh, ďalšími faktormi sú pozemky a typ podložia pre vybudovanie dráh. Ďalej rozloha a priestor okolo letiska.

Ideálnym typom je rolovacia dráha idúca paralelne popri VPD, z ktorej ústi viacero kolmých spojovacích rolovacích dráh. Ich umiestnenie závisí na type prevádzky a brzdných dráhach. Na malých regionálnych letiskách nie je možné vybudovať tento koncept rolovacích dráh kvôli vyššie uvedeným faktorom [1].

Ak nie je prítomný optimálny počet rolovacích dráh alebo ich umiestnenie nie je optimálne pre prevádzkové využitie, zvyšuje sa doba obsadenia vzletovo pristávacej dráhy a tým klesá hodinová využiteľnosť VPD. Príkladom sú letiská, kde je systém VPD a rolovacích dráh navrhnutý len s jednou rolovacou dráhou. Pri akejkoľvek polohe rolovacej dráhy voči VPD a odbavovacej ploche je obsadenie dráhy vyššie z dôvodu rolovania lietadiel pre vzlet alebo rolovania po pristátí. Koncept jednej rolovacej dráhy je rôzny, väčšinou závisí na polohe letiska a miestnych obmedzeniach spojených s pozemkami v okolí letiska. Buď je rolovacia dráha spojená s VPD na prahu dráhy, alebo v mieste, kde je najbližšia spojnicou vzletovo pristávacej dráhy a odbavovacej plochy. Ak má VPD 2 alebo viac rolovacích dráh, pri ich uzávere vzniká rovnaký problém ako pri koncepte s jednou rolovacou dráhou [2].

Pre koncept vzletovo pristávacej dráhy s jednou rolovacou dráhou vzniká zvýšená záťaž pre poskytovateľov leteckých navigačných služieb, hlavne pre samotné riadenie letovej prevádzky a tvorbu usporiadaného a plynulého toku letovej prevádzky. Kapacita VPD výrazne klesá a vznikajú zdržania. Hlavným dôvodom je náročný odhad trvania rolovania lietadiel či už po pristátí alebo počas rolovania pre vzlet. S meniacimi sa meteorologickými podmienkami a hlavne typmi lietadiel sú časy obsadenia VPD rôzne. Pre zabezpečenie bezpečného toku letovej prevádzky sa vždy počíta s využitím celej dĺžky VPD.

Autor uvádza príklady letísk s jednou rolovacou dráhou:

1. LZTT – Letisko Poprad – Tatry je vybavené jednou vzletovo pristávacou dráhou, ktorá je spojená s odbavovacou plochou jednou rolovacou dráhou. Pre hlavný smer odletov a pristátí je rolovacia dráha v jednej tretine od vzletového prahu dráhy. Lietadlá rolujú späť po dráhe či už pre vzlet alebo po pristátí. Čas obsadenia dráhy je dlhší po pristátí.
2. EPLB – LUBLIN – Letisko podobne ako Tatry vybavené jednou vzletovo pristávacou dráhou, ktorá je spojená s odbavovacou plochou jednou rolovacou dráhou. Dĺžka VPD je 2500 metrov a rolovacia dráha sa pripája na VPD v jej polovici. Ak počítame s plným využitím VPD tak rolovanie pre vzlet a po prilete budú rovnako dlhé.
3. EPLL – LÓDŽ – Letisko v Poľsku s dĺžkou VPD 2500 metrov, kde rolovacia dráha ústí na prahu dráhy 25. Pre dráhu v používaní 25 bude rolovanie pre odlety minimálne, avšak rolovanie späť po dráhe po pristátí bude maximálne a riadiaci letovej prevádzky bude musieť vždy rátať s využitím celej dĺžky dráhy po pristátí.
4. LDSB – BRAČ – Letisko v Chorvátsku, ktoré je kratšie než vyššie spomínané, s dĺžkou necelých 1800 metrov a koncept VPD s rolovacou dráhou je podobný ako LZTT. Teda spojenie VPD s rolovacou dráhou v jednej tretine.

Príkladov podobných letísk v Európe alebo vo svete je mnoho. Pre zníženie rozstupov na konečnom priblížení je dôležité poznať faktory ovplyvňujúce dĺžku obsadenia dráhy. Pre ďalšie výpočty a výskum bude autor brať ako modelové letisko LZTT [3].

2.1 Letisko Poprad - Tatry

Letisko Poprad – Tatry sa nachádza na severovýchode Slovenska. Je to malé medzinárodné letisko s jednou hlavnou vzletovo pristávacou dráhou a druhou krátkou trávnatou vzletovo pristávacou dráhou, ktorá slúži hlavne pre potreby miestneho aeroklubu. Pre koncept výskumu nebude autor brať do úvahy trávnatú vzletovo pristávaciu dráhu 07/25. Hustota prevádzky na letisku je do 16 000 leteckých pohybov ročne. Hlavná vzletovo pristávací dráha 09/27 je využívaná lietadlami širokého spektra od ultraľahkých lietadiel až po veľké komerčné lietadlá s kategóriou v úplave ťažké.

Dĺžka VPD 09/27 je 2600 metrov. Povrch je betónový, avšak počas apríla 2026 táto dráha prešla rekonštrukciou a v smere 27 posledných 300 metrov získalo asfaltový povrch. VPD je z oboch smerov prístrojová a osvetlená. Hlavný smer priblíženia je z východnej strany, teda po väčšinu roka ide o VPD 27. V smere VPD 27 sú konštruované 3 priblíženia: ILS, NDB a RNP. Pre VPD 09 je konštruované len RNP priblíženie. Vzletovo pristávací dráha nie je vybavená stredovými svetlami. VPD 27 je vybavená oproti 09 navyše o zábleskovú radu. Pre VPD 27 sú vytvorené konvenčné aj RNAV príletové a odletové trate. VPD 09/27 spája s odbavovacou plochou jedna rolovacia dráha – A. V smere VPD 27 je rolovacia dráha A napojená v prvej tretine, teda 800 metrov od prahu VPD 27. Rolovacia dráha spolu s odbavovacou plochou sú asfaltové [4].

2.2 Riadenie letovej prevádzky v okolí letiska Poprad - Tatry

Letisko Poprad – Tatry je riadené. Služby poskytujú Letové prevádzkové služby Slovenskej republiky. Služby sú poskytované priamo z veže, ktorá je situovaná v administratívnej budove pri odbavovacej ploche letiska. Stanovište Tatry veža poskytuje letiskovú a približovaciu službu naraz z jednej frekvencie. Priestory v okolí letiska - CTR a TMA sú priestory triedy D. Radarové služby sú poskytované na základe primárneho radaru RL-41 a do radarového zobrazenia je vyneseny aj systémový track tvorený z okolitých sekundárnych radarov. Minimálny radarový rozstup je 5 námorných míľ. Z pohľadu riadenia letovej prevádzky je problémová poloha letiska, ktorá je v doline medzi Nízkymi a Vysokými Tatrami. Priestor pre vedenie lietadiel je malý a minimálne výšky pre vedenie radarom sú vysoké.

2.3 Riadenie letovej prevádzky v súvislosti s VPD a jednou rolovacou dráhou na LZTT

Obsadenie dráhy lietadlom v súvislosti s jeho odletom alebo príletom je úzko spojené s počtom a polohou rolovacích dráh. Pre letisko Poprad – Tatry a koncept výskumu bude autor brať do úvahy smer VPD 27, teda hlavný smer priblížení. Lietadlá pre odlet musia rolovať späť po dráhe vo vzdialenosti 800 metrov. Oproti konceptu kde rolovacia dráha ústi priamo k prahu vzletovo pristávací dráhy je čas obsadenia dlhší v rozmedzí od 1 do 2 minút, podľa typu lietadla a poveternostných podmienok. Po pristátí je čas obsadenia VPD rôzny. Riadiaci letovej prevádzky počas tvorby sledu lietadiel na priblíženie a pristátie musí rátať s využitím celej VPD pre pristátie, to znamená s otáčaním lietadiel po pristátí až na konci VPD a rolovaním späť po dráhe vo vzdialenosti 1800 metrov. S vytvorením bezpečnej medzery sú lietadlá radené do sledu pre túto dráhu po šiestich minútach. Táto hodnota je daná na základe praxe riadiacich a postačuje pre prípad využitia plnej dĺžky VPD. Tento rozstup býva častokrát veľký a lietadlo dobrzdí skôr a tým pádom opustí dráhu v skoršom časovom rozmedzí. Pre zvýšenie kapacity dráhy autor vytvorí postup, kde nebude nutné využívať 6 minútové rozstupy.

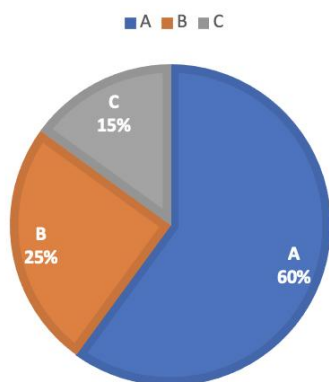
2.4 Prevádzka na LZTT

Letisko Poprad – Tatry je výnimočné svojou polohou a je využívané prevádzkou širokého spektra. Od malých ultraľahkých lietadiel cez stredné veľké bizjety až po dopravné lietadlá. Nie každé lietadlo žiada využitie celej dĺžky vzletovo pristávacej dráhy, nie je to nutné. Tento faktor je dôležitý hlavne pre pristátia a obsadenosť dráhy. Autor rozdelil prevádzku na LZTT do 3 kategórií. Tieto kategórie sú vytvorené podľa brzdných dráh lietadiel a času, ktorý im trvá uvoľniť vzletovo pristávacej dráhy po ich prilete. Kategórie:

1. Kategória A: Do tejto kategórie patria ultraľahké lietadlá, ľahké športové zariadenia a všetky ostatné jednomotorové piestové lietadlá. Najčastejšie typy tejto kategórie na LZTT: Piper 28, Cessna 152, Cessna 172, Diamod 20, Diamond 40, Dynamik WT-9, Viper SD4
2. Kategória B: Do tejto kategórie patria viacmotorové piestové lietadlá, turbovrtuľové lietadlá a malé prúdové lietadlá. Najčastejšie typy tejto kategórie na LZTT: Piper 34, Diamond 42, Diamond 62, Pilatus 12, Piper M600, Cessna 510, Cessna 525
3. Kategória C. Do tejto kategórie patria stredne veľké a veľké prúdové lietadlá a dopravné lietadlá. Najčastejšie typy tejto kategórie na LZTT: Cessna 560 XLS, Gulfstream 6, Boeing 737, Airbus 320

Autor vytvoril dennú štatistiku rozdelenú podľa vytvorených kategórií lietadiel. Štatistika bola tvorená na základe prevádzkovej situácie počas letnej sezóny 2025 od júna do septembra. V týchto mesiacoch bol zaznamenaný najvyšší počet leteckých pohybov počas roka. Do štatistiky boli vybrané len lety, ktoré sú predmetom výskumu článku. Teda len pristávajúca prevádzka na VPD 27. Výcviková prevádzka ako letné pristátia a vzlety spolu s nízkymi preletmi a nízkymi priblíženiami neboli brané do úvahy. Taktiež ani prevádzky vrtuľníkov.

DENNÁ PRÍLETOVÁ ŠTATISTIKA



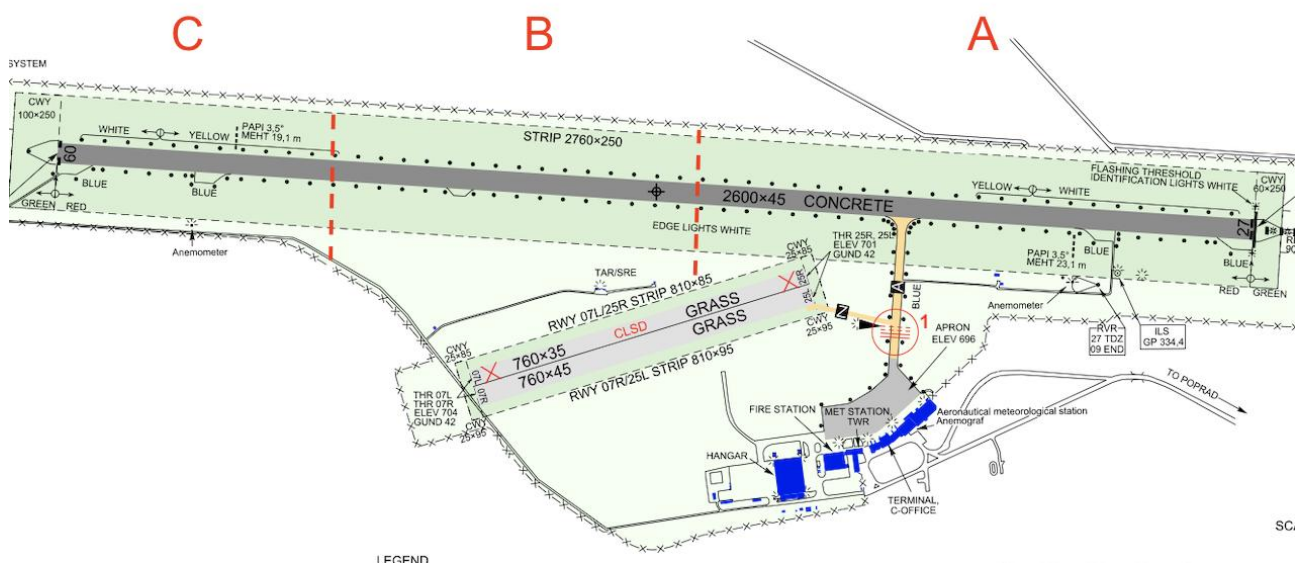
Zdroj: Vlastné spracovanie

Obr. 1. Denná príletová štatistika

Denný pohyb kategórie C tvorí 15% z celkového denného pohybu. Sú to majoritne pravidelné letecké spojenia ako napríklad lety do Londýna v kombinácii s letnou charterovou prevádzkou, napríklad do Antálie. Kategória B tvorí 25% denných pohybov. Sú to väčšinou súkromné prúdové lietadlá, ktoré vozia cestujúcich do Poprad za oddychom alebo na pracovné stretnutia. Taktiež sú to viacmotorové piestové lietadlá, ktoré vykonávajú fotolety, výcviky s plným pristátím alebo taxi. Ide najmä o spojenia s Bratislavou, Prahou. Kategória A má najväčšie zastúpenie v Poprade a to až 60%, jedná sa najmä o vyhlídkové a športové lety z letiska.

2.5 Časy a vzdialenosti jednotlivých kategórií

Na základe pozorovaní autor určil brzdné dráhy pre ním vytvorené kategórie. Brzdné dráhy závisia najmä od typu lietadla, poveternostných podmienok a podmienok na pristávacej dráhe. Pre kategóriu A je určená zóna dobrzdenia od prahu vzletovo pristávacej dráhy 1200 metrov. Pre kategóriu B je to 2000 metrov a pre kategóriu C od 2000m až do konca dráhy. Na základe rozhodnutia pilota alebo ak to prikazuje príručka prevádzkovateľa, má posádka právo využiť celú dĺžku dráhy pre pristátie a otočenie smerom naspäť môže byť vykonané buď na mieste dobrzdenia alebo až na obratisku. Jedno obratisko sa nachádza v zóne B a 2 obratiska v zóne C [5].



Zdroj: AIP SR plus úprava autor

Obr. 2. Zóny dobrzdenia po pristáti

Autor zmeral časy od dotyku lietadla na pristávacej dráhe až po jeho uvoľnenie na rolovacej dráhe A pre jednotlivé kategórie. Časy boli merané počas mája roku 2026 pre prílety na letisko LZTT. Autor započal stopky po dotyku lietadla s VPD a vypol ich keď lietadlo celou jeho konštrukciou uvoľnilo VPD. Merania boli tvorené len za podmienok kedy VPD bola suchá a predná zložka vetra nepresahovala 10 uzlov. Určené časy pre každú kategóriu sú priemernou hodnotou z nameranej vzorky dát. Priemerný čas uvoľnenia dráhy pre kategóriu A bol 1:55 minúty. Pre vytvorenie rozstupu bezpečným smerom bude zaokrúhlený tento čas smerom nahor na 2 minúty. Pre kategóriu B je priemerný čas uvoľnenia dráhy 3:32 minúty. V tejto kategórii bol veľký rozptyl medzi minimálnym a maximálnym časom, preto autor zaokrúhli čas na 3:45 minúty. Priemerný čas uvoľnenia dráhy pre kategóriu C je 4:42 minúty. Pre túto kategóriu je špecifické hlavne to, že lietadlá sú rozmerovo veľké a častokrát volia po dobrzdení dojazd až ku koncu dráhy a otočenie sa na poslednom obratisku. Autor kvôli tomuto faktu pridáva zaokrúhlenie na celých 5 minút.

Pre tvorenie sledu na priblíženie z pohľadu riadenia letovej prevádzky nemôžu byť použité tieto hodnoty. Ak by ich riadiaci letovej prevádzky použili, tak v sekunde, kedy by prvé lietadlo uvoľnilo pristávaciu dráhu, druhé by už pristávalo. K týmto hodnotám musí byť vnesená medzera pre bezpečný rozstup. Ku zaokrúhleným časom preto autor pridáva ešte jednu minútu. Konečné časy rozstupu za jednotlivými kategóriami sú nasledovné:

1. A: 3 minúty
2. B: 4:45 minúty

3. C: 6 minút

3 Metodika výpočtu pre zvýšenie kapacity VPD

Na zvýšenie kapacity vzletovo pristávacej dráhy autor využije rozstupy na základe časovej separácie jednotlivých kategórií. Riadiaci letovej prevádzky rozlíši lietadlá podľa troch kategórií navrhnutých autorom, na ich základe si od pilota overí jeho vypočítanú brzdnú dráhu pri aktuálnych podmienkach. Na základe určenej kategórie lietadla po pristáti určí požadovaný rozstup pre sled. Pre výpočty autor použije teóriu hromadnej obsluhy. Teória hromadnej obsluhy skúma systémy, kde je potrebné obslúžiť istý počet žiadateľov, ktorí čakajú v rade. Aplikuje to na problém výskumu. Obslužný systém je pristávacia dráha a žiadatelia, ktorí ho chcú využiť sú lietadlá. Rad v ktorom čakajú je sled pre priblíženie.

3.1 Momentálna kapacita dráhy

V aktuálne nastavenom systéme autor ráta obsadenosť dráhy každým lietadlom po dobu 6 minút. Po použití vzorca z teórie hromadnej obsluhy:

$$U = t/\lambda \rightarrow 60/6 \rightarrow 10 \quad (1)$$

t = čas

λ = obsadenie dráhy lietadlom po pristáti

Hodinová kapacita pristávacej dráhy na letisku Poprad – Tatry je momentálne 10 lietadiel za hodinu. Počas priemerného dňa letisko v Poprade vybaví 70 leteckých pohybov, pre potreby článku autor uvažuje so 70 lietadlami. Prevádzková doba letiska je 12 hodín, avšak počas prvých a posledných hodín je prevádzka nízka až žiadna. Do výpočtov autor použije prevádzkovú dobu letiska 10 hodín. V priemere 7 pristávajúcich lietadiel za hodinu.

Využitie dráhy (ρ) :

$$\rho = A/U \rightarrow 7/10 \rightarrow 70\% \quad (2)$$

A = intenzita príchodov

U = obsadenosť dráhy

Počas bežného dňa je pristávacia dráha v momentálnom systéme využitá na 70%.

Pravdepodobnosť voľnej dráhy (ρ_0): $\rho_0 = 1 - \rho \rightarrow 30\%$.

Priemerný počet lietadiel v systéme (L):

$$L = A/(U-A) \rightarrow 7/(10 - 7) \rightarrow 2,333 \rightarrow 2 \quad (3)$$

V priestore okolo letiska Poprad – Tatry sú v priemere 2,333 \rightarrow 2 lietadla. Teda kým jedno pristáva tak jedno až dve lietadlá čakajú na poradie.

Ak autor zmení čísla a namiesto bežného dňa vloží hodnoty z najviac vyťažených dní pri počte pohybov 110 tak vypočítané hodnoty sa zmenia nasledovne:

Využitie dráhy (ρ) : 110% - to znamená viac než je jej maximálna možná kapacita

Pravdepodobnosť voľnej dráhy (ρ_0): $\rho_0 = 10\%$

Priemerný počet lietadiel v systéme bude nad udržateľnú kapacitu a jedno lietadlo počas hodiny bude musieť vyčkávať a každú hodinu toto číslo bude rásť až do ukončenia poskytovania služieb [6].

3.2 Kapacita dráhy s využitím navrhovanej koncepcie

Pre výpočet navrhovanej kapacity dráhy vstupuje viacero faktorov. Sú to: percentuálne rozdelenie prevádzky a čas obsadenia dráhy jednotlivými skupinami lietadiel.

Skupiny lietadiel, ich percentuálne zastúpenie počas dňa a čas obsadenia dráhy:

A – 60% - 3 minúty

B – 25% - 4:45 minúty

C – 15% - 6 minút

Priemerný čas obsadenia dráhy prevádzkou T_{avg} :

$$T_{avg} = (A_p \times A_t) + (B_p \times B_t) + (C_p \times C_t) \quad (4)$$

$$T_{avg} = (0,6 \times 3) + (0,25 \times 4,75) + (0,15 \times 6) = 3,8875 \quad (5)$$

A_p = Kategória a jej percentuálne zastúpenie

A_t = Kategória a jej obsadenie dráhy

Priemerný čas obsadenia dráhy podľa prevádzky na LZTT s využitím autorovho konceptu je 3,8875 minúty. Čas obsadenia dráhy bol znížený o viac ako 2 minúty.

Použitím vzorca z teórie hromadnej obsluhy:

$$U = t/\lambda \rightarrow 60/3,8875 \rightarrow 15,43 \rightarrow 15 \quad (6)$$

Nová hodinová kapacita dráhy je $15,43 \rightarrow 15$ lietadiel. Použitím nového konceptu autor zvýšil kapacitu o 54%. Dosadením novej kapacity do bežného a maximálneho dňa na LZTT sú vypočítané nasledovné hodnoty:

Využitie dráhy (ρ) : bežný deň – 45%, maximálny deň – 71%

Pravdepodobnosť voľnej dráhy (ρ_0): bežný deň – 55%, maximálny deň – 29%

Priemerný počet lietadiel v systéme (L): bežný deň – 0,83, maximálny deň – 2,48

Počet lietadiel za hodinu podľa kategórie:

A: 9,3 \rightarrow 9

B: 3,9 → 4

C: 2,3 → 2

Kumulovaná denná kapacita za 10 hodín podľa kategórie:

A: 93

B: 39

C: 23

Celková denná kapacita za 10 hodín je 155 lietadiel.

3.3 Diskusia

Autor v článku zvyšuje kapacitu vzletovo pristávacej dráhy s jednou rolovacou dráhou. Výpočty sú prevedené na vzorovom letisku Poprad – Tatry, avšak princíp a metodika výpočtu sú aplikovateľné pre všetky letiská s daným konceptom VPD. Poloha rolovacej dráhy voči VPD je dôležitá a môže meniť parametre, hlavne čas opustenia VPD. Časy uvoľnenia VPD rôznych letísk sa budú líšiť, avšak rozdelenie do kategórií a brzdné dráhy ostávajú pre letiská nezmenené. Percentuálne zvýšenie kapacity rôznych letísk bude závisieť hlavne od pomerového zastúpenia jednotlivých kategórií. Čím bude väčšie zastúpenie kategórií A a B, tým bude koncept článku efektívnejší a popísanou metódou bude dosiahnuté zvýšenie hodinovej kapacity VPD. Pre letiská bez zmiešanej prevádzky so zastúpením len kategóriou C nie je možné týmto spôsobom zvýšiť kapacitu VPD.

4 Záver

Hlavným cieľom článku bol výskum zavedenia nového postupu, ktorý má za úlohu zvýšiť hodinovú kapacitu dráhového systému v konfigurácii – jedna vzletovo pristávacia dráha s jednou rolovacou dráhou. Autor zvolil ako vzorové letisko pre výskum letisko Poprad – Tatry. Toto letisko spĺňa všetky atribúty pre potreby článku a nového navrhovaného postupu. Prvým krokom bolo štatistické vyhodnotenie prevládajúcej prevádzky na tomto letisku. Výsledky sú podobné aj pre ostatné malé medzinárodné letiská. Spolu s prevádzkou bol zhodnotený aktuálny stav kapacity dráhového systému a riadenia letovej prevádzky. Autor následne rozdelil prevádzku daného letiska do troch skupín A,B a C. Rozdelenie lietadiel do skupín bolo podmienené brzdnými vzdialenosťami lietadiel po pristátí. Na základe týchto kategórií autor zmeral priemerný čas obsadenia vzletovo pristávacej dráhy pre každú skupinu v reálnom prostredí pre rôzne atmosférické podmienky. Využitím teórie hromadnej obsluhy vyrátal zvýšenie hodinovej kapacity o 54% pri použití nového postupu. Dané poznatky a postup je možné aplikovať na letiská s týmto konceptom.

5 Literatúra

- [1] Alexandre L.W. Bradley, 5 - Airport apron, runway and taxiway design, The Independent Airport Planning Manual, Woodhead Publishing, 2010, Pages 81-100, ISBN 9781845697136, <https://doi.org/10.1533/9780857090355.81>
- [2] Jianan Yin, Yuxuan He, Yuanyuan Ma, Peiran Qiao, Xuan Liu, Data-driven recognition of hot taxiway segments for assessing airport surface traffic efficiency, Journal of Air Transport Management, Volume 127, 2025, 102822, ISSN 0969-6997, <https://doi.org/10.1016>

- [3] Dönmez, K.; Aydoğan, E.; Çetek, C.; Maraş, E.E. The Impact of Taxiway System Development Stages on Runway Capacity and Delay under Demand Volatility. *Aerospace* 2023, 10, 6. <https://doi.org/10.3390/aerospace10010006>
- [4] LPS, AIP, 2025 [online]. [cit. 2026- 05- 16]. Dostupné na internete: <https://aim.lps.sk/web/>
- [5] Zhao, Ningning, Zhang, Junchao, Research on the Prediction of Aircraft Landing Distance, *Mathematical Problems in Engineering*, 2022, 1436144, 10 pages, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/1436144>
- [6] Xiaofeng Zhao, Kenneth Gilbert, A queuing theory-based approach to evaluate service delivery quality, *International Journal of Quality and Service Sciences*, Volume 17, Issue 2, 2025, Pages 155-167, ISSN 1756-669X, <https://doi.org/10.1108/IJQSS-10-2024-0149>.