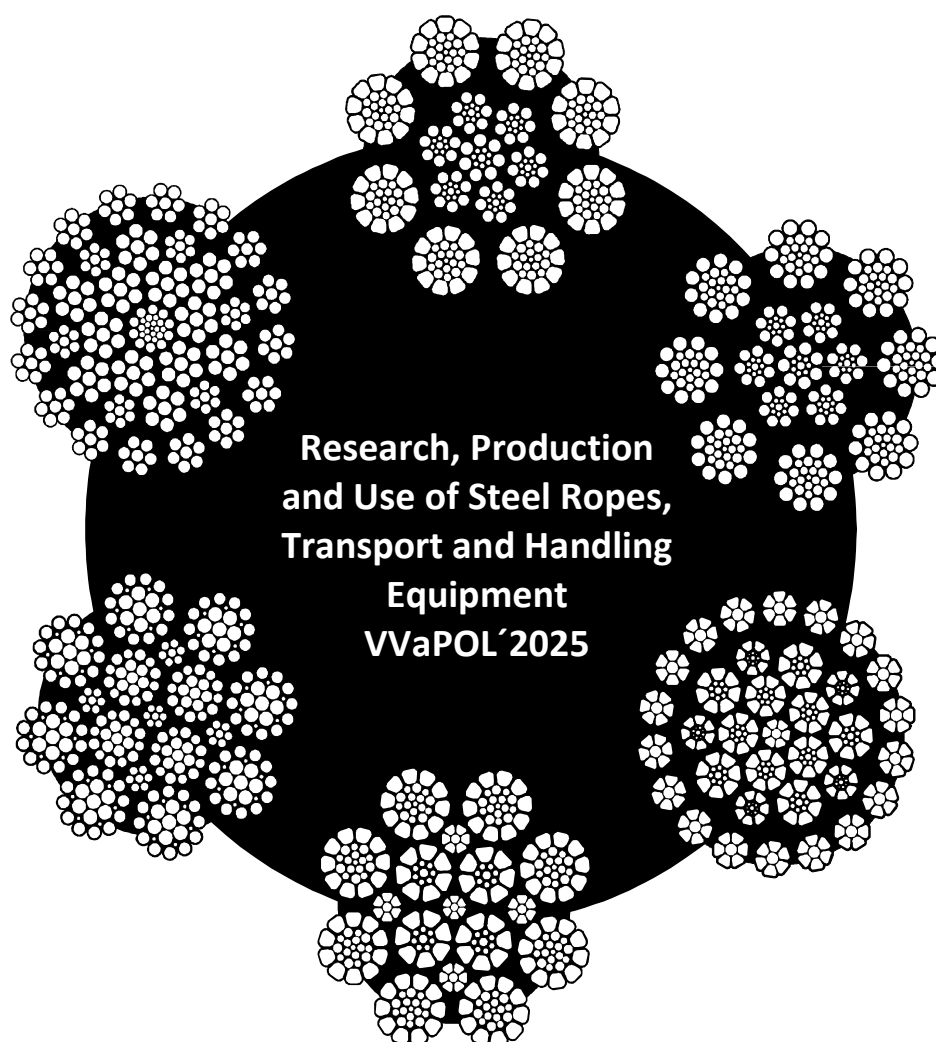




Technical University of Kosice
Faculty of Mining, Ecology, Process
Control and Geotechnologies
University of Belgrade
Faculty of Mining and Geology



**22nd International Conference
VVaPOL'2025**
Proceedings of the Conference



23–26 September 2025

**Grand Hotel PERMON
High Tatras – Podbanske**



Faculty of Mining, Ecology,
Process Control and Geotechnologies

Technical University of Kosice
Institute of Logistics and Transport

22nd International Conference VVaPOL´2025

**RESEARCH, PRODUCTION
AND USE OF STEEL ROPES, TRANSPORT
AND HANDLING EQUIPMENT**

Proceedings of the Conference

September 23 – 26, 2025

High Tatras – Podbanske

Editors:

doc. Ing. Ľubomír Ambriško, PhD.

prof. Ing. Daniela Marasová, CSc.

© Technická univerzita v Košiciach, 2025

Park Komenského 14, 04200 Košice, Slovakia

<https://lana.ul.fberg.tuke.sk/> vvapol.fberg@tuke.sk

ISBN 978-80-553-4792-9

INTERNATIONAL SCIENTIFIC COMMITTEE / MEDZINÁRODNÝ VEDECKÝ VÝBOR:

doc. Ing. Ľubomír Ambriško, PhD., F BERG TUKE, SR
doc. Ing. Miriam Andrejiová, Sjf TUKE, SR
doc. Ing. Peter Bindzár, PhD., F BERG TUKE, SR
prof. Mgr. Dagmar Cagánová, PhD., NEWTON University Praha, ČR
prof. dr hab. inž. Grzegorz Domek, Kazimierz Wielki University, Bydgoszcz, PL
prof. Ing. Gabriel Fedorko, PhD., F BERG TUKE, SR
prof. Ing. Horst Gondek, DrSc., VŠB-TU Ostrava, ČR
prof. dr. hab. Ing. Monika Hardygóra, TU Wroclaw, PL
doc. Ing. František Helebrant, CSc., VŠB-TU Ostrava, ČR
prof. dr hab. inž. Janusz Juraszek, ATH Bielsko-Biala, PL
doc. Ing. Rudolf Kampf, Ph.D., MBA, VŠTE České Budějovice, ČR
doc. Ing. Peter Koščák, PhD., LF TUKE, SR
doc. Ing. Jozef Krešák, PhD., F BERG TUKE, SR
prof. Ing. Jozef Kuľka, PhD., Sjf TUKE, SR
Dr. Tomasz Malkus, Cracow University, PL
doc. Ing. Martin Mantič, PhD., Sjf TUKE, SR
prof. Ing. Daniela Marasová, CSc., F BERG TUKE, SR
doc. Ing. Pavel Peterka, PhD., F BERG TUKE, SR
prof. dr Ivica Ristovic, RGF Belehrad, RS
prof. Ing. Aleš Slíva, Ph.D., VŠB-TU Ostrava, ČR
doc. Ing. Janka Šaderová, PhD., F BERG TUKE, SR
prof. dr Rade Tokalić, RGF Belehrad, RS
doc. Ing. Marianna Tomašková, PhD., Sjf TUKE, SR
prof. Ing. Peter Trebuňa, PhD., Sjf TUKE, SR
prof. dr hab. inž. Krzysztof Witkowski, University of Zielona Góra, PL
prof. Ing. Marián Šofranko, PhD., F BERG TUKE, SR
prof. Ing. Andrea Šofranková, PhD., F BERG TUKE, SR
pplk. Ing. Miroslav Betuš, PhD., F BERG TUKE, SR
pplk. Ing. Bc. Marek Plavčko, MV SR (OR HaZZ Košice), SR
doc. Ing. Miriam Pekarčíková, PhD., Sjf TUKE, SR
Ing. Marek Kliment, PhD., Sjf TUKE, SR
Ing. Anna Grinčová, PhD., FEI TUKE, SR

ORGANIZING COMMITTEE / ORGANIZAČNÝ VÝBOR:

doc. Ing. Janka Šaderová, PhD., F BERG TUKE, SR
prof. dr. Ivica Ristović, RGF Belehrad, RS
prof. Ing. Daniela Marasová, CSc., F BERG TUKE, SR
prof. Ing. Gabriel Fedorko, PhD., F BERG TUKE, SR
doc. Ing. Pavel Peterka, PhD., F BERG TUKE, SR
doc. Ing. Ľubomír Ambriško, PhD., F BERG TUKE, SR
doc. Ing. Peter Bindzár, PhD., F BERG TUKE, SR
doc. Ing. Peter Koščák, PhD., LF TUKE, SR
Ing. Bohdana Bobinics, F BERG TUKE, SR
Kvetoslava Spanyoliková, F BERG TUKE, SR

Each paper published in the Proceedings of the Conference was independently reviewed in an anonymous double blind peer review process. / Každý článok publikovaný v Zborníku príspevkov z konferencie bol nezávisle posúdený v anonymnom dvojitém uzavretom recenznom procese.

REVIEWERS / RECENZENTI:

doc. Ing. Robert Brázda, Ph.D., VŠB-TU Ostrava, ČR

Prof. Zoran Despodov, Ph.D., Goce Delchev University in Stip, MK

Prof. Robert Król, DSc, PhD, Eng, Wrocław University of Science and Technology, PL

ACKNOWLEDGEMENTS / POĎAKOVANIE

This publication was supported by the project VEGA 1/0728/24 entitled "Research on the possibilities of implementing sensory technologies and visualization methods for the needs of digital transformation of pipeline conveyor systems", project KEGA 013TUKE-4/2023 "Creation and innovation of university and lifelong education in study field 'transport' according to the development of digital and practical skills", project APVV-23-0342 "New structural and material elements for sustainable transport of bulk materials", project APVV SK-PL-23-0052 "Modeling of transverse vibrations of belt and diagnostics of pipe conveyors" and project VEGA 1/0114/25 entitled "Study of utility properties and sustainability of active logistic elements of belt transport". / Táto publikácia vznikla vďaka podpore projektu VEGA 1/0728/24 pod názvom „Výskum možností implementácie senzorických technológií a vizualizačných metód pre potreby digitálnej transformácie potrubných dopravníkových systémov“, projektu KEGA 013TUKE-4/2023 „Tvorba a inovácia vysokoškolského a celoživotného vzdelávania v odbore doprava na báze rozvoja digitálnych a praktických zručností“, projektu APVV-23-0342 „Nové konštrukčné a materiálové prvky pre udržateľnú prepravu hromadných materiálov“, projektu APVV SK-PL-23-0052 „Modelovanie priečných vibrácií pásu a diagnostika potrubných dopravníkov“ a projektu VEGA 1/0114/25 pod názvom „Štúdium úžitkových vlastností a udržateľnosti aktívnych logistických prvkov pásovej dopravy“.

CONTENTS

Ambriško Ľubomír, Čabaníková Lucia, Bokša Peter: Assessment of forklift parameters using the DOE method	8
Bartusek Lukáš, Mikler Vojtěch, Szkandera Pavel: Comparison of the effectiveness of BIO and mineral lubricants in corrosion protection.....	16
Betušová Ivanna, Plavčko Marek, Betuš Miroslav: Winch systems on firefight vehicles: Advancing rescue operations and safety	25
Bindzár Peter: Criteria for creating mathematical models	33
Bobinics Bohdana, Marasová Daniela, Lokaj Alexander, Lokajová Zuzana: Simulation of material throughput during belt conveyor transportation.....	39
Čabaníková Lucia, Ambriško Ľubomír, Jevický Matej: Maintenance options for forklifts with different engine types	48
Fabianová Jana, Janeková Jaroslava, Rigó Ladislav: The use of simulations in transportation and handling systems: A case study.....	57
Ferencz Gabriel: Reversing – threats and dangers when operating transport equipment.....	66
Janeková Jaroslava, Fabianová Jana, Krajný Peter: Economic efficiency and risks associated with investment in a road milling machine.....	72
Kačmáry Peter, Kovalčík Jakub, Kleinová Kristína, Straka Martin: Supplier evaluation system design using multi-criteria decision-making: A case study of Termo s.r.o.	82
Kleinová Kristína, Kačmáry Peter, Straka Martin, Kovalčík Jakub: Possible risks in supply chain management	89
Koščák Peter, Koščáková Martina, Marasová ml. Daniela, Szökeová Ľubomíra: Enhancing the efficiency of the passenger check-in process in air transport.....	95
Kovalčík Jakub, Straka Martin, Kačmáry Peter, Kleinová Kristína: Implementation of modern technologies in intra-company material handling	104
Kozár Alfréd: Exemption from employer liability for work-related accidents.....	112
Kronová Jana, Pekarčíková Miriam, Trebuňa Peter, Kliment Marek, Baluch Michal: Risk factors affecting humans in the operation of transport and handling equipment in the context of digital ergonomics and Industry 5.0.....	118
Malindžáková Marcela, Šimonová Timea: Handling equipment maintenance process in IS SAP.....	128
Matisková Darina: Technical economic evaluation of material handling	136
Moravič Marek: Drive design with regard to reducing vibrations in a pipe conveyor.....	144
Muchová Patrícia: Simulation of pallet transport using AGVs in Taravrbuilder software .	150
Ondov Marek, Horizral Lukáš, Čulková Katarína: Integration of logistics flows in multimodal intercontinental transport	158
Pekarčíková Miriam, Trebuňa Peter, Kronová Jana, Kliment Marek: Synergy of PDM, APS, MES in the context of supporting the digitalization of business processes	167

Peterka Pavel, Malindžáková Marcela: Change in the quality of steel ropes after the introduction of the EN 12385 series of standards	174
Straka Martin, Kleinová Kristína, Kovalčík Jakub, Kačmáry Peter: Possibilities of using artificial intelligence for logistics needs.....	181
Svoboda Václav, Molnár Kamil: Inspection of excavator hanging cables using the Metal Magnetic Memory (MMM) method.....	190
Šaderová Janka, Tomašková Marianna: Modeling of the transport cycle turnover train set underground	203
Trebuňa Peter, Kliment Marek, Pekarčíková Miriam, Kronová Jana, Hovana Anton: Automation of selected processes in industrial production and its contribution to the company	211



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

Posúdenie parametrov vysokozdvížných vozíkov metódou DOE

Lubomír Ambriško^{1*}, Lucia Čabaníková², Peter Bokša³

¹ Ústav logistiky a dopravy, Fakulta BERG, Technická univerzita v Košiciach, Park Komenského 14, 04200 Košice, Slovenská republika, e-mail: lubomir.ambrisko@tuke.sk

² Ústav logistiky a dopravy, Fakulta BERG, Technická univerzita v Košiciach, Park Komenského 14, 04200 Košice, Slovenská republika, e-mail: lucia.cabanikova@tuke.sk

³ Ústav logistiky a dopravy, Fakulta BERG, Technická univerzita v Košiciach, Park Komenského 14, 04200 Košice, Slovenská republika, e-mail: peter.boksa@tuke.sk

* Korešpondenčný autor

Abstract:

This study focuses on material handling technology, specifically evaluating Class 1 t and Class 3 t forklift trucks with different drive systems. Using the Design of Experiments (DOE) method, the research investigated the influence of load capacity, engine type, and fork length on the maximum traction force of forklifts. Statistical tools from the DOE methodology were applied to systematically classify and quantify the causes and relationships between the observed variables (factors) and the response variable, i.e., the maximum traction force. The results of this work demonstrate the application of the DOE method, which accounts for factor interactions, to select the most effective design configuration.

Key words:

forklift truck, DOE, traction force, drive systems

Úvod

Vysokozdvížné vozíky sú vo väčšine priemyselných odvetví všadeprítomným manipulačným prostriedkom (Choi et al., 2009) a sú jedným z najpopulárnejších zariadení na vnútropodnikovú prepravu (Vita and Gattamelata, 2023).

Metóda DOE je viacúčelovou technikou (Box et al., 2005). Jej použitie nie je obmedzené na fyzikálne experimenty, ale môže byť aplikovaná aj na simulačné experimenty (Law and Kelton, 2000). Metodika DOE je účinným nástrojom na zvýšenie úrovne merania a hodnotenia. Pri akomkoľvek probléme s návrhom, plánovaním alebo riadením je k dispozícii viacero alternatív (Barad, 2014).

Práca (Tanco et al., 2007) prezentuje metodiku, ktorá sa snaží uľahčiť implementáciu DOE, ako prístup na preklenutie existujúcej priepasti medzi technikou a odvetviami. DOE ako štatistická metóda sa široko používa v rôznych oblastiach vedy a priemyslu, najmä na podporu návrhu, vývoja a optimalizácie produktov i procesov (Durakovic, 2017). Na podporu implementácie metódy DOE sú k dispozícii usmernenia a postupy (Montgomery, 2020). Premenné v DOE, ako je počet faktorov, úrovní a logika ich výberu, zvyčajne závisia od typu skúmania (testovanie, charakterizácia alebo optimalizácia), typu procesu a dostupných zdrojov.



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

Existuje však množstvo DOE návrhov, ktoré sa môžu teoreticky zhodovať s typom skúmania, a preto nie je jednoduché určiť, ktorý návrh poskytuje najlepší možný prehľad s použitím najmenších zdrojov (Jankovic et al., 2021).

Každý DOE návrh je zložený zo série krokov: plánovanie, realizácia experimentu a analýza zozbieraných experimentálnych údajov pomocou štatistických metód s cieľom vyvodit' platné a objektívne závery (Zahraee et al., 2013). Každý návrh experimentu začína výberom systému resp. procesu a identifikovaním problému. Stanovenie problému vedie k stanoveniu cieľov, na základe ktorých je potrebné definovať ukazovateľ výkonnosti t. j. premennú ozvy, ktorá by mala predstavovať kvantitatívnu mieru správania systému.

DOE je nástroj používaný na systematický vývoj a optimalizáciu produktov a procesov (Beg and Rahman, 2021), medzi jeho výhody oproti konvenčnej metóde patrí (Ranga et al., 2014):

- viac informácií pre jednotlivé experimenty,
- skrátený čas prípravy,
- zlepšenie účinnosti,
- spoľahlivosť informácií,
- schopnosť interakcií,
- spoľahlivejšia predikcia.

DOE je založená skôr na znalostiach ako na údajoch, integruje tak skutočné merania kvality a produktivity v rámci samotného experimentálneho procesu. Výsledkom je, že znalosti sa získavajú s čo najmenším vynaložením zdrojov. DOE súčasne minimalizuje množstvo údajov a zároveň maximalizuje ich kvalitu (Randall et al., 2016).

Cieľom tejto práce je stanovenie vplyvu vybraných parametrov vysokozdvížných vozíkov na maximálnu ťažnú silu pomocou metódy DOE.

1 Metódy a metodika

Metóda DOE sa používa na určenie príčin variácií, nájdenie podmienok, za ktorých sa dosiahne optimálna (maximálna alebo minimálna) ozva, porovnanie ozvy na rôznych úrovniach kontrolovaných premenných a vytvorenie modelu na predpovedanie ozvy (Ranga et al., 2014). V tejto práci bola ozvou maximálna ťažná sila vysokozdvížných vozíkov, ktorá sa líši v závislosti od ich typu a modelu.

DOE je ekonomická technika, pretože spoľahlivé výsledky možno získať na základe relatívne malého počtu meraní resp. pozorovaní. Správna analýza údajov z malého, ale dobre navrhnutého experimentu prinesie štatisticky spoľahlivé interpretácie. Veľkou výhodou je metodické skúmanie vplyvov faktorov a najmä ich interakcií. Interakcia medzi faktormi je základný, dôležitý koncept v metodológii experimentálneho dizajnu. K interakcii medzi dvoma faktormi dochádza, keď účinok jedného faktora, ako sa odhaduje na danej úrovni iného faktora, nie je rovnaký na všetkých úrovniach druhého faktora a naopak (Barad, 2014). Získanie dobrých výsledkov z návrhu experimentov zahŕňa (Ranga et al., 2014):

- stanovenie cieľa,
- voľba premenných,
- výber návrhu experimentu,



Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

- vykonanie návrhu,
- kontrola súladu údajov s experimentálnymi dátami,
- analýza a interpretácia výsledkov.

1.1 Návrh experimentu

Návrh 3 faktorového experimentu bol vytvorený pre faktory uvedené v Tab. 1 pre 4 vysokozdvížné vozíky 1 t a 3 t triedy s odlišným pohonom (elektrický/spaľovací motor). S rýchlym rozvojom priemyselnej logistiky sa úloha elektrických vysokozdvížných vozíkov v oblasti skladovania, nakladania, vykladania a prepravy stáva čoraz dôležitejšou (Zhang et al., 2023). Tieto vysokozdvížné vozíky ponúkajú výhody, ako sú nulové emisie, jednoduchá obsluha a vysoká efektivita manipulácie (Xu et al., 2023). Z týchto dôvodov boli porovnané s vysokozdvížnými vozíkmi so spaľovacím motorom. Pri niektorých manipulačných zariadeniach, ktorých mobilnosť nemá byť obmedzená, sa ako prvotný zdroj energie najčastejšie používa naftový motor. Priamy prenos energie z hnacieho motora na pohyblivé mechanizmy má určité nevýhody, používa sa obmedzene a je na ústupe (Jasaň and Košábek, 1989).

Tab. 1 Zoznam vstupných faktorov a ich úrovní

Faktory		Dolná úroveň (-1)	Horná úroveň (+1)
A	Nosnosť [kg]	1550	3000
B	Motor [-]	Elektro	Spaľovací
C	Dĺžka vidlice [mm]	920	1070

Zdroj: autor

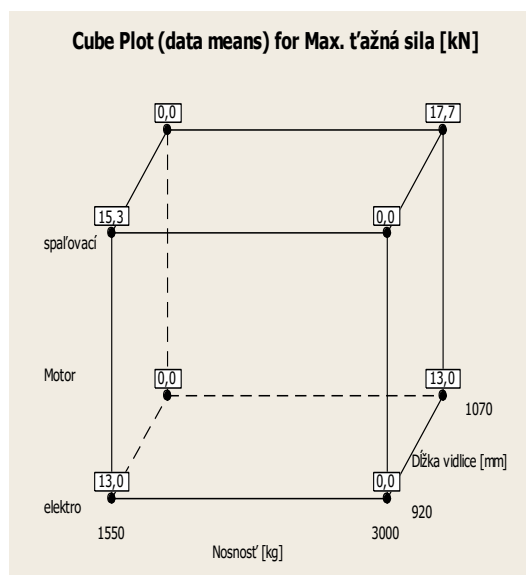
2 Výsledky

Parametre vysokozdvížných vozíkov boli využité pre návrhy experimentov metódou DOE s cieľom identifikovať vplyvov faktorov a ich interakcií. Nastavenie faktorov na určitú hodnotu sa označuje ako úroveň faktora. Pri vykonávaní experimentu boli použité dve úrovne (Tab. 1), dolná (-1) a horná (+1). Po vykonaní návrhu experimentu bolo skúmané, ako jednotlivé faktory ovplyvňujú ozvu. Vplyv faktora je charakterizovaný ako zmena ozvy vyvolaná modifikáciou úrovne tohto faktora. Vplyv faktora možno vyčíslieť ako rozdiel medzi priemernými hodnotami ozvy na hornej a dolnej úrovni tohto faktora. Ďalším typom vplyvu je interakcia, čo znamená, že ovplyvnenie ozvy jedným faktorom závisí od iného faktora alebo od viacerých ďalších faktorov (Montgomery, 2020).

V návrhu experimentu bol analyzovaný vplyv 3 faktorov: nosnosť (faktor A), motor (faktor B) a dĺžka vidlice (faktor C). Cieľom bolo zistiť, ktorý z faktorov alebo ich interakcií prvého rádu výrazne ovplyvňuje ozvu, konkrétne ťažnú silu. Na Obr. 1 je zobrazené grafické znázornenie experimentov pomocou kocky, pričom v jej vrcholoch sú hodnoty ozvy pre jednotlivé kombinácie faktorov.

Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

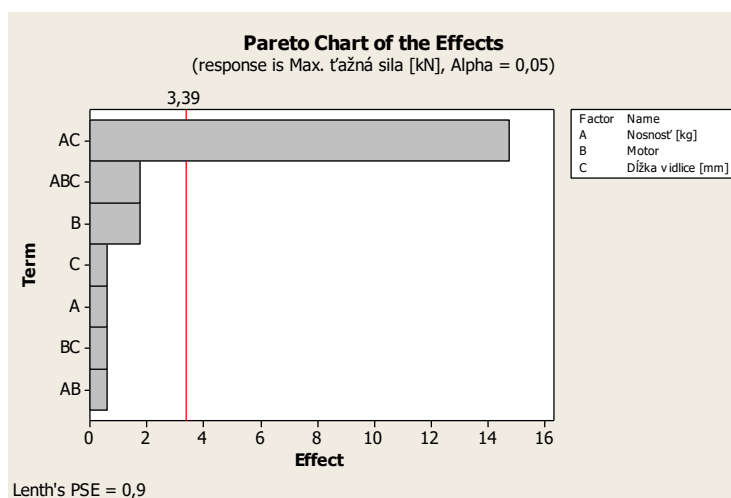


Obr. 1 Grafické znázornenie experimentu pomocou kocky
Zdroj: autor

Z výsledkov Paretovej analýzy (Obr. 2) je zrejmé, že vzájomné pôsobenie faktorov AC má signifikantný štatistický dosah na ozvu na hladine významnosti $\alpha=0,05$. Kvantifikácia vplyvu jednotlivých faktorov a ich interakcií je uvedená v Tab. 2.

Faktory a vzájomné pôsobenia, ktoré nemajú významný dosah, sa nachádzajú v blízkosti priamky v grafe na Obr. 3. Faktory a vzájomné pôsobenia, ktoré ležia mimo vykreslenej priamky, sú považované za dôležité.

Z grafov na Obr. 2 a 3 vyplýva, že interakcia AC má signifikantný efekt na ozvu (ťažnú silu) z hľadiska štatistického významu.



Obr. 2 Paretov graf významnosti faktorov a interakcií
Zdroj: autor



Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

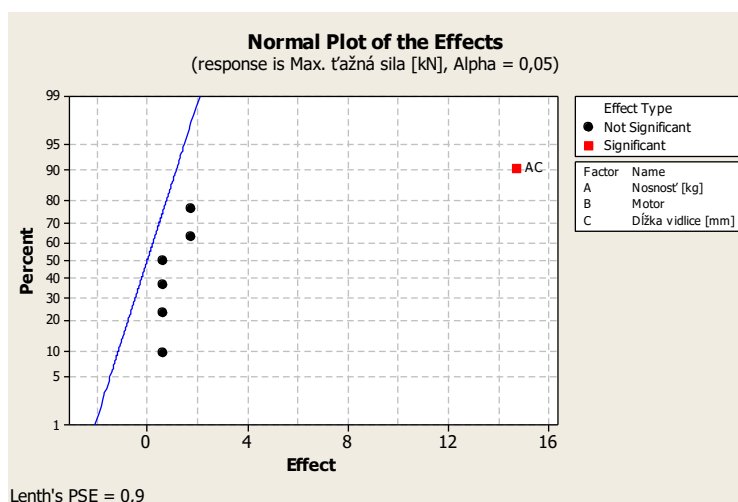
Na základe grafu interakcií (Obr. 4) je možné identifikovať vzájomné pôsobenia medzi jednotlivými faktormi. Keď sú znázornené rovnobežné čiary, to znamená, že vzájomné pôsobenie medzi faktormi je minimálne alebo nepodstatné. Čím väčší je uhol medzi týmito čiarami, tým väčšia je interakcia medzi sledovanými faktormi (Ambriško and Pešek, 2024).

Neexistuje významná vzájomná závislosť medzi faktormi A a B, ani medzi B a C. Avšak, medzi faktormi A a C je zaznamenaná významná vzájomná závislosť.

Tab. 2 Hlavné vplyvy faktorov a ich interakcií na ozvu

Faktory a ich interakcie	A	B	C	AB	BC	AC	ABC
Vplyvy	0,6	1,75	0,6	0,6	0,6	14,75	1,75

Zdroj: autor



Obr. 3 Normálny pravdepodobnostný graf významnosti faktorov a interakcií

Zdroj: autor

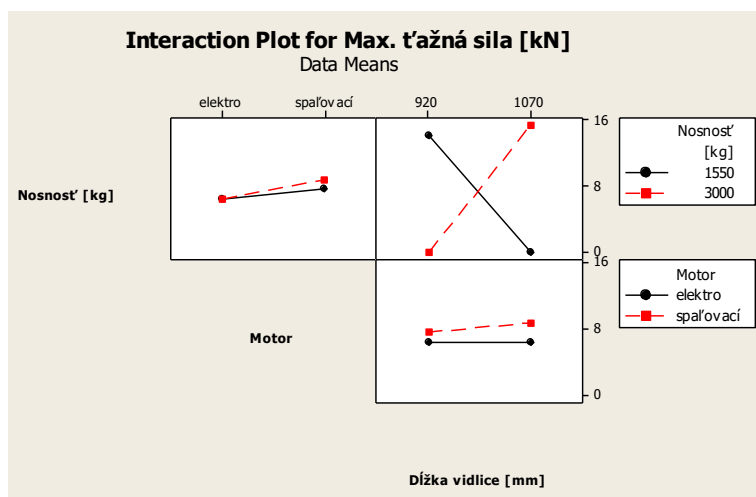
Obrysové oblasti hornej a dolnej úrovne (Obr. 5) zobrazujú naraz iba dva faktory, všetky ostatné faktory zostávajú rovnaké. Preto obrysové oblasti zodpovedajú len určitým pevným úrovňam. Ak sa úrovne menia, zodpovedajúcim spôsobom sa zmení aj hodnota ozvy. Preto je rozumné zvoliť pevné hodnoty na najnižšej a najvyššej úrovni a porovnať obrysové grafy. Na vytvorenie obrysových čiar konštantnej ozvy sú body na obrysovom grafe, ktoré predstavujú rovnakú hodnotu, spojené.

Najintenzívnejšie zafarbená tmavozelená plocha označuje obrys, kde má ozva najvyššiu hodnotu. Maximálnou ťažnou silou (17,7 kN) disponuje vozík so spaľovacím motorom s nosnosťou 3000 kg pri dĺžke vidlice 1070 mm.

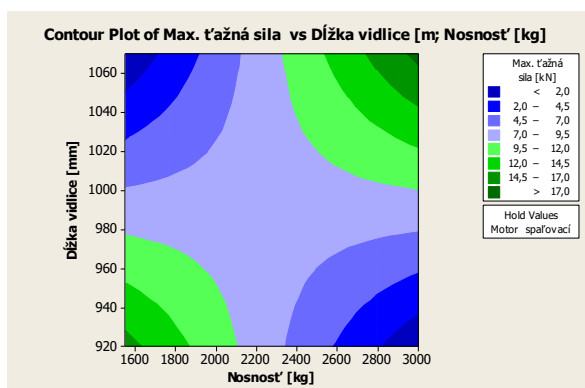
Porovnaním hodnôt ťažných síl pri kombináciách faktorov možno dospieť k záveru, že vozík s elektrickým pohonom je slabší ako vozík so spaľovacím motor, avšak je ekologickejší a dosahuje nižšie náklady na údržbu.

Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

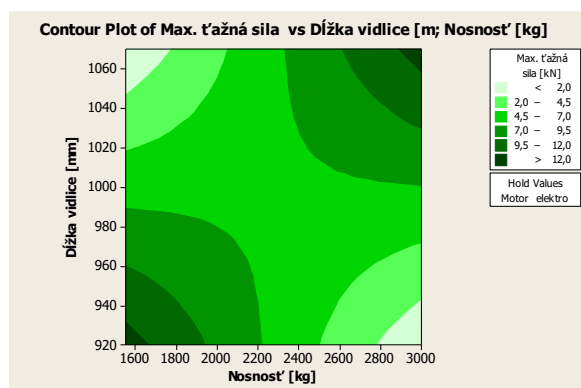
Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení



Obr. 4 Grafy interakcií hlavných efektov
Zdroj: autor



a) Hodnoty ozvy pre spaľovací motor



b) Hodnoty ozvy pre elektro motor

Obr. 5 Obrysové grafy
Zdroj: autor

3 Závery

Pri manipulácii s tovarom mechanizácia uľahčuje ľudskú prácu. Najčastejšie sa na manipuláciu a prepravu tovaru používajú vysokozdvížné vozíky, ktoré zabezpečujú horizontálnu dopravu kombinovanú s dopravou vertikálnou.

Metódou DOE bol potvrdený vplyv faktorov na max. ťažnú silu zvolených manipulačných zariadení t. j. 4 typov vysokozdvížných vozíkov, ktoré sa líšia v závislosti od typu ich pohonu, nosnosťou a dĺžkou vidlice. Štatisticky najvýznamnejší vplyv na sledovanú ozvu má dvojfaktorová interakcia AC – medzi faktormi A (nosnosť) a C (dĺžka vidlice) bol potvrdený štatisticky významný vplyv.



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

Pod'akovanie

Tento príspevok vznikol vďaka podpore projektu VEGA 1/0114/25.

Literatúra

- Ambriško, L., Pešek, L., 2024. Non-contact evaluation of deformation characteristics on automotive steel sheets. *Metals*, 14(5), 566, pp. 1-14.
- Barad, M., 2014. Design of Experiments (DOE) – A valuable multi-purpose methodology. *Applied Mathematics*, 5, pp. 2120-2129.
- Beg, S., Rahman, M., 2021. Chapter 11 - Design of Experiments application for analytical method development. In: Beg, S., Hasnain, M.S., Rahman, M., Almalki, W.H. (eds.), *Handbook of Analytical Quality by Design*. Academic Press, pp. 191-197.
- Box, G.E., Hunter, W.G., Hunter, J.S., 2005. *Statistics for experimenters*. 2nd Edition, Wiley, New York, pp. 12-13.
- Choi, C.-B., Park, P., Kim, Y.-H., Hallbeck, M.S., Jung, M.-C., 2009. Comparison of visibility measurement techniques for forklift truck design factors. *Applied Ergonomics*, 40, pp. 280-285.
- Durakovic, B., 2017. Design of Experiments application, concepts, examples: State of the art. *Periodica Engineering and Natural Sciences*, 5(3), pp. 421-439.
- Jankovic, A., Chaudhary, G., Goia, F., 2021. Designing the Design of Experiments (DOE) – An investigation on the influence of different factorial designs on the characterization of complex systems. *Energy & Buildings*, 250, 111298, pp. 1-17.
- Jasaň, V., Košábek, J., 1989. *Teória dopravných a manipulačných zariadení*. Alfa, Bratislava, 47-48 s.
- Law, A.M., Kelton, W.D., 2000. *Simulation modeling and analysis*. 3rd Edition, McGraw Hill, New York, pp. 24-25.
- Montgomery, D.C., 2020. *Design and analysis of experiments*. 10th Edition, J. Wiley, New York, pp. 97-99.
- Niedz, R.P., Evens, T.J., 2016. Design of Experiments (DOE) – history, concepts, and relevance to in vitro culture. *In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant*, 52, pp. 547-562.
- Ranga, S., Jaimini, M., Sharma, S.K., Chauhan, B.S., Kumar, A., 2014. A review on Design of Experiments (DOE). *International Journal of Pharmaceutical and Chemical Sciences*, 3(1), pp. 216-224.
- Tanco, M., Viles, E., Ilzarbe, L., Álvarez, M.J., 2007. Manufacturing industries need Design of Experiments (DoE). In: *Proceedings of the World Congress on Engineering 2007*, Vol II, WCE 2007, July 2-4, London, pp. 1-5.



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

- Vita, L., Gattamelata, D., 2023. Analytical method for assessing stability of a counterbalanced forklift truck assembled with interchangeable equipment. *Applied Sciences*, 13(2), 1206, pp. 1-11.
- Xu, J., Sui, Z., Xu, F., Wang, Y., 2023. A novel model-free adaptive proportional–integral–derivative control method for speed-tracking systems of electric balanced forklifts. *Applied Sciences*, 13(23), 12816, pp. 1-20.
- Zahraee, S.M., Hatami, M., Mohd Yusof, N., Mohd Rohani, J., Ziaei, F., 2013. Combined use of Design of Experiment and computer simulation for resources level determination in concrete pouring process. *Jurnal Teknologi*, 64(1), pp. 1-7.
- Zhang, T., Li, H., Fang, Y., Luo, M., Cao, K., 2023. Joint dispatching and cooperative trajectory planning for multiple autonomous forklifts in a warehouse: A search-and-learning-based approach. *Electronics*, 12(18), 3820, pp. 1-26.



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie ocelových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

Srovnání účinnosti BIO a minerálních mazadel v ochraně proti korozi

Lukáš Bartusek^{1*}, Vojtěch Mikler², Pavel Szkandera³

¹ ŽDB Drátovna, a.s., Jeremenkova 66, 73551 Bohumín, Česká republika, e-mail:
lukas.bartusek@zdb.cz

² ŽDB Drátovna, a.s., Jeremenkova 66, 73551 Bohumín, Česká republika, e-mail:
vojtech.mikler@zdb.cz

³ ŽDB Drátovna, a.s., Jeremenkova 66, 73551 Bohumín, Česká republika, e-mail:
pavel.szkandera@zdb.cz

** Korešpondenčný autor*

Abstract:

This paper explores the use of bio-based lubricants for steel wire ropes in industrial and marine applications. Bio lubricants represent an environmentally friendly alternative to traditional petroleum-based products, offering comparable technical performance. The aim of the testing was to evaluate the current level of bio lubricant performance, focusing on application conditions, durability, and their potential effect on rope service life. Unlike conventional lubricants, bio-based variants are biodegradable, non-toxic, and designed to reduce environmental impact, especially in sensitive or regulated operational environments. The results suggest that high-quality bio lubricants can meet technical requirements while contributing to sustainable maintenance practices.

Key words:

bio lubricants, steel ropes, rope lubrication, service life, ecological maintenance, sustainable technologies

Úvod

ŽDB DRÁTOVNA, a.s., provoz Lanárna, vyrábí ocelová lana pro důlní, stavební i námořní použití. V reakci na rostoucí ekologické požadavky zde byly zahájeny první testy biologicky odbouratelných maziv. Ta mohou nahradit klasická minerální maziva zejména v prostředích s vyšším ekologickým rizikem, například v přístavech nebo při použití lan v rybářství. Testy aktuálně probíhají v omezeném rozsahu a zaměřují se na odolnost proti korozi a stabilitu mazacího filmu. Hlavní bariérou zůstává vyšší cena a nutnost ověřit dlouhodobou provozní spolehlivost.

Mazivo je pro lano klíčové. Při výrobě snižuje tření, chrání proti poškození. V provozu prodlužuje životnost, snižuje opotřebení a brání korozi. Požadavky jsou přísné: dobrá přilnavost, odolnost proti vodě, teplotě i tlaku.



Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

Bio maziva nahrazují ropné produkty. Jsou šetrná k přírodě, vyrobená z rostlinných olejů nebo syntetických esterů (Elaskon Sachsen GmbH & Co. KG., 2019).

Neobsahují toxické složky a nezpůsobují škody ve vodním prostředí. Zájem roste hlavně v náročných oborech – rybářství, lesnictví, vodní stavby. Výzvou je výdrž. Bio mazivo musí zvládnout tlak, vlhko a sůl. Dosavadní výsledky jsou zkušební, ale ukazují slibný potenciál pro další vývoj i praktické nasazení.

1. Metody a metodika

Testování zahrnovalo jak bio mazadla, tak i dvě běžně používaná klasická mazadla – Nyrosten T-55 a Elaskon SK-U, která sloužila jako referenční základ pro srovnání výkonnosti. Cílem bylo vyhodnotit korozní odolnost, stabilitu mazacího filmu a schopnost pronikat mezi prameny ocelových lán. Bio maziva byla hodnocena v kontextu běžné technické praxe, kde je klíčová spolehlivost mazací vrstvy v extrémních podmínkách. Zkoušky probíhaly v laboratorních podmínkách podle jednotného protokolu.

Laboratorní část se zaměřila na zkoušky dle normy ČSN EN ISO 9227 (Český normalizační institut, 2017) v prostředí neutrální solné mlhy (NSS). Vzorky byly ošetřeny jednotlivými mazivy a umístěny do korozní komory SKBWF 400 A-TR, kde byly vystaveny solnému aerosolu po dobu až 336 hodin. Podmínky zkoušky: teplota 35 ± 2 °C, koncentrace NaCl 50 ± 5 g/l, pH 7,1. Jako kritérium selhání byla určena přítomnost korozních zplodin Fe na více než 50 % povrchu vzorku. Vizuální kontrola probíhala každých 24 hodin. Paralelně se sledovala přilnavost maziva, schopnost penetrace a odolnost vůči vymývání vodou.

V současnosti probíhá ověřování možnosti průmyslového nanášení bio maziv pomocí mazacích pump přímo při výrobě lán viz Obr. 1. Testuje se zejména rovnoměrnost aplikace, kompatibilita se stávajícím vybavením a efektivita krytí vnitřní struktury lana. Tyto praktické zkoušky jsou důležitým krokem pro ověření technologické použitelnosti bio maziv. Výsledky z laboratorní části slouží jako základ pro výběr vhodných kandidátů k reálnému provoznímu nasazení.

1.1 Příprava vzorků

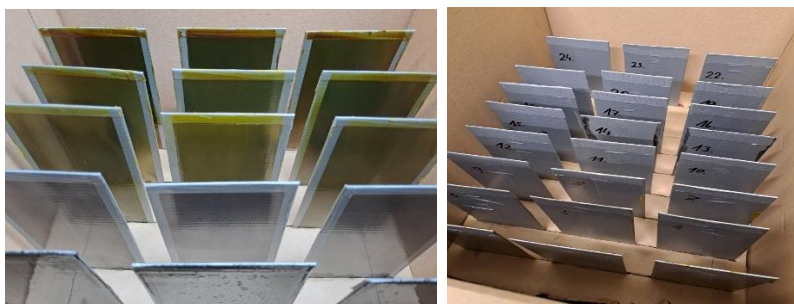
Pro každé testované mazadlo byly připraveny tři vzorky. Testy byly prováděny na ocelovém plechu. Cílem bylo ověřit účinnost mazacích filmů z hlediska korozní odolnosti a stability v agresivním prostředí. Každý vzorek byl označen a uložen zvlášť, aby se předešlo kontaminaci mezi jednotlivými mazivy. Způsob značení vzorků je patrný z obr. 2.

Mazadla byla nanášena za laboratorní teploty ručním nanášením štětcem. U bio mazadel se důsledně dodržovala doporučení výrobců ohledně aplikační teploty a doby zaschnutí.

**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie ocelových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**



Obr. 1 Nanášení maziva pomocí mazací pumpy
Zdroj: autor



Obr. 2 Vzorky mazadel
Zdroj: autor

Při přípravě testu došlo ke dvěma problémům: u maziva Elaskon WR-Biolub se během prvního pokusu vytvořila na povrchu maziva slupka, která bránila správnému pokrytí vzorku. Pro další testy bylo mazivo před aplikací krátce promícháno a ohřáto na 40 °C. Během přípravy vzorků bylo nutné zajistit rovnoměrnou vrstvu maziva. Toho bylo dosaženo nanášením několika tenkých vrstev, přičemž mezi jednotlivými aplikacemi byly ponechány pauzy pro zaschnutí. Pro minimalizaci vlivu korozního testu na hrany vzorků byly tyto části zakryty fólií odolnou vůči solnému roztoku. Přehled testovaných bio mazadel je uveden v Tab. 1. Klasická mazadla sloužila jako referenční základ pro srovnání účinnosti biologicky odbouratelných produktů. Jejich přehled je uveden v Tab. 2.



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

Tab. 1 BIO mazadla k testovaniu

Typ mazadla	Typ a báze	Klíčové vlastnosti
Elaskon WR-EAL	Syntetické estery, anorganické zahusťenie	Vysoká ochrana proti korozi, odolné voči slanej vode, EAL cert.
Nyrogen Biogrease VGP 02	Biogrease, VGP compliant	Výborná penetrácia do lana, trvanlivý mazací film
Biolubri Greaskote 100	Biobased glycerin, USDA certifikácia	Netoxické, hydrofóbne, nepraská, odolné voči slanej vode
Elaskon WR-Biolub	Bio varianta Elaskonu (detaily neverejné)	Predpokladaná bio kompatibilita, pre lanové aplikácie
Biogrease CASX 2	Kalciový sulfonátový komplex	Extrémna odolnosť voči korozi a záťaži, dlhá životnosť
Condor Lube 20-10G	Bio grease, biologicky odbourateľný	Dobrá penetrácia, bezpečné pre prírodu, VGP/EAL cert.

Zdroj: Biolubri. (n.d.), 2025, Nyrogen. (n.d.), 2025, CASX. (n.d.), 2025, Condor Chemie GmbH. (n.d.), 2025

Tab. 2 Klasická mazadla k porovnaniu

Typ mazadla	Typ a báze	Klíčové vlastnosti
Nyrogen T-55	Minerálne mazivo, klasický typ	Dobrá penetrácia, osvedčené v ťažbe, stabilný film
Elaskon SK-U	Mazivo s vysokou viskozitou	Silná prínavosť, dlhá výdrž v prevádzke, ochrana pred koroziou

Zdroj: Nyrogen. (n.d.), 2025, Elaskon Sachsen GmbH & Co. KG., 2019

1.2 Korozní zkoušky

Laboratorní testy probíhaly v solné komoře typu SKBWF 400 A-TR. Zařízení umožňuje simulaci extrémních korozních podmínek dle normy ČSN EN ISO 9227. V komoře byla udržována teplota 35 ± 2 °C, koncentrace NaCl 50 ± 5 g/l a pH roztoku přibližně 7,1. Průměrná depozice aerosolu dosahovala 1,4 ml/(80 cm²·h). Vzorby byly umístěny na plastových stojanech ve sklonu 15°, aby bylo zajištěno rovnoměrné proudění mlhy. Testy probíhaly až do vzniku výrazných korozních produktů na více než 50 % plochy, maximálně po dobu 336 hodin.

Výsledky ukázaly, že některá bio maziva (např. Biolubri Greaskote 100, CASX 2) se již výkonově přibližují k Elaskon SK-U, zatímco jiná výrazně zaostávají. Dlouhodobá stabilita filmu a vysoká viskozita zůstávají klíčovými parametry účinnosti bez ohledu na ekologické složení.

2. Výsledky

Nejllepší výkonnost v solné komoře vykazovala bio maziva Elaskon SK-U, (Viz Obr. 3) a Biolubri Greaskote 100 (Viz Obr. 4) které poskytly plnou ochranu po celých 336 hodin bez



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

známek selhání. Oproti tomu mazadla Elaskon WR-Biolub a Condor Lube 20-10G selhala již během prvních 6-72 hodin.



a) konec expozice po 336 h b) konec expozice po 336 h c) konec expozice po 336 h

**Obr. 3 Mazadlo Elaskon SK-U –
ukázka koroze**
Zdroj: autor



a) konec expozice po 336 h b) konec expozice po 336 h c) konec expozice po 336 h

**Obr. 4 Mazadlo Biolubri Greaskote 100 –
ukázka koroze**
Zdroj: autor

Mazadlo Elaskon SK-U bylo testováno na třech vzorcích po dobu 336 hodin v solné komoře. Dva vzorky vykazovaly první výskyt koroze až po 96 hodinách, zatímco u třetího vzorku došlo ke korozi již po 24 hodinách. I přes tuto odchylku byl rozsah koroze u všech vzorků nízký – mezi 5 až 10 % povrchu, což potvrzuje vysokou ochrannou účinnost maziva.

Výrazně kratší doba do prvního výskytu koroze jednoho ze vzorků může být přičítána nepřesné nebo nedostatečné aplikaci maziva – např. příliš tenká vrstva nebo neúplné pokrytí okrajů. Tato domněnka je podpořena i vizuálním porovnáním vzorků (Obr. 3 a vs. c), kde je patrný rozdíl v rozsahu a charakteru koroze mezi jednotlivými plochami. Vzorky, u nichž byla doba do výskytu koroze delší, mají výrazně rovnoměrnější ochranný film a méně pokročilé korozní poškození.

Celkově lze konstatovat, že Elaskon SK-U poskytuje velmi dobrou antikorozi ochranu, a to i při delší expozici v agresivním prostředí. Odchylky v jednotlivých výsledcích spíše odrážejí variabilitu nanášení než vlastnosti samotného produktu.

Mazadla Elaskon WR-Biolub a Condor Lube 20-10G vykazovala v testech nejnižší korozní odolnost. Společným znakem je, že jsou na olejové bázi, pravděpodobně z rostlinných nebo syntetických esterů. Jejich mazací film je málo soudržný a snadno se porušuje při expozici vlhkosti. Navíc pravděpodobně postrádají účinná antikorozi aditiva, což výrazně snižuje jejich výkonnost (viz. Obr. 5, 6).

Je však důležité zdůraznit, že test byl koncipován jako orientační ověření aktuální úrovně kvality bio mazadel a jejich možného použití jako náhrady za klasické ropné produkty. Testování probíhalo na referenčních plechových vzorcích, protože reálná lana nelze jednoduše standardizovaně otestovat stejným způsobem. Šlo navíc o statický test bez mechanického zatížení. Pro relevantní závěry by bylo vhodné pokračovat dalším ověřováním – ideálně v provozních podmínkách s cyklickým zatížením, abrazí, vlivem počasí a dlouhodobým sledováním.



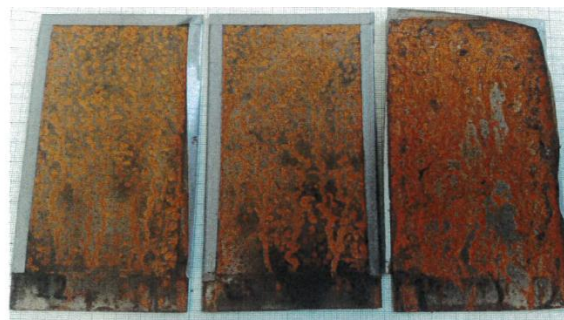
Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie ocelových lán, dopravných a manipulačných zariadení



a) koniec expozice po 168 h b) koniec expozice po 168 h c) koniec expozice po 72 h

Obr. 5 Mazadlo Elaskon WR-Biolub – ukázka koroze
Zdroj: autor



a) koniec expozice po 6 h b) koniec expozice po 6 h c) koniec expozice po 48 h

Obr. 6 Mazadlo Condor Lube 20-10G – ukázka koroze
Zdroj: autor

V Tab. 3 je uvedeno vyhodnocení korozních zkoušek, kdy byla sledovaná doba do výskytu první koroze, celková doba expozice a stav vzorků po expozici. Časový vývoj koroze na povrchu všech vzorků je uveden v grafu na Obr. 7.

Tab. 3 Výsledky

Mazadlo	Doba do 1. výskytu koroze [h]	Celková doba expozice [h]	Stav vzorků po expozici (výskyt KpFe)	Mazadlo	Doba do 1. výskytu koroze [h]	Celková doba expozice [h]	Stav vzorků po expozici (výskyt KpFe)
1. Elaskon SK-U	24 / 96 / 96	336	cca 5–10 %	5. Nyrosten Biogrease VGP 02	24 / 24 / 120	240	Vzorky č. 10, 11 > 50 %
2. Biolubri Greaskote 100	96 / 96 / 96	336	cca 5 %	6. Elaskon WR-EAL	48 / 48 / 48	240	Všechny vzorky > 50 %
3. Nyrosten T-55	96 / 96 / 24	336 / 336 / 96	Vzorek č. 3 > 50 %	7. Elaskon WR-Biolub	24 / 24 / 24	168 / 168 / 72	Všechny vzorky > 50 %
4. BIO Grease CASX 2	48 / 48 / 48	336	cca 30–40 %	8. Condor Lube 20-10G	6 / 6 / 6	6 / 6 / 48	Všechny vzorky > 50 %

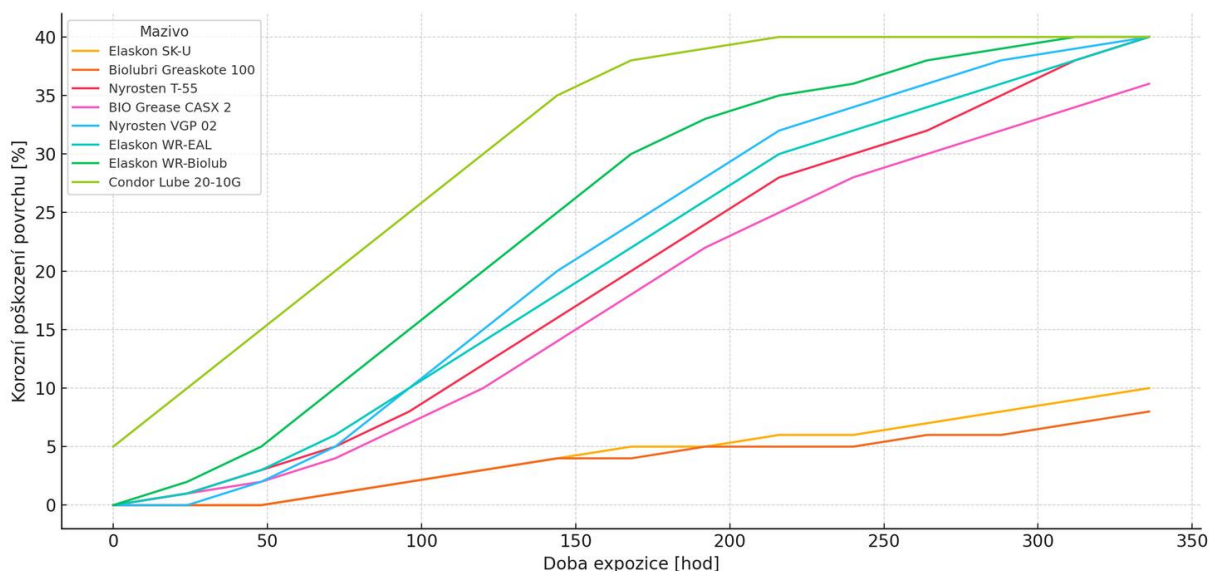
Zdroj: autor

Výsledky korozních testů můžeme shrnout takto:

- Elaskon SK-U a Biolubri Greaskote 100 mají nejpomalejší nárůst koroze – indikují nejlepší antikorozní vlastnosti.
- Condor Lube 20-10G dosáhlo maximální koroze (40 %) již po cca 200 hodinách – nejhorší výsledek.
- Elaskon WR-Biolub, Nyrosten VGP 02 a WR-EAL vykazují středně rychlý nárůst koroze.
- BIO Grease CASX 2 a Nyrosten T-55 si vedly lépe než výše zmíněné, ale nedosahují výkonu top produktů.

Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení



Obr. 7 Vývoj koroze na povrchu vzorků
Zdroj: autor

2.1 Diskuze výsledků

Při opakovaných měřeních se ukázalo, že některé odchylky – např. náhlý výskyt koroze po 24 hodinách u jinak stabilního mazadla – mohou být způsobeny nekonzistentní aplikací. Konkrétně u mazadla Biolubri Greaskote 100 byly hodnoty do první koroze 24, 96 a 96 hodin. Nejpravděpodobnější příčinou odchylky je chybná aplikace v prvním vzorku (např. tenká vrstva nebo neúplné pokrytí). Tato domněnka je podpořena fotodokumentací (Obr. 4) zachycující první výskyt korozních produktů – tyto snímky lze využít jako doplňkový důkazový materiál.

Při porovnání všech mazadel lze stanovit následující pořadí podle výkonnosti (odolnost vůči korozi):

1. Elaskon SK-U (klasické mazivo)
2. Biolubri Greaskote 100 (bio mazivo)
3. Nyrosten T-55 (bio mazivo)
4. BIO Grease CASX 2 (bio mazivo)
5. Nyrosten Biogrease VGP 02 (bio mazivo)
6. Elaskon WR-EAL (bio mazivo)
7. Elaskon WR-Biolub (bio mazivo)
8. Condor Lube 20-10G (bio mazivo)

Z hlediska složení lze říci, že nejlepší mazadla mají vysokou viskozitu a tvoří trvalý ochranný film – typicky jde o produkty s obsahem kalciového sulfonátu (CASX 2) nebo hustých



Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie ocelových lán, dopravných a manipulačných zariadení

esterových bází (Greaskote 100). Naopak mazadla s horším výsledkem měla buď nízkou soudržnost filmu (WR-Biolub), nebo nižší přilnavost v extrémních podmínkách (Condor Lube).

Klasická mazadla – zejména Elaskon SK-U – stále vykazují špičkovou ochranu. Přesto bio maziva jako Greaskote 100 nebo CASX 2 se jim už velmi blíží. Rozdíl v ceně tak zůstává hlavní překážkou jejich širšího použití.

3. Závěry

Bio mazadla mají potenciál nahradit klasické ropné produkty bez zásadního dopadu na životnost lana. První výsledky ukazují srovnatelnou účinnost, zejména v oblasti ochrany proti korozi. Vyšší cena však zatím omezuje jejich širší nasazení, a ne vždy odpovídá vyšší kvalitě.

Testy potvrdily, že některá bio mazadla – zejména Biolubri Greaskote 100 a BIO Grease CASX 2 – dokážou konkurovat klasickým mazivům z hlediska antikorozi ochrany a mechanické stability. Naopak produkty jako WR-Biolub nebo Condor Lube 20-10G v testech selhaly. Nejlepší ochranu stále poskytuje klasické mazivo Elaskon SK-U.

Dokument Viper WRL Approved Lubricant List uvádí, že Elaskon WR-EAL je schválený jako VGP compliant EAL, tedy splňuje požadavky na ekologicky přijatelné mazivo. Ačkoliv bio produkty zatím představují nákladnější řešení, jejich přínos v oblasti udržitelnosti a funkčnosti je důvodem, proč v testování a vývoji nadále pokračovat.

Plány do budoucna zahrnují opakování laboratorních testů za účelem potvrzení a zpřesnění dosavadních výsledků. Dále je plánováno rozšíření zkoušek o provozní testování bio mazadel přímo na ocelových lanech v reálných podmínkách. Zde je důležitá zpětná vazba od provozovatelů jeřábů nebo zařízení, zda se během provozu objevuje předčasná koroze a potřeba domazávání. Sledovat výdrž, korozní stav a potřebu domazávání u zákazníků. Cílem všech těchto aktivit je nalezení maziva, které spojí vysokou technickou účinností environmentální šetrností a bude použitelné v běžném i náročném průmyslovém provozu, tak aby byla zachována příznivá cena a výkon. Dále pak schopnost reagovat na dotazy zákazníků, zda jsme schopni doporučit vhodné mazadlo.

Poděkování

Autoři děkují technickému oddělení za spolupráci při testování bio mazadel a provoznímu personálu za podporu při sběru dat. Dále děkujeme výrobcům bio maziv za poskytnutí vzorků a technických údajů pro tento test. V neposlední řadě bychom chtěli poděkovat VÚHŽ za provedené korozní testy.

Literatura

- Biolubri. (n.d.), 2025. Technical data sheet: Biolubri Greaskote 100. [internal document].
- CASX. (n.d.), 2025. Product sheet: BIO Grease CASX 2. [internal manufacturer documentation].



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

Condor Chemie GmbH. (n.d.), 2025. Technical data sheet: Condor Lube 20-10G. [internal test documentation].

ČSN EN ISO 9227, 2017. Koroze v umělých atmosférách – Zkoušky v solné mlze (ISO 9227:2017). Praha: Česká agentura pro standardizaci.

Elaskon Sachsen GmbH & Co. KG. (n.d.). Technical data sheets: Elaskon SK-U, Elaskon WR-EAL, Elaskon WR-Biolub. Dresden: Elaskon Sachsen GmbH & Co. KG. [internal documents and product literature], [Accessed 10 Jul. 2025].

Nyrogen. (n.d.), 2025. Technical data sheet: Nyrogen T-55. [internal company material].

Nyrogen. (n.d.). Technical data sheet: Nyrogen Biogrease VGP 02. [pdf] Available at: <TD (e) NYROSTEN BIOGREASE VGP 02.pdf> [Accessed 31 Jul. 2025]. [internal manufacturer documentation].



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

**Winch systems on firefighting vehicles: advancing rescue
operations and safety**

Ivanna Betušová^{1*}, Marek Plavčko², Miroslav Betuš³

¹ Ústav zemských zdrojov, FBERG, Technická univerzita v Košiciach, Park Komenského 19,
04384 Košice, Slovenská republika, e-mail: ivanna.betusova@student.tuke.sk

² Ústav zemských zdrojov, FBERG, Technická univerzita v Košiciach, Park Komenského 19,
04384 Košice, Slovenská republika, e-mail: marek.plavcko@student.tuke.sk

³ Ústav zemských zdrojov, FBERG, Technická univerzita v Košiciach, Park Komenského 19,
04384 Košice, Slovenská republika, e-mail: miroslav.betus@stuke.sk

** Korešpondenčný autor*

Abstract:

Winch systems mounted on firefighting vehicles represent a crucial technological component in rescue and technical operations. The aim of this paper is to analyze the benefits of steel and synthetic ropes used in winches and to evaluate their impact on operational time efficiency in various rescue scenarios. The methodology included a comparative analysis of technical parameters (tensile strength, weight, service life, thermal resistance) and the evaluation of three case studies: the evacuation of a person from depth, the stabilization of an overturned bus, and logistical support during a forest fire.

The results showed that steel ropes achieved the highest tensile strength and reliability under elevated temperatures, while synthetic ropes offered reduced weight and easier handling but were limited in use above 200 °C. Time analysis of the case studies confirmed that the deployment of winches shortened response times by an average of 25–35% compared to operations without their use.

The discussion highlights the role of winches not only as a technical accessory but as a strategic element of firefighting and rescue tactics. The conclusion emphasizes the need for further research into hybrid ropes, the integration of smart sensors, and the standardization of testing protocols. The findings have direct applicability for fire brigades, equipment manufacturers, and regulatory bodies.

Key words:

winch systems, firefighting vehicles, rescue operations, steel ropes.

Úvod

Navijakové systémy inštalované na hasičských vozidlách predstavujú kľúčový technologický prvok pri záchranných a technických zásahoch. Ich význam v posledných desaťročiach narastá v súvislosti s rastúcim počtom mimoriadnych udalostí, vrátane lesných požiarov, dopravných nehôd či rozsiahlych katastrof. V porovnaní s konvenčnými manuálnymi



Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

alebo hydraulickými záchrannými nástrojmi poskytujú navijaky jedinečnú kombináciu mechanického výkonu, bezpečnosti a operačnej flexibility, vďaka čomu sú nenahraditeľné pri stabilizácii vozidiel, evakuácii osôb z hĺbok či manipulácii s ťažkými bremenami (Sundaramoorthi et al., 2023).

Moderné zásahové prostredie si vyžaduje zariadenia, ktoré sú spoľahlivé, bezpečné a prispôsobené extrémnym podmienkam, akými sú vysoké teploty, dym, vlhkosť alebo obmedzený prístup. V súvislosti s tým sa v posledných rokoch objavuje trend zavádzania inovatívnych prvkov do navijakových systémov, ako využívanie ľahších a pevnejších materiálov lán, diaľkové a automatizované ovládanie, senzorické technológie na monitorovanie zaťaženia a prediktívnu údržbu (Zhang et al., 2019).

Najnovšie výskumy zdôrazňujú význam moderných navijakových technológií pre hasičské a záchranné služby. Štúdie publikované v *Fire Safety Journal* a *International Journal of Disaster Risk Reduction* poukazujú na vzťah medzi reakčným časom, technickou pripravenosťou a mierou prežitia, pričom dokazujú, že aj relatívne malé zlepšenia v časovej efektívnosti môžu zásadne ovplyvniť úspešnosť zásahu (Zhu et al., 2023; Anderson, 2020).

Cieľom tohto článku je:

- analyzovať vlastnosti a využitie navijakových systémov v hasičskej praxi,
- porovnať konvenčné a inovatívne riešenia,
- identifikovať riziká požiarnej bezpečnosti pri prevádzke,
- a poukázať na význam skúšobníctva a certifikácie.

1 Metódy a metodika

Pri samotnom spracovaní jednotlivých vlastností bola použitá kombinovaná metodika zahŕňajúca:

- Analýzu technických parametrov navijakových systémov podľa medzinárodných noriem a výrobných špecifikácií.
- Vyhodnotenie prípadových štúdií zásahov, kde boli navijaky využité pri záchrane osôb alebo manipulácii s bremenami.
- Komparatívne hodnotenie tradičných a inovatívnych riešení so zameraním na požiaro-bezpečnostné aspekty a zníženie rizika pre zasahujúcich hasičov.

Výskumný rámec metodiky bol nastavený tak, aby poskytol prakticky aplikovateľné poznatky pre oblasť požiarnej ochrany, pričom dôraz bol kladený na bezpečnosť, spoľahlivosť a efektívnosť nasadenia navijakov.

1.1 Analýza technických parametrov navijakových systémov

Technická analýza bola založená na posúdení kľúčových parametrov navijakov používaných na hasičských vozidlách, pričom zdrojmi boli:



Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

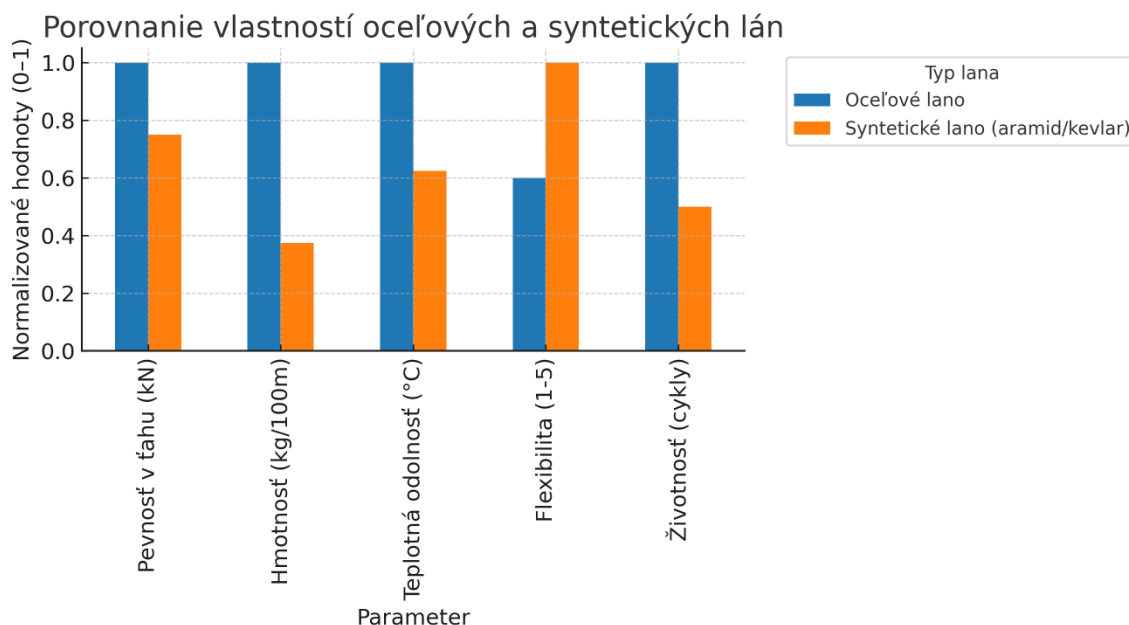
Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

- normatívne dokumenty (EN 14492-1:2019, ISO 4309:2017, STN EN 12385:2010),
- technické listy výrobcov (Rosenbauer, Holmatro, Weber Rescue, Rotzler),
- a vedecké štúdie o únave a degradácii oceľových lán pri extrémnom zaťažení.

Analýza sa sústredila na nasledovné veličiny:

- **tŕažná sila:** zvyčajne 20–60 kN, podľa typu vozidla a účelu použitia,
- **rýchlosť navíjania:** 0,15–0,35 m.s⁻¹, čo určuje čas evakuácie osôb z hĺbky,
- **kapacita bubna:** 20–50 m lana v závislosti od priemeru,
- **mechanická účinnosť:** účinnosť prevodu navijaka a jeho energetické nároky,
- **teplotná odolnosť lana** – oceľové laná strácajú 30–40% pevnosti pri > 300 °C, syntetické aramidové laná degradujú už pri 200–250 °C (NFPA 2016; CEN, 2006).

Na základe týchto údajov bolo možné vytvoriť porovnanie oceľových a syntetických lán, ktoré poukazuje na ich vhodnosť pre hasičské prostredie (Obr. 1).



Obr. 1 Normalizované porovnanie vlastností oceľových a syntetických lán používaných v navijakových systémoch na hasičských vozidlách.

Zdroj: autor

1.2 Prípadové štúdie zásahov s využitím navijakov

Empirická časť metodiky bola založená na vyhodnotení troch vybraných prípadových štúdií, ktoré reflektujú rozdielne typy zásahov:

1. **Záchrana osoby z hĺbky (výkop, Bačkov, 2021)** – navijak bol použitý ako vertikálny evakuačný prostriedok v kombinácii s trojnožkou a istením.



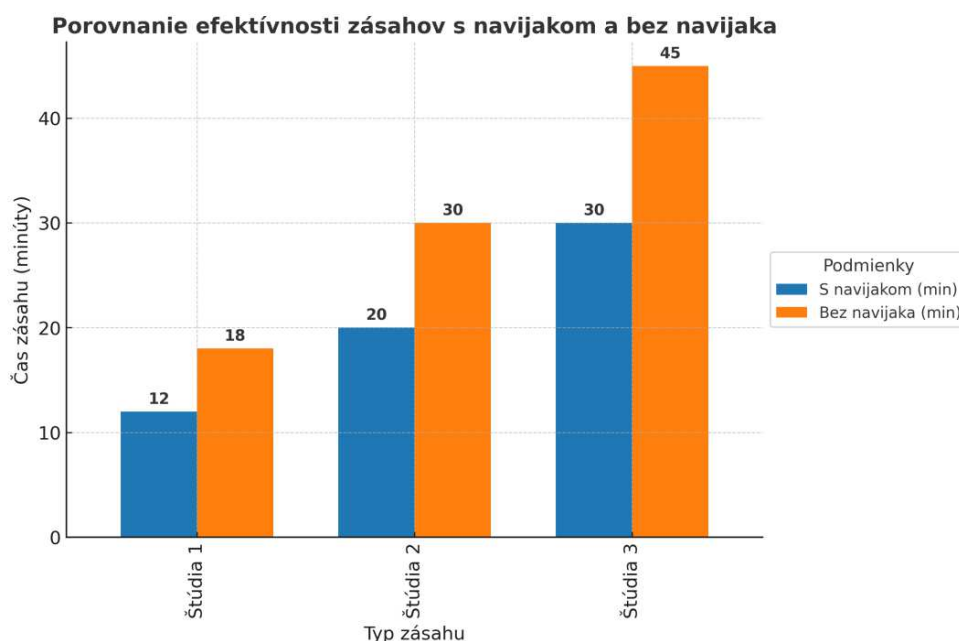
Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

Hodnotený bol čas zásahu, stabilita systému a komfort obsluhy. Počas stavebných prác spadla osoba do nezabezpečeného výkopu s hĺbkou 8 metrov. Použité bolo oceľové lano s ťažnou silou 50 kN a blokovacím systémom proti spätnému chodu. Záchrana trvala 12 minút.

- 2. Stabilizácia havarovaného autobusu po dopravnej nehode (diaľnica D1, 2022)** – cieľom bolo posúdiť schopnosť navijaka zabezpečiť konštrukciu proti ďalšiemu pohybu. Kľúčovým parametrom bola odolnosť lana voči dynamickým rázom. Stabilizácia konštrukcie trvala 20 minút, pokiaľ pri manuálnom zabezpečení pomocou hydraulického vyslobodzovacieho náradia by čas prekročil 30 minút. Použité dva navijaky s celkovou ťažnou silou 60 kN.
- 3. Logistická podpora pri lesnom požiari (Slanské vrchy, 2020)** – navijak bol použitý na presun techniky a materiálu v ťažko dostupnom teréne. Hodnotené boli parametre ako ťažná dráha, zaťaženie a odolnosť voči prachu, teplu a vlhkosti. Vytiahnutie technických prostriedkov v dĺžke 40 metrov cez zhorený úsek. Trvanie 30 minút, pričom pri manuálnom presune by to trvalo cez 45 minút a došlo by k výraznému fyzickému zaťaženiu príslušníkov.

Každá prípadová štúdia bola analyzovaná z hľadiska časovej efektívnosti, bezpečnostných rizík a technických limitov, čo umožnilo vytvoriť rámec pre návrh inovatívnych riešení (napr. integrované senzory, diaľkové ovládanie, hybridné láná) (Obr. 2).



Obr. 2 Porovnanie času zásahu pri troch typoch záchranných scenárov s využitím navijaka a bez jeho použitia

Zdroj: autor

Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

2 Výsledky

Výsledky analýzy poukázali na zásadné rozdiely medzi tradičnými oceľovými lanami a alternatívnymi syntetickými riešeniami, ako aj na praktické prínosy navijakov v reálnych zásahových situáciách.

2.1 Prípadové štúdie zásahov s využitím navijakov

Na základe analýzy technických údajov a normatívnych požiadaviek (EN 14492-1, ISO 4309, STN EN 12385) bolo vykonané porovnanie oceľových a syntetických lán. Výsledky sú uvedené na Obr. 1, kde sú parametre normalizované do rozsahu 0–1 pre účely vizuálneho porovnania.

Výsledky ukazujú, že oceľové laná dosahujú najvyššiu úroveň pevnosti v ťahu (60 kN) a zároveň dlhodobú životnosť (až 10 000 cyklov). Tieto hodnoty sú v súlade s publikovanými štúdiami o únave materiálov pri cyklickom zaťažení (Tomašková, 2018). Naproti tomu, syntetické laná typu aramid/kevlar vynikajú výrazne nižšou hmotnosťou (30 kg/100 m oproti 80 kg/100 m pri oceľových lanách), čo znižuje fyzickú záťaž obsluhy a zvyšuje ich flexibilitu pri manipulácii.

Najzásadnejší rozdiel bol zaznamenaný pri teplotnej odolnosti: oceľové laná si udržiavajú mechanickú integritu až do 400 °C, zatiaľ čo syntetické vlákna podliehajú degradácii už pri 200–250 °C. Tento fakt významne obmedzuje použiteľnosť syntetických lán pri zásahoch v požiarnom prostredí. Na Obr. 3 sú znázornené jednotlivé komponenty navijakového systému hasičských automobilov.



Obr. 3 Komponenty autonavijaku
Zdroj: autor



Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

Z pohľadu aplikácie možno konštatovať, že oceľové laná zostávajú štandardom pre požiarnu ochranu, zatiaľ čo syntetické laná majú perspektívu v technických zásahoch (dopravné nehody, zdvíhanie bremien) tam, kde nie je riziko požiaru alebo vysokých teplôt (SAKYTEEL, 2025).

2.2 Efektivita zásahov s využitím navijakov

Praktické prínosy navijakov boli analyzované prostredníctvom troch prípadových štúdií. Časové výsledky sú zhrnuté v Obr. 2, kde je uvedené porovnanie zásahov s navijakom a bez jeho použitia.

Kvantifikatívne vyhodnotenie preukázalo, že:

- Evakuácia z hĺbky bola s navijakom o 33 % rýchlejšia (12 min oproti 18 min).
- Stabilizácia havarovaného autobusu bola zrýchlená o 10 minút, čo znamenalo 33 % úsporu času.
- Logistická podpora pri lesnom požiari bola realizovaná o 15 minút rýchlejšie (30 min oproti 45 min).

Tieto výsledky naznačujú, že využitie navijakov má priamy vplyv na časovú efektívnosť zásahu, ktorá je v záchranskej praxi jedným z rozhodujúcich faktorov úspešnosti. Skoršie práce (Zhu et al., 2023) o vplyve dopravnej infraštruktúry na reakčný čas hasičov) potvrdzujú, že aj relatívne malé zníženie časových strát môže zásadne ovplyvniť mieru prežitia zachraňovaných osôb.

Okrem časovej efektívnosti sa navijaky prejavili aj ako prostriedok znižovania rizika pre hasičov. Diaľkové ovládanie a senzory monitorujúce zaťaženie umožňujú obsluhu pracovať vo väčšej vzdialenosti od ohrozeného priestoru, čím sa minimalizuje vystavenie riziku sekundárnych kolapsov či šírenia požiaru.

2.3 Diskusia

Prezentované výsledky jednoznačne potvrdili, že navijakové systémy zohrávajú zásadnú úlohu pri efektívnom vykonávaní hasičských a záchranných operácií. Skrátenie času zásahu v priemere o 25–35 % sa v literatúre považuje za kritický faktor, ktorý môže rozhodovať o prežití osôb vystavených riziku (Anderson, 2020; Zhu, 2023). Z hľadiska požiarnej bezpečnosti a ochrany obyvateľstva je preto nasadenie navijakov opodstatnené nielen ako technická podpora, ale ako integrálna súčasť zásahovej taktiky.

Analýza porovnania oceľových a syntetických lán ukazuje, že každé riešenie má špecifické výhody a limity. Oceľové laná zostávajú štandardom pre zásahy v prostredí s vysokými teplotami, pričom zabezpečujú vysokú pevnosť a životnosť. Ich nevýhodou je vyššia hmotnosť, ktorá zvyšuje záťaž obsluhy. Naproti tomu, syntetické laná z aramidú a kevlaru sa osvedčili v technických zásahoch a pri manipulácii s bremenami, no ich využitie pri požiaroch je obmedzené z dôvodu teplotnej degradácie. To naznačuje potrebu ďalšieho



Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

výskumu v oblasti hybridných materiálov, ktoré by kombinovali pevnosť ocele s nízkou hmotnosťou a odolnosťou syntetických vlákien.

Prípadové štúdie (Obr. 2) poskytujú praktické dôkazy o tom, že navijaky významne zvyšujú efektívnosť zásahov v rôznych scenároch – od evakuácie osôb až po logistiku pri lesných požiaroch. Ich spoločným menovateľom je nielen časová úspora, ale aj zvýšenie bezpečnosti zasahujúcich, ktorí môžu vďaka diaľkovému ovládaniu a integrovaným senzorom operovať vo väčšej vzdialenosti od zdroja rizika. Tento prístup je plne v súlade s trendmi modernizácie hasičskej techniky v Európe aj v USA, kde sa čoraz viac presadzuje koncept „*smart rescue tools*“ (FEMA, 2021).

Za limitujúci faktor výskumu možno považovať relatívne nízky počet prípadových štúdií. Na overenie získaných poznatkov by bolo potrebné systematické testovanie v simulovaných podmienkach, pri rôznych typoch navijakov a materiálov lán. Ďalším obmedzením je absencia dlhodobých údajov o únave a degradácii syntetických lán pri opakovanom zaťažení, čo by si vyžadovalo laboratórne cyklické skúšky.

Napriek týmto limitom výsledky podporujú tvrdenie, že navijakové systémy majú strategický význam pre záchranné operácie. Ich ďalší rozvoj by sa mal zamerať na tri kľúčové oblasti:

1. materiálové inovácie – vývoj hybridných lán s vyššou teplotnou odolnosťou,
2. automatizácia a senzorika – integrácia inteligentných monitorovacích systémov pre prediktívnu údržbu,
3. štandardizácia a certifikácia – zavedenie prísnejších testovacích protokolov pre navijaky používané v záchranných operáciách.

3 Závery

Výskum zameraný na navijakové systémy na hasičských vozidlách potvrdil ich zásadný význam pre záchranné operácie a ochranu obyvateľstva. Získané výsledky poukázali na to, že využitie navijakov dokáže v priemere skrátiť čas zásahu o 25–35 %, čím priamo prispieva k zvýšeniu šance na prežitie zachraňovaných osôb a k zníženiu rizika pre zasahujúcich hasičov.

Porovnanie oceľových a syntetických lán ukázalo, že oceľové laná ostávajú nevyhnutným štandardom pre zásahy v požiarnom prostredí, zatiaľ čo syntetické alternatívy ponúkajú výhody pri technických zásahoch bez vysokých teplôt. Perspektívou do budúcnosti je vývoj hybridných lán, ktoré by spájali pevnosť ocele s nízkou hmotnosťou a odolnosťou moderných polymérov.

Praktické prípadové štúdie potvrdili, že navijaky sú univerzálne použiteľné pri evakuácii osôb, stabilizácii havarovaných konštrukcií aj v rámci logistickej podpory pri rozsiahlych požiaroch. Súčasne ukázali, že ich efektívne nasadenie si vyžaduje pravidelné testovanie, certifikáciu a systematický výcvik obsluhy.

Do budúcnosti možno formulovať tri odporúčania:



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

1. **Zvýšiť dôraz na inovačné technológie** – inteligentné navijaky so senzormi, diaľkovým ovládaním a prediktívnou údržbou.
2. **Posilniť skúšobníctvo a certifikáciu** – implementovať štandardizované záťažové a teplotné testy pre všetky navijaky určené na zásahové vozidlá.
3. **Zlepšiť integráciu do taktických postupov** – navijaky vnímať nie ako doplnok, ale ako strategický nástroj zásahovej činnosti.

Záverom možno konštatovať, že **inovatívne navijakové systémy predstavujú kľúčový faktor modernej hasičskej techniky**, ktorý zásadne zvyšuje efektívnosť zásahov, posilňuje bezpečnosť zasahujúcich jednotiek a podporuje odolnosť spoločnosti voči rizikám spojeným s požiarimi a inými mimoriadnymi udalosťami.

Literatúra

- Anderson, P.D., 2020. Response time and survival outcomes in emergency services: A systematic review. *Journal of Emergency Management*, 18(4), pp. 305-314.
- EN 14492-1:2006. Cranes – Power driven winches and hoists – Part 1: Power driven winches. Brussels: European Committee for Standardization.
- EN 14492-2:2016-09. Cranes – Power driven winches and hoists – Part 2: Power driven hoists.
- FEMA, 2021. *FEMA's 2021 National Preparedness Report*. [online]. Available at: <<https://www.fema.gov/news-releases/2022/02/18/femas-2021-national-preparedness-report>> [Accessed 23 Aug. 2025].
- ISO 4309:2017. ed.5.0, Cranes – Wire ropes – Care and maintenance, inspection and discard.
- NFPA, 2016. *NFPA 1901: Standard for Automotive Fire Apparatus*. Quincy, MA: National Fire Protection Association.
- SAKYSTEEL, 2025. *Stainless steel wire rope and fire resistance*. [online]. Available at: <<https://www.sakysteel.com/news/stainless-steel-wire-rope-and-fire-resistance>> [Accessed 23 Aug. 2025].
- STN EN 12385-5:2021. Oceľové laná, bezpečnosť, časť 5 – Viacpramenné laná pre výtahy.
- Sundaramoorthi, K., Periasamy, S., Manoj, K., Vishwash, R.N., Hari Durhesh, I.T., Vijaykumar, M., Parkunam, N., 2023. Automatic fire extinguisher system with features for vehicles. In: *E3S Web of Conferences* 399, *Safety*. ICONNECT 2023. pp. 1-8.
- Tomašková, M., 2018. Experimental testing of steel wire ropes. *MM Science Journal*, November, pp. 2577-2580.
- Zhang, D.L., Xiao, L.Y., Wang, Y., Huang, G.Z., 2019. Study on vehicle fire safety: Statistic, investigation methods and experimental analysis. *Safety Science*, 117(5), pp. 194-204.
- Zhu, S., Liu, W., Liu, D., Ying, L., 2023. The impact of dynamic traffic conditions on the sustainability of urban fire service. *Sustainable Cities and Society*, 96, 104667.



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

Kritériá pre tvorbu matematických modelov

Peter Bindzár^{1*}

¹ *Ústav logistiky a dopravy, Fakulta BERG, Technická univerzita v Košiciach, Park
Komenského 14, 04200 Košice, e-mail: peter.bindzar@tuke.sk*

** Korešpondenčný autor*

Abstract:

The article deals with mathematical modeling of conveyor belts. It describes the criteria for creating mathematical models and points out the complexity of solving an apparently simple task. The article mentions the Mooney–Rivlin theory, which describes the behavior of hyperelastic materials under load.

Key words:

mathematical model, conveyor belt, FEM analysis, Finite Element Method

Úvod

Výskum v oblasti dopravných pásov (Straka, 2019; Taraba, 2017) v ostatných rokoch značne napreduje aj vďaka výpočtovej technike a novým metódam ako je matematické modelovanie. Cieľom výskumu je získať informácie o vlastnostiach sledovaného objektu v rôznych situáciách. To možno dosiahnuť:

- Výskumom v konkrétnych prevádzkových podmienkach.
- Experimentálnym výskumom v laboratórnych podmienkach na skúšobných zariadeniach vyrobených pre tento účel.
- Matematickým modelovaním.

Práve matematické modelovanie sa v súčasnosti, vzhľadom na dostupnosť a rozvoj výkonnej výpočtovej techniky javí ako veľmi progresívne (Huang et al., 2024). Hlavnou výhodou tohto spôsobu riešenia sú omnoho nižšie náklady v porovnaní s nákladmi spojenými s ostatnými metódami. Ďalšou veľkou výhodou je možnosť zmeny vstupných údajov a veľmi rýchle riešenie rôznych variant nastoleného problému (Tedeschi, 2023).

1 Metódy a metodika

Je niekoľko spôsobov modelovania dopravných pásov (Marasová and Bindzár, 2005). V súčasnosti sa používajú dva prístupy k modelovaniu a to matematický model analytický a v poslednej dobe stále sa viac rozširujúce modely numerické – metóda konečných prvkov (MKP).

Metóda konečných prvkov (MKP) je jednou z najpoužívanějších numerických metód pri riešení najrôznejších úloh v inžinierskej praxi. Je rovnako vhodná i na riešenie napätovo-deformačných stavov v dopravnom páse. Značné rozšírenie tejto metódy vyplýva z jej

Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

jednoduchosti. Riešiteľ zadá iba geometriu vybranej oblasti, rozdelí ju na konečný počet prvkov a zadá okrajové podmienky. Riešenie úlohy sa potom vykonáva pomocou štandardných počítačových programov. Moderné programové systémy MKP využívajú stále väčšie možnosti výpočtovej techniky a dovoľujú riešenie aj veľmi zložitých úloh.

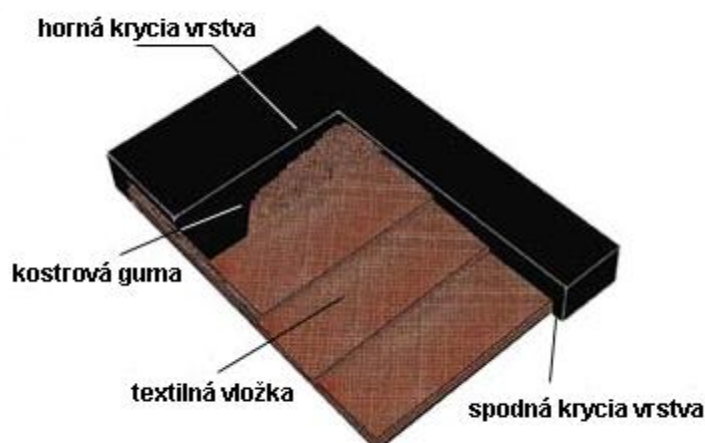
Z ďalších numerických metód možno spomenúť metódu konečných diferencií, metódu hraničných prvkov a rýchlu Lagrangeovu analýzu.

Pre každú skupinu úloh však existuje optimálna metóda, ktorú je možné vybrať iba na základe jednoznačnej charakteristiky objektu a vzájomného spolupôsobenia jeho jednotlivých prvkov v reálnych podmienkach.

1.2 Teoretické východiská

Priestorová MKP analýza dopravného pásu je komplikovaná, pretože dopravný pás predstavuje komplexný kompozit (Ameresco and Tarasova, 2022), pozostávajúci zo zmesi hyperelastických (gumových) komponentov a textilného materiálu (Obr. 1) príp. oceľových lán (Molnár and Stanová, 2004).

Z hyperelastických komponentov pozostávajú krycie vrstvy dopravného pásu a ochranné okraje (Ristović and Grujić, 2005). Uvedené komponenty sú mäkké a prakticky nestlačiteľné.



Obr. 1 Časti gumotextilného dopravného pásu
Zdroj: Taraba et al., 2017



Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

Kostru dopravného pásu tvoria textilné tkaniny najčastejšie z polyamidu alebo polyesteru (Marasová et al., 2010). Tieto kompozity majú silne ortotropické správanie t. j. sú veľmi tuhé ("nepreťažiteľné") v určitých smeroch.

Pre hyperelastický materiál (Bindzár, 2002), ktorý predpokladáme, že je nestlačiteľný, môžeme aplikovať **Mooney-Rivlinovu teóriu**, podľa ktorej sa funkcia W určí podľa vzťahu:

$$W = A(I_1 - 3) + B(I_2 - 3) + \frac{1}{2} \kappa (I_3 - 1)^2 \quad (1)$$

kde A, B – Mooney-Rivlinove konštanty [MPa],
 I_1, I_2, I_3 – Invarianty Cauchy-Greenovho tenzoru deformácie v smere 1, 2, 3 [-],
 κ - objemový modul pružnosti [MPa].

$$\kappa = \frac{2(A + B)}{(1 - 2\mu)} \quad [\text{MPa}] \quad (2)$$

kde μ - Poissonovo číslo [-].

Invarianty I_1, I_2, I_3 vypočítame z hlavných deformačných pomerov:

$$\begin{aligned} I_1 &= \lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2 \\ I_2 &= \lambda_1^2 \lambda_2^2 + \lambda_2^2 \lambda_3^2 + \lambda_3^2 \lambda_1^2 \quad [-] \\ I_3 &= \lambda_1^2 \lambda_2^2 \lambda_3^2 \end{aligned} \quad (3)$$

kde $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ - hlavné deformačné pomery v smere 1, 2, 3 [-].

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= 1 + \varepsilon_1 \\ \lambda_2 &= 1 + \varepsilon_2 \quad [-] \\ \lambda_3 &= 1 + \varepsilon_3 \end{aligned} \quad (4)$$

kde $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ - hlavné pomerné deformácie [-].

V prípade, že materiál je dokonale nestlačiteľný musí platiť:

$$\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 = 1 \quad (5)$$

Potom aj invariant $I_3 = 1$. Rovnica 1 potom nadobudne zjednodušený tvar:

$$W = A(I_1 - 3) + B(I_2 - 3) \quad (6)$$

Okrem Mooney-Rivlinovej teórie je možné pre nestlačiteľné materiály (alebo kde je stlačiteľnosť tak malá, že ju možno zanedbať) použiť aj iné formulácie, ako sú napr. Neo-

Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

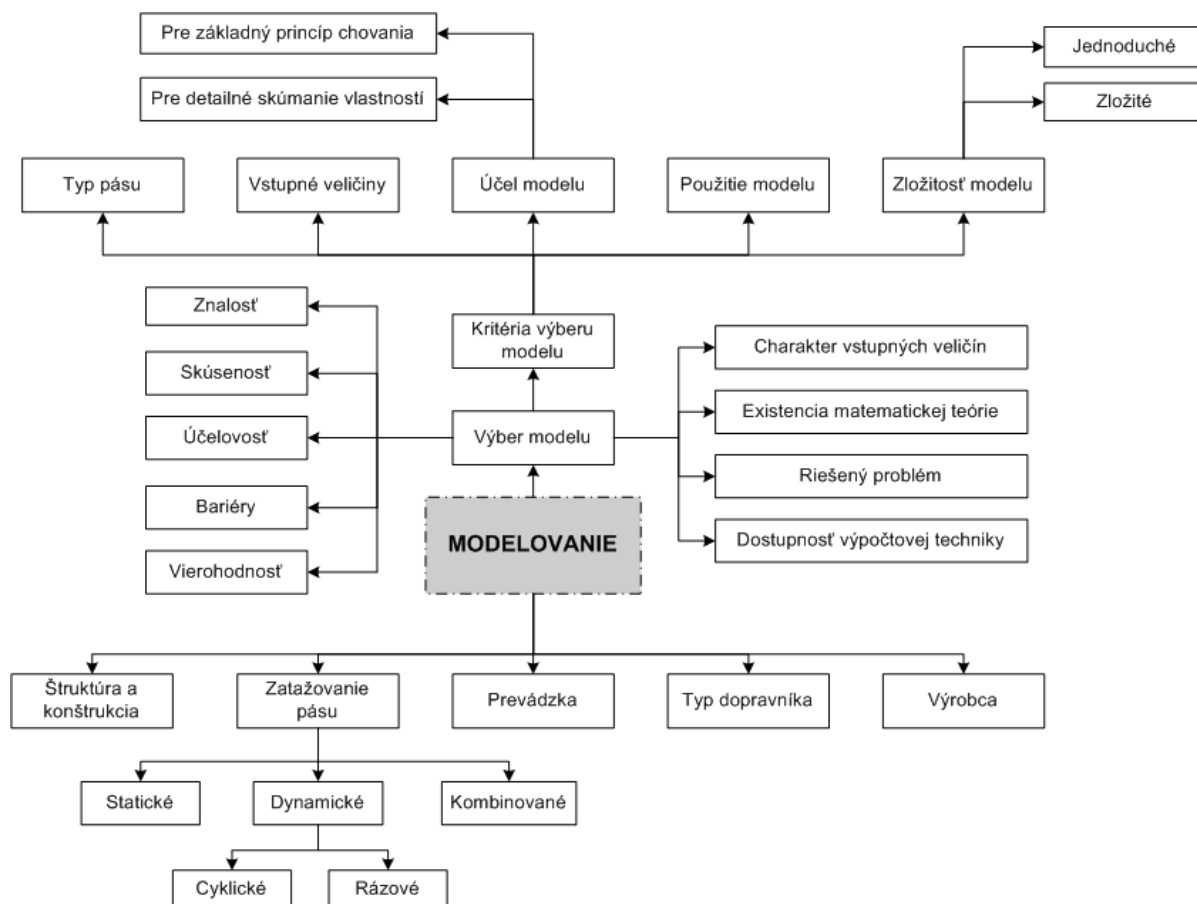
Hookean, Ogdenova, Polynomická či Arruda-Boyce model. Niekedy sú materiály stlačiteľné natoľko, že to nemožno zanedbať. V takom prípade sa s výhodou využíva tzv. Blatz-Ko formulácia hustoty deformačnej energie. Pre modelovanie gumových krycích vrstiev dopravného pásu sa používa prevažne Mooney-Rivlinova teória, ktorá je pre daný typ materiálu najvhodnejšia.

Či už použijeme jednu alebo druhú teóriu, vo všetkých prípadoch je funkcia W vyjadrená pomocou invariantov tenzoru deformácie (Slíva, 2004), čo vyplýva z predpokladu, že materiál je *izotropický* (vo všetkých smeroch má rovnaké vlastnosti) a *izotermický*. Predpoklad izotropie a izotermie značne zjednodušuje výpočet funkcie W .

2 Výsledky

2.1 Kritéria pre tvorbu modelov dopravného pásu

Modelovanie a výber modelu bude ovplyvnený mnohými aspektmi (Obr. 2).



Obr. 2 Kritéria pre modelovanie dopravných pásu

Zdroj: autor



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

Prístup k návrhu modelovania bude závisieť na zvolenej teórii a na úrovni výpočtových podpôr. Ako vidieť z obrázku, tvorba matematického modelu si vyžaduje zohľadniť množstvo parametrov a bez určitého zjednodušenia by tvorba modelu bola prakticky nerealizovateľná.

Pre návrh výpočtového modelovania je potrebné poznať veľké množstvo vstupných veličín do výpočtového algoritmu. Množstvo vstupných parametrov je závislé od typu a zložitosti použitého modelu. Medzi veličinami existujú rôzne závislosti. Pre určenie vstupných veličín je potrebné vykonať množstvo laboratórnych skúšok a teda poznať metódy skúšania jednotlivých elementov dopravného pásu. Ide najmä o skúšky statické (krátkodobé): skúšky v ťahu, tlaku a v krute týkajúce sa elastomérov a kompozitných štruktúr.

3 Závery

Význam matematického modelovania rýchlo rastie v súvislosti s pokrokom v oblasti numerických metód a zdokonaľovaním samotnej výpočtovej techniky. Napätovo-deformačné stavy v dopravnom pásu je možné simulovať pomocou rôznych modelovacích metód, medzi ktoré patrí modelovanie fyzikálnymi modelmi a progresívne matematické modelovanie.

Metóda matematického modelovania môže byť veľmi účinná, zvlášť v kombinácii s vykonávaním experimentov, ktoré modelu poskytujú vstupné parametre a následne jeho chovanie verifikujú s cieľom riešiť danú problematiku. Tak umožňujú vytvárať krok za krokom kvalitnejšie modely s vyššou vypovedacou schopnosťou.

V súčasnosti sú pre matematické modelovanie k dispozícii produkty rôznych firiem, ktoré majú rovnakú alebo veľmi podobnú štruktúru. Väčšina z týchto produktov pracuje prevažne na báze metódy konečných prvkov (MKP). Metóda MKP, zdokonaľovaná štyridsaťročným vývojom, poskytuje užívateľovi možnosti na riešenie rôznych úloh a pochopenie ich správania sa pri meniacich sa faktoroch a parametroch. Matematické modelovanie metódou konečných prvkov poskytuje výsledky riešenia iba približné, avšak pri správnom postupe je chyba z praktického hľadiska zanedbateľná.

PodĎakovanie

Tento príspevok vznikol vďaka podpore projektov APVV-23-0342, APVV SK-PL-23-0052, KEGA 013TUKE-4/2023, VEGA 1/0728/24 a VEGA 1/0114/25.

Literatúra

- Ameresco, K., Tarasova, H., 2022. Experimental research and assessment of conveyor belts resistance to the dynamic load. *Applied Science Basel*, 14(22), 6385.
- Bindzár, P., 2002. Hyperelastické vlastnosti gummy. In: *Slovak Rubber Conference, 14th International Conference*, Matador a.s., Púchov, 22–23 May 2002, pp. 24.



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

- Huang, X., et al., 2024. LLMs for mathematical modeling: towards bridging the gap between natural and mathematical languages. In: *Findings of the Association for Computational Linguistics: NAACL 2025*, pp. 2678-2710.
- Marasová, D., Bindzár, P., 2005. Basic mathematic apparatus for determination of conveyor belt reliability. In: *Development of New Technologies and Equipment for Mine Haulage and Hoisting: 6th International Symposium on Mine Haulage and Hoisting*, Budva, 23–25 May 2005, Belgrade: Faculty of Mining and Geology, pp. 53-57.
- Marasová, D., Zimmermann, V., Gurecka, J., 2010. Pásová doprava ako súčasť integrovaného dopravného systému ťažobného podniku, *Doprava a logistika*, Special issue 7, pp. 462-466.
- Molnár, V., Stanová, E., 2004. The computer possibilities of the steel rope mathematical modelling. *Podzemni radovi*, 11(13), pp. 119-124.
- Ristović, I., Grujić, M., 2005. Possibilities for automation and rationalization of belt conveyor systems in serbian coal mines. In: *International Scientific Conference on the occasion of the 55th anniversary and founding of the Faculty of Mechanical Engineering*, VŠB-TU, Ostrava, pp. 156-160.
- Slíva, A., 2004. Sledování napětového stavu sypké hmoty pomocí 3Dimenzionálního (třiosového) snímače. VŠB-TU Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Ostrava, 22-23 s.
- Straka, M., et al., 2019. Computer simulation as a means of efficiency of transport processes of raw materials in relation to a cargo rail terminal: A case study. *Acta Montanistica Slovaca*, 24(4), pp. 307-314.
- Taraba, V., et al., 2017. Pásová doprava. TUKE, Košice, 156 s.
- Tedeschi, L.O., 2023. Review: The prevailing mathematical modeling paradigms to support the advancement of sustainable animal production, *Animal*, 17(5), 100813.



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

**Simulácia priepustnosti materiálu pri preprave pásovým
dopravníkom**

**Bohdana Bobinics ^{1*}, Daniela Marasová ², Alexander Lokaj ³,
Zuzana Lokajová ⁴**

¹ Ústav logistiky a dopravy, Fakulta BERG, Technická univerzita v Košiciach, Park
Komenského 14, 04200 Košice, Slovenská republika, e-mail: bohdana.bobinics@tuke.sk

² Ústav logistiky a dopravy, Fakulta BERG, Technická univerzita v Košiciach, Park
Komenského 14, 04200 Košice, Slovenská republika, e-mail: daniela.marasova@tuke.sk

³ Ústav logistiky a dopravy, Fakulta BERG, Technická univerzita v Košiciach, Park
Komenského 14, 04200 Košice, Slovenská republika, e-mail:
alexander.lokaj@student.tuke.sk

⁴ Ústav logistiky a dopravy, Fakulta BERG, Technická univerzita v Košiciach, Park
Komenského 14, 04200 Košice, Slovenská republika, e-mail:
zuzana.lokajova@student.tuke.sk

* Korešpondenčný autor

Abstract:

This article is based on a dynamic simulation model created in Tecnomatix Plant Simulation, which allows to observe how the system changes depending on various parameters. The model is designed so that it is possible to change the basic parameters of the conveyor: material type, conveyor belt speed, conveyor length, conveyor belt width, and hopper deviations. The mathematical basis of the model is based on formulas for calculating conveyor throughput, which are integrated into the program code in SimTalk 2.0. Tables are used to create the model, which serve as data storage and record the simulation results.

The results of three experiments show that as the width of the conveyor belt increases, the nominal transport quantity of material, total output, and hourly productivity gradually increase.

Key words:

belt conveyor, belt width, simulation model, conveyor performance

Úvod

Autori článku (Mhlongo et al., 2020) poukazujú na to, že pásové dopravníky sú v porovnaní s inými druhmi dopravných zariadení mimoriadne efektívnym prostriedkom na prepravu veľkých objemov materiálov.

Autor G. Lodewijks vo svojom článku spomína základné parametre, ktoré ovplyvňujú priepustnosť dopravníkov. Medzi tieto parametre zaraďuje rýchlosť pohybu dopravného pásu,

Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

šírku tohto pásu a uhol sklonu. Autor tiež poznamenáva, že rýchlosť dopravného pásu má priamy vplyv na priepustnosť dopravníka a na jeho výkon (Lodewijks, 2004).

Podľa autorov V. Despa a M. Vlădescu má šírka dopravného pásu priamy vplyv na priepustnosť dopravníka, pričom čím je pás širší, tým viac materiálu môže prepravovať. Typ materiálu a jeho vlastnosti tiež ovplyvňujú výber šírky dopravného pásu (Despa et al., 2025)

Článok autorov P. Paryanto, J. Merhof, M. Brossog, C. Fischer ukazuje príklad možnosti vývoja dopravných systémov pomocou metódy modelovania, kde autori používajú softvér s názvom OpenModelica (Paryanto et al., 2013).

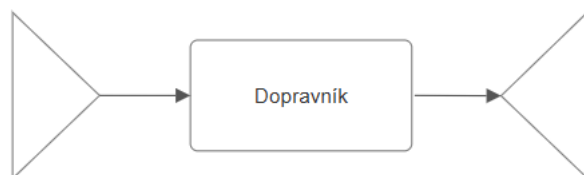
Najnovšie výskumy poukazujú na výrazný trend smerom k digitálnemu modelovaniu, simuláciám a digitálnym dvojčatám pre dopravné systémy. Vždy existuje možnosť vytvorenia digitálneho dvojčata pre už existujúci dopravník, o čom píše vo svojom článku N. Mikušová, O. Stopka, M. Stopková, E. Opettová. Autori tiež spomínajú virtuálny obraz dopravníka, kde sa používa programovací/modelovací jazyk. Výhodou tohto prístupu je možnosť overiť reakciu systému na zmeny vstupných parametrov (Mikušová et al., 2019). O pokročilom systéme digitálneho dvojčata pre dopravný systém píše v svojom článku autori Y. Aniba, M. Bouhedda, M. Bachene, M. Seddiki, A. Tobbal, A. Hamrani, H.a Benyezza. Používanie digitálnych dvojčiat ide ruka v ruku s moderným trendom priemyslu 4.0, kde digitálne dvojča napodobňuje správanie skutočného dopravníka (Aniba et al., 2024).

Zároveň treba poznamenať, že doteraz žiadny výskum nebol zameraný na výpočet priepustnosti pásového dopravníka a vplyvu šírky dopravného pásu na priepustnosť v programe Tecnomatix Plant Simulation.

1 Metódy a metodika

Predmetom výskumu je tvorba dynamického simulačného modelu v programe Tecnomatix Plant Simulation, za účelom simulácie rôznych prevádzkových parametrov kontinuálnej dopravy materiálu pásovým dopravníkom.

Simulačný model umožňuje meniť základné parametre dopravníka: typ materiálu, rýchlosť pohybu dopravného pásu, dĺžku dopravníka, šírku dopravného pásu ale aj odchýlky pri násypke. Schematické znázornenie vytvoreného modelu je na Obr. 1.



Obr. 1 Formalizovaná schéma procesu prepravy materiálu dopravníkom
Zdroj: autor



Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

Tato schéma (Obr. 1) znázorňuje logiku vytvoreného simulačného modelu pásového dopravníka. Schéma predstavuje základné bloky, z ktorých sa skladá model:

násypka → dopravník → výsypka.

Model začína nasypáním materiálu na dopravný pás, ktorý predstavuje prvý blok na obrázku 1, ďalší blok predstavuje dopravu materiálu na dopravnom pase a posledný blok predstavuje výsypku materiálu z dopravníka.

Matematický základ modelu sa opiera o vzorce na výpočet priepustnosti dopravníka (napríklad vzorec 1), ktoré sú integrované do programového kódu v programovacom jazyku SimTalk 2.0, čo umožňuje realizovať dynamické zmeny modelu, čo zodpovedajúcim spôsobom približuje model k reálnym podmienkam, pretože je možné nastaviť náhodné kolísania počas podávania materiálu, čo imituje reálne podmienky zaťaženia.

Pre menovité dopravné množstvo platí (STN ISO 5048, 1995):

$$Q_{nom} = 3,6 * \chi * k_p * A * v * \rho \quad (1)$$

kde:

Q_{nom} – menovité dopravné množstvo [$kg \cdot m^{-3}$],

χ – súčiniteľ plnenia [-],

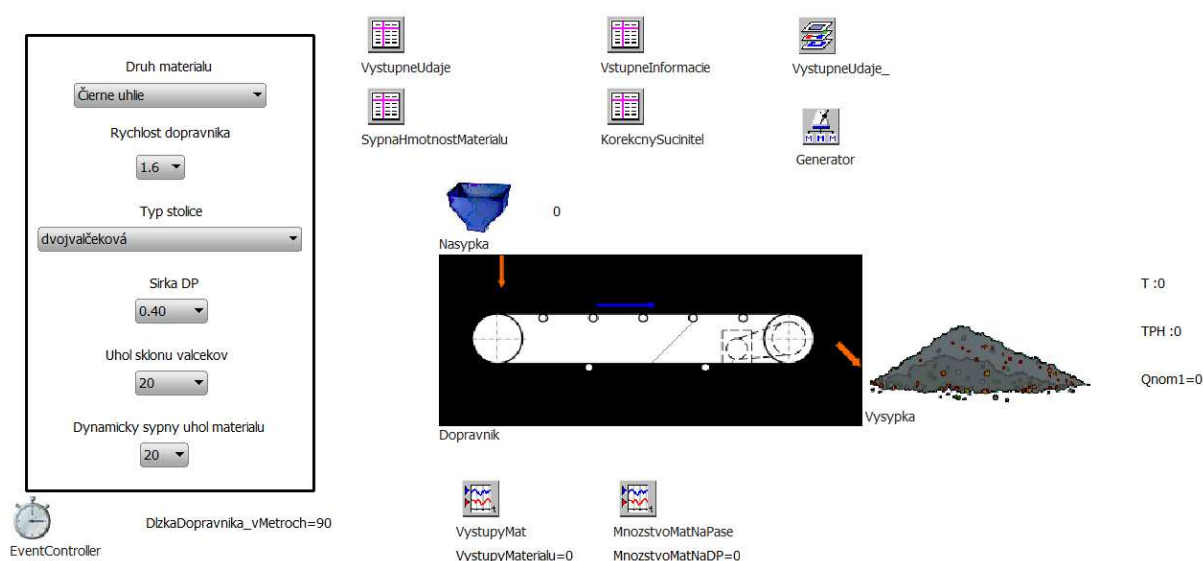
k_p – korekčný súčiniteľ [-],

A – celkový prierez náplne na pase [mm^2],

v – rýchlosť dopravníka [$m \cdot s^{-1}$],

ρ – sypná hmotnosť pre zvolený materiál [$kg \cdot m^{-3}$].

Základné bloky vytvoreného dynamického simulačného modelu sú znázornené na Obr. 2.



Obr. 2 Základné bloky simulačného modelu
Zdroj: autor



Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

Na vytvorenie modelu sa používajú tabuľky. Slúžia ako úložisko údajov, z ktorých model získava potrebné vstupné údaje pre určité výpočty a zaznamenáva výsledky simulácie. Na riadenie modelu sa používajú rôzne externé premenné a DropDownListy. Práve vďaka takejto štruktúre je model flexibilný a vhodný pre rôzne scenáre. Pre lepšiu vizualizáciu sa používajú grafy, ktoré sú zabudované do modelu. Na grafy určujúce množstvo materiálu nachádzajúceho sa na dopravnom pásu nie je potrebné používať Excel, otvárajú sa rovno v Tecnomatixe.

1.1 Vstupné údaje

Druh prepravovaného materiálu – čierne uhlie;
Sypná hmotnosť materiálu – 850 kg.m^{-3} ;
Rýchlosť dopravníka – 1.6 m.s^{-1} ;
Typ hornej valčekovej stolice – dvojvalčeková;
Odchýlka pri násypke môže siahať až do -35%;
Simulačný čas – 4 hod;
Dĺžka dopravníka – 90 m;
Šírka dopravného pasu sa bude meniť počas experimentov.

2 Výsledky

Experiment 1

Vstupné údaje:

Šírka DP – **0,4 m**

Výstupné údaje:

Menovité dopravné množstvo materiálu – 68 544 kg

Celkové výstupy materiálu – 225 107 kg

Výstupy materiálu za hodinu – 56 277 kg

Obr. 3 ukazuje, ako sa menilo množstvo materiálu na dopravníku počas celého experimentu (počas 4 hodín).

Horizontálna os znázorňuje čas, vertikálna os množstvo materiálu.

Graf ukazuje, že po spustení sa dopravník rýchlo dostane do prevádzkového režimu a ďalej pracuje rovnomerne s malými výkyvmi. Množstvo materiálu na dopravnom pásu je väčšie ako 800 kg počas celého experimentu okrem jeho nábehu.



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**



Obr. 3 Závislosť množstva materiálu na čase – Experiment 1
Zdroj: autor

Experiment 2

Vstupné údaje:

Šírka DP – **0,5 m**

Výstupné údaje:

Menovité dopravné množstvo materiálu – 102 816 kg

Celkové výstupy materiálu – 337 660 kg

Výstupy materiálu za hodinu – 84 415 kg

Obr. 4 ukazuje podobný trend ako Obr. 3, ale množstvo materiálu na dopravnom páse je väčšie ako v predchádzajúcom experimente. Množstvo materiálu na dopravnom páse počas celého experimentu je približne 1300 kg.



Obr. 4 Závislosť množstva materiálu na čase – Experiment 2
Zdroj: autor

Experiment 3

Vstupné údaje:

Šírka DP – **0,65 m**



Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

Výstupne údaje:

Menovité dopravné množstvo materiálu – 186 048 kg

Celkové výstupy materiálu – 611 005 kg

Výstupy materiálu za hodinu – 152 751 kg

Na Obr. 5 je viditeľný výrazný nárast množstva materiálu na dopravníku, táto hodnota kolíše a je približne 2400 kg.



Obr. 5 Závislosť množstva materiálu na čase – Experiment 3
Zdroj: autor

3 Závery

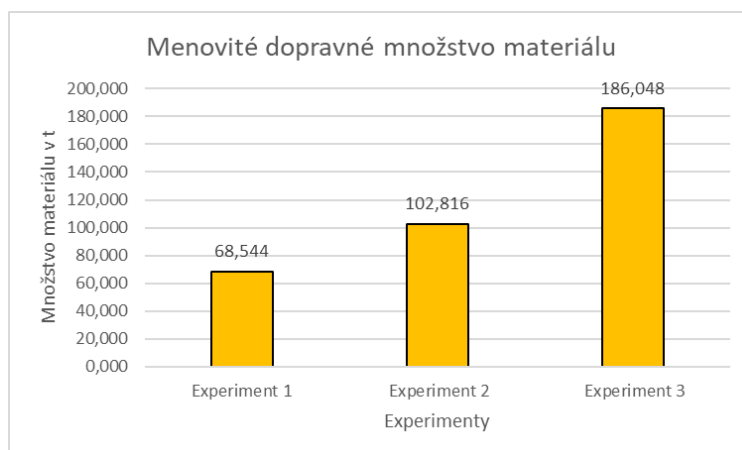
Na Obr. 6 sú zobrazené výsledky troch experimentov s menovitým dopravným množstvom materiálu. Je dôležité poznamenať, že výsledky získané v simulácii pre tento ukazovateľ boli vypočítané iba na základe matematického vzorca. Nezohľadňujú odchýlku pri násypke materiálu. Obrázok 6 znázorňuje množstvo materiálu za ideálnych prevádzkových podmienok.

Z Obr. 6 vyplýva, že s každým ďalším experimentom sa objem prepravovaného materiálu postupne zvyšoval. V prvom experimente dokázal dopravník prepraviť približne 68,544 ton. V druhom experimente bol výsledok už výrazne vyšší – 102,816 ton. A tretí experiment dal najvyšší výsledok – 186,48 ton materiálu. Tieto nárasty zodpovedajú zvýšeniu šírky dopravného pásu. Graf ukazuje pozitívnu dynamiku: so zmenou šírky dopravného pásu sa priepustnosť dopravníka zvyšovala, čo svedčí o vplyve zvoleného parametra na efektívnosť dopravy.



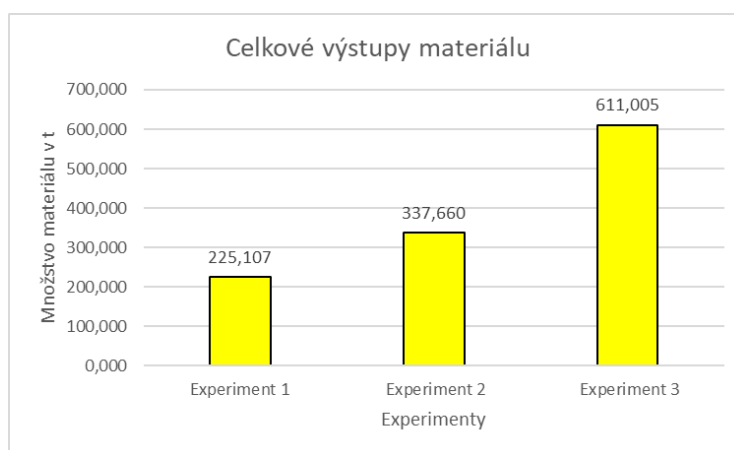
Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení



Obr. 6 Porovnanie menovitého množstva materiálu v závislosti od šírky pásu
Zdroj: autor

Obr. 7 znázorňuje celkové výstupy materiálu v troch experimentoch. Je zrejmé, že každý ďalší experiment priniesol podstatne lepší výsledok ako predchádzajúci. V prvom experimente bolo celkovo prepravených približne 225,107 ton materiálu, v druhom už viac ako 337,660 ton a v treťom sa objem zdvojnásobil a dosiahol 611,005 ton. Výsledky ilustrujú nasledujúci trend: s postupnou zmenou parametrov prevádzky dopravníka sa jeho efektívnosť a produktivita výrazne zvyšuje.

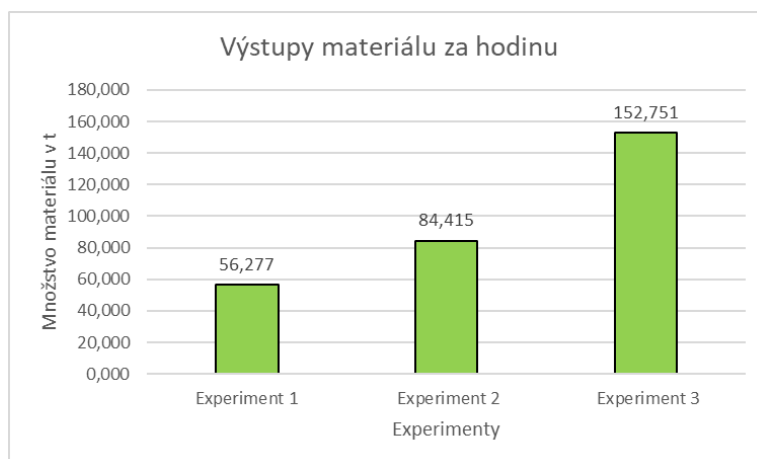


Obr. 7 Porovnanie celkových výstupov materiálu v závislosti od šírky pásu
Zdroj: autor

Obr. 8 porovnáva, aký počet materiálu dopravil dopravník za jednu hodinu času v troch experimentoch. Ako už bolo uvedené v dvoch predchádzajúcich grafoch, výsledky každého experimentu majú tendenciu sa postupne zvyšovať, čo je spôsobené zvýšením šírky dopravného pásu.



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**



Obr. 8 Porovnanie výstupov materiálu za hodinu v závislosti od šírky pásu
Zdroj: autor

V prvom experimente bola produktivita približne 56, 277 ton, v druhom sa zvýšila na 84, 415 ton a v treťom experimente bola dosiahnutá najvyššia hodnota – 152,751 ton za hodinu.

Tiež je možné konštatovať, že nárast v experimentoch nie je rovnomerný. Rozdiel medzi prvým a druhým experimentom je 28,138 ton, a medzi druhým a tretím až 68, 336 ton. To môže svedčiť o rôznej sile vplyvu prevádzkových parametrov na simuláciu.

Pod'akovanie

Tento článok bol pripravený s pomocou projektu VEGA 1/0728/24 pod názvom „Výskum možností implementácie senzorických technológií a vizualizačných metód pre potreby digitálnej transformácie potrubných dopravníkových systémov“, projektu KEGA 013TUKE-4/2023 „Tvorba a inovácia vysokoškolského a celoživotného vzdelávania v odbore doprava na báze rozvoja digitálnych a praktických zručností“, projektu APVV-23-0342 „Nové konštrukčné a materiálové prvky pre udržateľnú prepravu hromadných materiálov“ a projektu APVV SK-PL-23-0052 „Modelovanie priečnych vibrácií pásu a diagnostika potrubných dopravníkov“.

Literatúra

- Aniba, Y., Bouhedda, M., Bachene, M., Seddiki, M., Tobbal, A., Hamrani, A., Benyezza, H., 2024. Enhanced digital twin development for a conveyor belt system: integrating PLC control, CNN decision-making, Gradio-based HMI, and fuzzy logic. *Brazilian Journal of Technology*, 7(4), e75933.
- Despa, V., Vlădescu, M., 2025. Study of the dependence between the belts width and the loading method of granular materials in the case of conveyors belt. *Scientific Bulletin of Valahia University - Materials and Mechanics*, 21(24), pp. 53-55.
- Lodewijks, G., 2004. *The design of high speed belt conveyors*. [online] IMHC, The Netherlands.



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

Available at: <<https://www.beltcon.org.za/wp-content/uploads/2024/12/B10-4-Lodewijks.pdf>> [Accessed 31 Aug. 2025].

- Mhlongo, I., Nnachi, G., Nnachi, A., Adesola, A., 2020. Modelling and simulation of conveyor belt for energy efficiency studies. In: *2020 IEEE PES/IAS PowerAfrica*. Nairobi, Kenya, pp. 1-5.
- Mikušová, N., Stopka, O., Stopková, M., Opettová, E., 2019. Use of simulation by modelling of conveyor belt contact forces. *Open Engineering*, 9(1), pp. 709-715.
- Paryanto, P., Merhof, J., Brossog, M., Fischer, C., 2013. An integrated simulation approach to the development of assembly system components. *Advanced Materials Research*, 769, pp. 19-26.
- STN ISO 5048 (263102), 1995. Zariadenia na plynulú dopravu nákladov. Pásové dopravníky s nosnými valčekmi. Výpočet výkonu a ťahových síl. Bratislava: Slovenská technická norma.



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

**Možnosti údržby vysoko zdvižných vozíkov s rôznym typom
motora**

Lucia Čabaníková^{1*}, Ľubomír Ambriško², Matej Jevický³

¹ Ústav logistiky a dopravy, Fakulta BERG, Technická univerzita v Košiciach, Park
Komenského 14, 04200 Košice, Slovenská republika, e-mail: lucia.cabanikova@tuke.sk

² Ústav logistiky a dopravy, Fakulta BERG, Technická univerzita v Košiciach, Park
Komenského 14, 04200 Košice, Slovenská republika, e-mail: lubomir.ambrisko@tuke.sk

³ SEGULA Technologies, Fabrika 48, Južná trieda 48, 04001 Košice, Slovenská republika,
e-mail: matej.jevicky@segulagrp.com

* Korešpondenčný autor

Abstract:

The article deals with the issue of maintenance of forklifts with different types of propulsion – diesel, electric, and LPG. The aim was to compare these trucks' basic maintenance tasks, identify the specifics of each kind of drive, and provide practical recommendations for their service and operation. Specific models of forklifts are presented in the paper, analysing their technical design in terms of maintenance requirements. Particular attention is paid to lubrication, which plays a key role in the reliability and durability of the trucks. Finally, the differences in maintenance activities for each type of drive are highlighted.

Key words:

handling equipment, forklifts, maintenance, diesel motor, electric motor, LPG

Úvod

Logistické zariadenia, ako napr. vysoko zdvižné vozíky, sú kľúčové pre optimalizáciu združovania materiálu a zlepšenie prevádzkovej efektívnosti, najmä v prostredí, kde je automatizácia ešte stále obmedzená (Zhao et al., 2024; Nadondu et al., 2024). Prvých predchodcov vysoko zdvižných vozíkov možno nájsť už na konci devätnásteho storočia a na začiatku dvadsiateho storočia. Prvým impulzom na rýchlejší vývoj bola prvá svetová vojna, keď bolo potrebné často manipulovať s ťažkými nákladmi. V dvadsiatych rokoch dvadsiateho storočia sa už objavili prvé stroje, ktoré sa tvarom, koncepciou a použitím podobali dnešným vysoko zdvižným vozíkom (Clark, 2020).

Vysoko zdvižné vozíky sú široko používané zariadenia na manipuláciu s materiálom v skladoch a iných priemyselných zariadeniach. Obsluha vysoko zdvižného vozíka si často vyžaduje vykonávanie kognitívne náročných úloh, ako je napr. nakladanie/vykládanie paliet a presná jazda v úzkych uličkách (Ulutas and Ozkan, 2019). Účinnosť vysoko zdvižných vozíkov priamo ovplyvňuje výkonnosť skladu, pričom zdôrazňujú, že starostlivý výber inteligentných zariadení môže znížiť prevádzkové náklady a zlepšiť presnosť a správnosť prevádzky (Zhao et



Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

al., 2024; Nadondu et al., 2024). Vysokozdvížne vozíky sa používajú na prepravu, kde sú hlavnými požiadavkami flexibilita a vysoká miera obratu (Jungk et al., 2009; Unger and Bobick, 1986).

Údržba predstavuje proces riadenia všetkých technických a administratívnych činností počas životného cyklu objektu, zameraných na udržanie alebo obnovenie takého jeho stavu, v ktorom môže vykonávať požadovanú funkciu, pri zohľadnení optimálnych nákladov a požiadaviek na kvalitu, bezpečnosť a prostredie (STN EN 13 306).

Aby vozíky účinne podporovali prevádzkové procesy, musia byť predovšetkým neustále dostupné (Linde, 2025). K najčastejším poškodeniam vysokozdvížnych vozíkov môže dôjsť v dôsledku nesprávneho servisu. Údržba vysokozdvížnych vozíkov je zdĺhavý proces, ktorý si vyžaduje pravidelne dodržiavaný harmonogram a každodenné kontroly, aby sa zabezpečilo, že je všetko v poriadku. Dobre organizované sklady dodržiavajú prísny plán údržby vysokozdvížnych vozíkov a používajú rôzne softvéry na efektívne riadenie servisných úloh (Frontu, 2024).

1 Metódy a metodika

Vysokozdvížny vozík je priemyselné manipulačné vozidlo, ktoré sa vzťahuje na rôzne kolesové manipulačné vozidlá na nakladanie, vykladanie, stohovanie a prepravu paletovaného tovaru na krátku vzdialenosť. Najčastejšie sa v prevádzkach na manipuláciu a prepravu tovaru používajú rôzne typy vozíkov, ktoré zabezpečujú iba horizontálnu dopravu, alebo kombinovanú s dopravou vertikálnou. Podľa konštrukcie a možnosti premiestňovania tovaru, rozdeľujeme vozíky na špeciálne dopravné vozíky, vozíky so zdvižnou plošinou, vysokozdvížne vozíky a vozíky s nepohyblivou plošinou (Boroška and Šaderová, 2001).

Vozíky s nepohyblivou plošinou delíme podľa pohonu na (Boroška and Šaderová, 2001):

- vozíky s ručným pohonom používajúce sa na malé prepravné výkony a krátke vzdialenosti,
- vozíky s motorovým pohonom (akumulátorové, trolejové a vysokofrekvenčné, so spaľovacím motorom alebo na stlačený vzduch).

Vozíky so zdvižnou plošinou podľa typového rádu rozdeľujeme (Boroška and Šaderová, 2001):

- podľa druhu pohonu - elektrický, spaľovací alebo zážihový motor, stlačený vzduch,
- podľa konštrukcie - vozíky nízkozdvižné, vysokozdvížne, žeriavové,
- podľa obsluhy - vedené ručne, so sediacou alebo stojacou obsluhou.

„Údržba je systémová špecializovaná činnosť, ktorej účelom je plánovite udržať, resp. zvýšiť časovú, výkonnú a kvalitatívnu využiteľnosť strojov a zariadení a udržiavať, resp. obnovovať (vylepšovať) pôvodné úžitkové vlastnosti strojov a zariadení počas ich využívania tak, aby sa dosiahla ich najvyššia možná efektívnosť pri zohľadnení bezpečnosti a ochrany zdravia obsluhy a ochrany životného prostredia“ (Valenčík, 2020). Údržba zahŕňa všetky praktické, riadiace a administratívne opatrenia, ktoré sa vykonávajú počas celého životného



Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

cyklu zariadenia s cieľom udržať ho v prevádzkovateľnom stave alebo ho obnoviť do stavu, kedy môže plniť požadovanú funkciu (Rakyta and Bubeník, 2023). Napriek všeobecnej definícii sa údržba v minulosti vždy delila na 2 veľké oblasti (Borghetti et al., 2024):

- bežnú údržbu, ktorá má obmedziť bežnú degradáciu objektu v dôsledku jeho používania,
- mimoriadnu údržbu, ktorej cieľom je obnoviť funkčnosť objektu do prevádzkyschopného stavu.

1.1 Činnosti údržby vysokozdvížných vozíkov

Údržba vysokozdvížného vozíka je veľmi dôležitá na zabezpečenie mechanickej integrity, ako aj bezpečnosti obsluhy a posádky. Pravidelná údržba vysokozdvížných vozíkov so sebou nesie mnohé výhody ako napr. predĺženú životnosť, vyššiu bezpečnosť či zníženie časov prestojov (Gregory Poole Lift, 2021). Údržba vysokozdvížných vozíkov zahŕňa činnosti ako (Frontu, 2024):

- **výmena kvapalín** – väčšina servisovaných zdvíhacích vozíkov začína kontrolou a výmenou základných kvapalín (motorového oleja, prevodového oleja, chladiacej kvapaliny a hydraulického oleja),
- **čistenie a filtrovanie** – do systému vysokozdvížných vozíkov a iných továrenských vozidiel sa dostáva veľa nečistôt, znečisťujúcich látok a iných faktorov; výmena filtrov zabezpečuje, že ich negatívne účinky na vysokozdvížný vozík zostanú minimálne; nastáva výmena vzduchového, olejového a palivového filtra,
- **kontrola pneumatík** – kontrola dezénu a tlaku v pneumatikách, aby sa udržiavalo servisované zdvíhacie vozidlo v bezpečných prevádzkových podmienkach,
- **kontrola brzd** – patrí sem výmena brzdových doštičiek, oprava ručnej brzdy a ďalšie úkony, ktoré upravujú brzdový systém,
- **kontrola ostatných komponentov** – v rámci servisných prác sa kontrolujú, opravujú alebo vymieňajú aj diely, ktoré ovplyvňujú ovládanie a funkčnosť vysokozdvížného vozíka: hydraulické olejové čerpadlo, spojky podvozku, regulačný ventil tlaku PCV (Positive Crankcase Ventilation), zapalovacie sviečky a uvoľňovacie ložisko spojky pre vysokozdvížné vozíky s manuálnou prevodovkou.

1.2 Rozdelenie motorových pohonov vysokozdvížných vozíkov

Dnešné dopravné a manipulačné zariadenia sú zložené strojové zariadenia, ktorých motor zabezpečuje všetky kinematické pohyby. Tieto zariadenia sú často diaľkovo ovládané s automaticky riadeným a regulovaným režimom. Zvyčajne sú konštruované s elektrickým pohonom, spaľovacím, hydraulickým alebo pneumatickým motorom. Voľbu pohonu ovplyvňujú nasledujúce činitele (Jevický, 2020):

- **funkcia** ktorú má daný mechanizmus plniť,



Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

- **kinematika a dynamika pohybu** t. j. či ide o pohyb priamočiary, kývavý alebo rotačný, a to buď s požiadavkou na dodržiavanie daných parametrov pohybu, rýchlosti, otáčok, uhlu pootočenia, sily apod. Vo všetkých týchto prípadoch je potrebné posúdiť početnosť spúšťania, brzdenia či reverzácie,
- **priestorové usporiadanie celého mechanizmu**, pracovné podmienky a pracovné prostredie.

So zreteľom na uvedené činitele, na vlastnosti jednotlivých pohonov, ako aj na možnosť primárneho zdroja energie sa často volia prípadné kombinácie uvedených pohonov. Pri niektorých dopravných, zdvíhacích či manipulačných zariadeniach, ktorých mobilnosť nemá byť obmedzená, sa ako prvotný zdroj energie používa spaľovací motor (najčastejšie naftový). Priamy prenos energie z hnacieho motora na pohyblivé mechanizmy má určité nevýhody - používa sa obmedzene a je na ústupe (Jasaň and Košábek, 1989) hlavne z ekologického hľadiska.

2 Výsledky

2.1 Údržba vysokozdvížných vozíkov s naftovým motorom

Naftový vysokozdvížný vozík patrí medzi tradičné a robustné typy určené predovšetkým do exteriéru. Jeho údržba je najkomplexnejšia spomedzi všetkých pohonov. Pre popis údržby vysokozdvížného vozíka s naftovým motorom bol zvolený vozík STILL RX-70 (Obr. 1).



Obr. 1 Vysokozdvížný vozík STILL RX-70
Zdroj: VZV.cz

Vozík má spaľovací motor, ktorý generuje teplo, emisie a vyžaduje klasickú údržbu ako bežné automobilové motory. Pri tomto type je nutné pravidelné mazanie viacerých pohyblivých častí. Mazanie je ručné, používa sa:

- **vysokotlakové mazivo, olej** – mazanie ovládacích prvkov a kĺbov,
- **hydraulický olej** – plnenie hydraulického systému,
- **minerálny olej** – mazivo hnacej nápravy, prevodovky,



Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

- **vysokotlačný sprej na reťaze** – mazanie zdvíhacej reťaze,
- **motorový olej** – mazanie motora.

Základné úkony údržby tohto vysokozdvížneho vozíka sú (Jevický, 2020):

- **výmena motorového oleja** – podľa motohodín (napr. každých 250 Mth), vrátane výmeny olejového filtra,
- **kontrola a výmena vzduchového filtra** – zamedzenie zanášania prachu,
- **kontrola chladiaceho systému** – doplnenie alebo výmena chladiacej kvapaliny,
- **výmena palivového filtra** – pre správnu funkciu vstrekovania,
- **kontrola výfukového systému a emisií** – kontrola úniku spalín a hlučnosti,
- **kontrola podvozku a hydrauliky** – údržba zdvíhacieho zariadenia, riadenia a brzd,
- **kontrola a výmena žeraviacich sviečok** – potrebné k naštartovaniu dieselového motora.

Medzi výhody tohto vysokozdvížneho vozíka patrí vysoký výkon, ktorý je vhodný pre ťažké prevádzky, či spoľahlivosť pri dlhodobom používaní. Naopak, medzi nevýhody sa radí vyššia hlučnosť a emisie (v porovnaní s elektromotorom), vyššie náklady na prevádzku a údržbu.

2.2 Údržba vysokozdvížných vozíkov s motorom na skvapalnený plyn (LPG)

Vozíky na LPG (Liquefied Petroleum Gas) sú vhodné pre interiérové aj exteriérové prostredia. Ich údržba je podobná ako pri naftových vozíkoch, ale s dôrazom na plynárenské komponenty. Pri vozíkoch s LPG motorom je potrebné venovať zvýšenú pozornosť plynovému systému. Pravidelná výmena plynových komponentov je nevyhnutná (hadice, tesnenia). Pre popis údržby vysokozdvížneho vozíka s týmto typom motora, bol vybraný model LINDE H-20 (Obr. 2).



Obr. 2 Vysokozdvížný vozík LINDE H-20

Zdroj: VZV.cz

Základné úkony údržby vysokozdvížneho vozíka s motorom na skvapalnený plyn sú (Jevický, 2020):



Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

- **kontrola LPG systému** – najmä tesnosť vysokotlakových plynových hadíc,
- **pachová kontrola únikov plynu** – dôležitá z hľadiska bezpečnosti,
- **výmena zapalovacích sviečok** – spaľovací proces je závislý na iskre,
- **výmena oleja a filtrov** – rovnako ako pri naftových motoroch,
- **údržba chladiaceho systému** – vozík používa kvapalinové chladenie,
- **kontrola systému vstrekovania plynu** – vrátane riadiacej elektroniky.

Medzi hlavné výhody tohto typu vozíka patria tichší chod a nižšia spotreba paliva. Medzi nevýhody patrí nižšia rýchlosť zdvihu a spúšťania nákladu (Jevický, 2020).

Mazanie komponentov takéhoto vozíka je ručné, pričom ako mazadlo sa využíva:

- **hydraulický olej** – doplnenie alebo výmena v hydraulickom systéme,
- **sprej na reťaze** – premazanie zdvíhacej reťaze,
- **mazivo** – mazanie ložísk, doplnenie maziva do ložísk pohonov,
- **prevodový olej** – doplnenie do prevodovej skrine.

2.3 Údržba vysokozdvížných vozíkov s elektromotorom

Elektromotorické vozíky predstavujú ekologické a tiché riešenie najmä pre uzavreté priestory, napr. sklady alebo potravinárske prevádzky. Môže sa zdať, že elektromobil resp. vysokozdvížný vozík s elektromotorom má nulový dopad na životné prostredie hlavne z pohľadu tvorby CO₂, no nie je to tak. Elektrina musí byť vyrobená a ak sa nejedná o čistý zdroj výroby elektriny (vodná, veterná, solárna elektrárňa) prináša to so sebou vytváranie skleníkových plynov. Ako príklad údržby vysokozdvížného vozíka s elektromotorom bol zvolený model LINDE E-20 (Obr. 3).



Obr. 3 Vysokozdvížný vozík LINDE E-20
Zdroj: VZV.cz



Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

Základné úkony údržby pre vysokozdvížný vozík s elektromotorom sú (Jevický, 2020):

- **pravidelné nabíjanie batérie** – dodržiavanie cyklov a kontrola stavu nabitia,
- **čistenie pólov a svoriek batérie** – zabraňuje oxidácii a strate kontaktu,
- **kontrola funkcie nabíjačky**,
- **údržba elektromotora** – kontrola ložísk, vinutia, prípadne elektroniky,
- **mazanie pohyblivých častí mimo elektromotoru** – zdvíhací mechanizmus, prevodovka, nápravy.

Elektromotor má minimum pohyblivých častí, ktoré si vyžadujú údržbu. Medzi výhody takéhoto pohonu radíme nízke prevádzkové náklady a jednoduchý servis (v porovnaní s ostatnými typmi pohonov), tichú prevádzku bez škodlivých emisií a vhodnosť použitia daného vysokozdvížného vozíka do uzavretých priestorov.

Mazanie častí vysokozdvížného vozíka na elektrický pohon je takisto ručné, ako mazivo sa využíva:

- **hydraulický olej** – doplnenie alebo výmena oleja v hydraulickom systéme,
- **sprej na reťaze** – kontrola alebo premazanie zdvíhacej reťaze,
- **mazivo** – mazanie ložísk čapov nápravy, či ložísk pohonov,
- **prevodový olej** – doplnenie do prevodovej skrine.

3 Závery

Údržba vysokozdvížných vozíkov je kľúčovým faktorom pre zabezpečenie ich spoľahlivej a bezpečnej prevádzky. Porovnanie naftových, elektrických a LPG pohonov poukázalo na rozdiely v servisných úkonoch. Servisné úkony zdvíhacieho zariadenia pri dieselovom a elektrickom vozíku sú rovnaké, no plynový vozík používa systém reťazového zdvíhania, takže má údržbu tohto zariadenia odlišnú. Dieselový a plynový vozík používajú na pohon spaľovací motor, ktorý musí byť chladený. Chladiaci systém je takmer rovnaký pri všetkých spaľovacích motoroch, avšak vozík s elektrickým pohonom má elektromotor chladený vzduchom, kde je na hriadeli elektromotora pripevnený ventilátor. Vysokozdvížné vozíky na elektrický a LPG pohon využívajú aj rovnaké mazivá, na rozdiel od naftového pohonu. Z pohľadu mazacích úkonov je mazanie podvozku, zdvíhania bremena a riadenia pre všetky 3 typy vysokozdvížných vozíkov rovnaké. Na základe analýzy údržby konkrétnych modelov vozíkov možno konštatovať, že správne zvolený typ vozíka spolu s dôsledne vykonávanou údržbou výrazne ovplyvňuje jeho efektivitu a životnosť.

Podakovanie

Tento príspevok vznikol vďaka podpore projektu VEGA 1/0114/25.



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

Literatúra

- Borgehetti, F., et al., 2024. Road infrastructure maintenance: Operative method for interventions' ranking. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 25(5), pp. 1-19.
- Boroška, J., Šaderová, J., 2001. Technické prostriedky logistiky I. TUKE, Košice, 48-50 s.
- Clark, *100 years of Clark forklifts*. [online]. Available at: <<https://clarkmheu.com/en/company/about-us/100-years-clark>> [Accessed 24 May 2025].
- Frontu, *Najlepšie typy na údržbu vysokozdvížneho vozíka: komplexný sprievodca* [online]. Available at: <<https://frontu.com/sk/blog/najlepsie-tipy-na-udrzbu-vysokozdvizneho-vozika-komplexny-sprievodca>> [Accessed 24 May 2025].
- Gregory Poole Lift. *Forklift maintenance tips*. [online]. Available at: <<https://www.gregorypoolelift.com/blog/forklift-maintenance-tips/>> [Accessed 24 May 2025].
- Jasaň, V., Košábek, J., 1989. Teória dopravných a manipulačných zariadení. Alfa, Bratislava, 47-48 s.
- Jevický, M., 2020. Špecifikácia údržby vysokozdvížných vozíkov v závislosti na type motora (bakalárska práca). Technická univerzita v Košiciach, Košice, s. 50.
- Jungk, A., Heiserich, G., Overmeyer, L., 2009. Antenna concepts for RFID on forklift trucks. In: IMETI 2009 – 2nd International Multi-Conference on Engineering and Technological Innovation, Proceedings, Vol. 1, pp. 112-116.
- Linde. *Údržba a oprava vysokozdvížných, nízkozdvížných a paletových vozíkov*. [online]. Available at: <<https://www.linde-mh.sk/sk/Sluzby/Udrzba-a-opravy/>> [Accessed 24 May 2025].
- Nadondu, B., Chanpahol, A., Srisawad, S., Thiakthum, S., 2024. Improving forklift efficiency by ECRS techniques: A case study in a logistics company. *Evergreen*, 11(1), pp. 306-313.
- Rakyta, M., Bubeník, P., 2023. Stratégia údržby a efektívny výrobný systém. University of Žilina, Žilina. 35-39 s.
- STN EN 13306: 2018, Údržba. Terminológia údržby.
- Ulutas, B.H., Ozkan, N.F., 2019. Empirical studies: Assessing occupational risk factors for forklift drivers. *Travail Human*, 82(2), pp. 129-149.
- Unger, R.L., Bobick, T.G., 1986. Bureau of mines research into reducing materials-handling injuries. *Bureau of Mines Information Circular*, IC 9106, pp. 22-33.
- Valenčík, Š., 2020. *Údržba obrábacích strojov*. [online]. Available at:



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

<<https://www.engineering.sk/clanky2/stroje-a-technologie/768-udrba-obrabaciestrojov>>
[Accessed 24 May 2025].

VZV.cz. 2015. Čelný štvorkolesový *STILL RX 70-50/600 – Diesel*. [online]. Available at:
<https://www.vzv.cz/sk/aktualne-na-sklade/voziky-skladem/still-rx-70-5060054327?gad_source=1&gad_campaignid=12268631466&gclid=Cj0KCQjw0LDBBhCnARIsAMpYlAp5mFI8a7WRbQQkLJrAE66NNUadFpM2l3P2ekdfw7Ltb48JoczQ_sYaAj0NEALw_wcB> [Accessed 24 May 2025].

VZV.cz. 2015. Čelný štvorkolesový *LINDE H 20 T – LPG*. [online]. Available at:
<https://www.vzv.cz/sk/aktualne-na-sklade/voziky-skladem/linde-h-20-t52380?gad_source=1&gad_campaignid=12268631466&gclid=Cj0KCQjw0LDBBhCnARIsAMpYlArQg3FND2dgRt5wz7gW2keQCvtZ81K_K3KgFWWhKSgV_H-92MHTzrV0aAqdcEALw_wcB> [Accessed 24 May 2025].

VZV.cz. 2015. Čelný štvorkolesový *LINDE E 20 – 01 – AKU*. [online]. Available at:
<https://www.vzv.cz/sk/aktualne-na-sklade/voziky-skladem/linde-e-20-01-51858?gad_source=1&gad_campaignid=12268631466&gclid=CjwKCAjw3MXBBhAzEiwA0vLXQXeIHL50W5SfLoINhIDtKq2y5c8oimSqJAEts8c3PAQMGLjWInskvx0CHhEQAvD_BwE> [Accessed 24 May 2025].

Zhao, Q., Zhang, X., Wang, P., 2024. Multi-type equipment selection and quantity decision optimization in intelligent warehouse. *IEEE Access*, 12(4), pp. 63515-63527.



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

**Využitie simulácií v dopravných a manipulačných systémoch:
prípadová štúdia**

Jana Fabianová ^{1*}, Jaroslava Janeková ², Ladislav Rigó ³

¹ Ústav logistiky a dopravy, Fakulta BERG, Technická univerzita v Košiciach, Park Komenského 14, 04200 Košice, Slovenská republika, e-mail: jana.fabianova@tuke.sk

² Ústav priemyselného inžinierstva, manažmentu a aplikovanej matematiky, Strojnícka fakulta, Technická univerzita v Košiciach, Park Komenského 5, 04200 Košice, Slovenská republika, e-mail: jaroslava.janekova@tuke.sk

³ Ústav logistiky a dopravy, Fakulta BERG, Technická univerzita v Košiciach, Park Komenského 14, 04200 Košice, Slovenská republika, e-mail: ladislav.rigo@tuke.sk

* Korešpondenčný autor

Abstract:

Transport and handling processes are an essential part of the production process. These processes require significant investments in their technical support and also represent a significant share of processes that do not add value. Optimization of logistics flows in this area is currently an integral part of the production strategy of companies. By using simulation tools, whether during design or changes in production, we can verify and optimize spatial, capacity, and other production parameters in advance in a virtual environment. The article presents the optimization of the AGV transport and handling system using simulations in the Tecnomatix Plant Simulation. The number of AGVs is optimized on a model of a production line served by an AGV system in order to maximize production. The Experiment Manager, which is a part of the simulation program, is used as an optimization tool.

Key words:

simulation, AGV system, optimization, Tecnomatix plant simulation

Úvod

Spoločnosti čelia neustálym výzvam, ako sú premenlivý dopyt, obmedzené zdroje a dynamika dodávateľských reťazcov. Pri riešení týchto výziev sa organizácie čoraz viac spoliehajú na simulačné a optimalizačné nástroje s cieľom zlepšiť rozhodovací proces, minimalizovať náklady a zvýšiť celkovú efektívnosť riešení.

Simulácia je proces vytvárania digitálneho modelu reálneho systému s cieľom analyzovať jeho správanie za rôznych podmienok. Modelovanie procesov je systematický prístup k vizualizácii logistických aktivít a tokov v rámci dodávateľského reťazca. V logistike simulácia pomáha podnikom vizualizovať, testovať a vyhodnocovať rôzne scenáre bez



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

ovplyvnenia reálnych procesov. Pri projektovaní dopravných a manipulačných procesov má modelovanie a optimalizácia svoje nezastupiteľné miesto. Výskum v tejto oblasti je publikovaný vo viacerých vedeckých prácach. Z nich môžeme spomenúť rozsiahly empirický výskum o modelovaní a simulácii fyzikálnych systémov (Schweiger et al., 2020), ktorý mal za cieľ preskúmať potreby a aktuálne výzvy v tejto problematike. Simulačné modely sa zvyčajne používajú pri potrebe analyzovať rozsiahle alebo komplikované systémy a procesy (Kuncova a Zajoncova 2018). Aplikácie simulačných metód nájdeme napr. v prácach (Guiguet and Pons, 2024) pri návrhu vhodných simulačných modelov pre proces distribúcie, (Bendowska and Zawadzki, 2023) pri posudzovaní návrhu automatizovanej montážnej linky, a tiež v práci (Bao et al., 2019) pri riešení konceptu digitálneho dvojčata pre výrobný proces.

Optimalizácia sa zameriava na nájdenie najlepšieho riešenia z potenciálnych možností dosiahnuť stanovené cieľ. Na rozdiel od simulácie, ktorá posudzuje rôzne scenáre, optimalizácia identifikuje najefektívnejšiu stratégiu. Optimalizácia zahŕňa výrobné aj obslužné procesy, ako je vnútropodniková preprava a skladovanie. Nasadenie AGV vo vnútropodnikovej doprave v posledných rokoch výrazne stúplo, a to vďaka automatizácii a prijatiu princípov Industry 4.0.

Simulačný prístup pre optimalizáciu systémov AGV prezentujú v svojich prácach napr. Kováts a Skapinyecz (2024). Výskum (Ochelska-Mierzejewska et al., 2021) prezentuje aplikáciu genetického algoritmu na riešenie optimalizácie trasy vozidiel. Autori (Malashin et al., 2024) sa tiež zaoberali optimalizáciou logistickej úlohy a riešili ju implementáciou dvojstupňového genetického algoritmu. Pokročilé algoritmy dokážu nielen ušetriť čas pri riešení danej úlohy, ale ako naznačuje práca vedcov z Číny (Cui et al., 2024), môžu zachraňovať aj ľudské životy. Prax ukazuje, že simulačný softvér je nevyhnutným nástrojom v dynamických a zložitých prostrediach a poskytuje efektívny spôsob analýzy a optimalizácie systémov bez potreby fyzikálnych experimentov. Vyššie uvedené algoritmy sa používajú v rôznych simulačných softvéroch. Medzi široko používaný simulačný softvér patria ExtendSim, Tecnomatix Plant Simulation, AnyLogic a FlexSim. Autori výskumnej práce Fernandez-Lacruz, Eriksson a Bergström (2019) využili ExtendSim na optimalizáciu operácií súvisiacich so spracovaním dreva. Výskumný tím okolo Marka Klimenta (Kliment et al., 2025) sa zameriaval na navrhovanie rozšírenia výroby prostredníctvom simulácie s cieľom optimalizovať výrobné a skladovacie kapacity pomocou Tecnomatix Plant Simulation. Iný prístup zvolili Kassen et al. (2021), ktorí používali AnyLogic na vytvorenie digitálneho dvojčata výrobného systému.

Cieľom tohto príspevku je prezentovať využitie simulácií pri optimalizovaní dopravného a manipulačného systému AGV. Na modeli fiktívnej výrobnéj linky je demonštrovaná optimalizácia systému pomocou nástroja Experiment Manager, ktorý je súčasťou simulačného nástroja Tecnomatix Plant Simulation.



Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

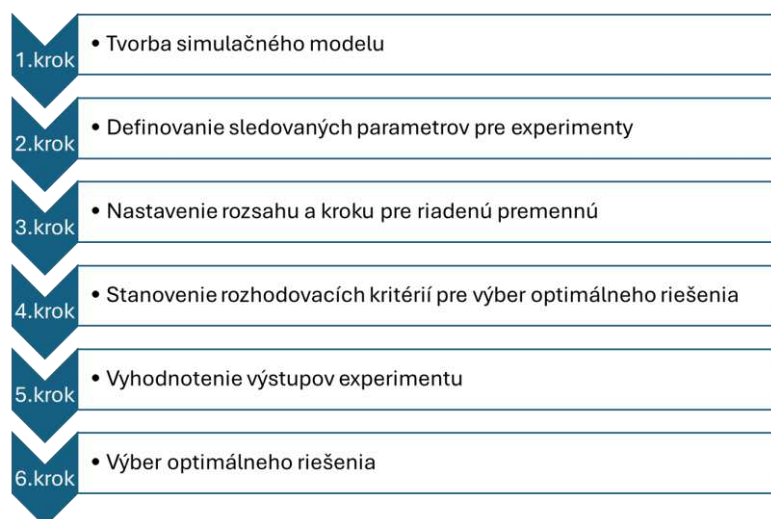
1 Metódy a metodika

1.1 Definovanie výskumného problému a metodika výskumu

Optimalizácia logistických procesov je kľúčom k zvýšeniu efektívnosti, zníženiu nákladov a zlepšeniu spokojnosti zákazníkov. Optimalizačný proces využíva rôzne prístupy a metódy. Softvér Tecnomatix Plant Simulation sa najčastejšie používa na modelovanie výrobných a logistických procesov vo veľkých priemyselných zariadeniach. Tecnomatix je vybavený dvoma optimalizačnými nástrojmi a to je Experiment Manager a Genetický algoritmus.

Experiment Manager vykonáva rad experimentov v rámci definovaného rozsahu premennej, t. j. simuluje všetky situácie, ktoré v tomto rozsahu premennej môžu nastať. Optimálne riešenie vyberá posudzovateľ sám zo všetkých riešení na základe rozhodovacích kritérií. Genetický Algoritmus je heuristická optimalizačná metóda inšpirovaná prirodzeným výberom. Na simuláciu a následnú optimalizáciu v tomto výskume je použitý Tecnomatix verzia 2302 a optimalizačný nástroj Experiment Manager (Obr. 1).

Optimalizácia bude nakonfigurovaná tak, aby identifikovala optimálny počet AGV pre maximalizáciu výstupu výrobnéj linky za daných podmienok. Vedľajším prínosom môže byť identifikovanie kritických bodov v logistickom procese.



Obr. 1 Metodika výskumu - výber optimálneho riešenia prostredníctvom Experiment Manager

Zdroj: autor

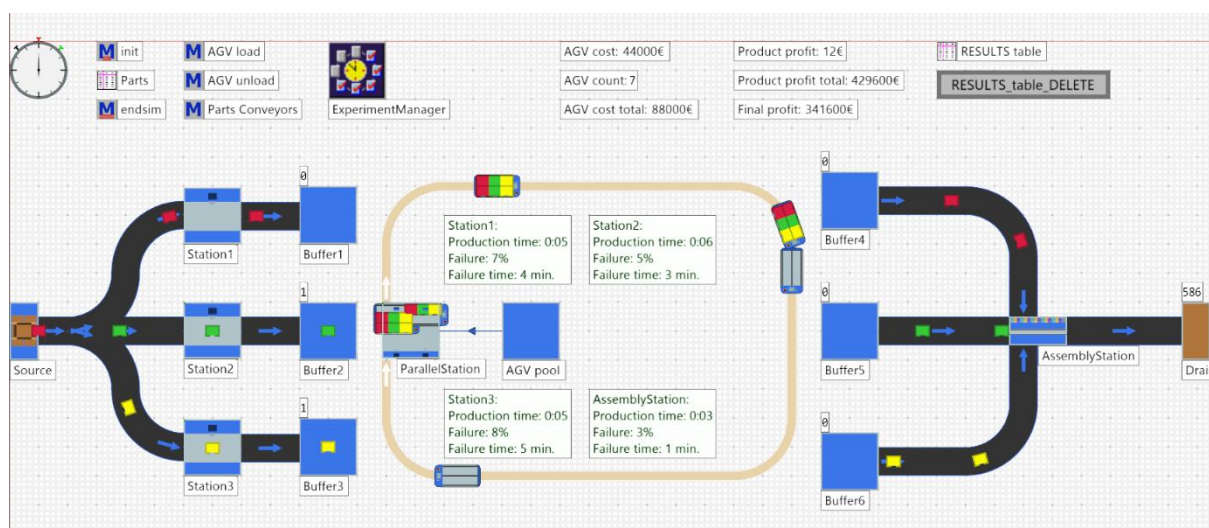
Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

Je možné predpokladať, že sa optimalizáciou nájde nielen jedno ale viaceré riešenia, ktoré budú zohľadňovať aj časový aspekt výrobného procesu, tzv. krátkodobý a dlhodobý výrobný plán. Správne riešenie by malo odrážať rôzne očakávania potenciálnych investorov, prípadne majiteľov firiem.

1.2 Tvorba modelu v Tecnomatix Plant Simulation

Optimalizácia bude demonštrovaná na simulačnom modeli virtuálnej výrobnéj linky (Obr. 2).



Obr. 2 Model výrobnéj linky v Tecnomatix plant simulation
Zdroj: autor

Simulačný model linky (Obr. 2) zobrazuje výrobnú linku, ktorá spracováva tri rôzne diely na troch rôznych výrobných zariadeniach (Station 1-3). Po spracovaní sú diely presunuté do zásobníkov (Buffer 1-3) a čakajú na vyzdvihnutie automaticky riadeným vozidlom (AGV). AGV dopraví diely do medzioperačných skladov (Buffer 4-6) pred montážnou stanicou, v ktorej prebieha finálna montážna operácia a hotový výrobok opúšťa výrobný proces na dopravníku (Obr. 2) do konečného skladu "Drain". Počet AGV obsluhujúcich výrobnú linku a pohybujúcich sa po okružnej dráhe je menený na základe premennej „AGV count“.

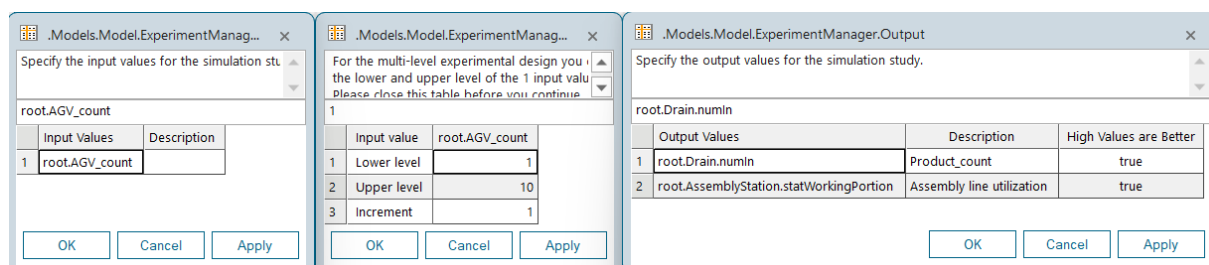


Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

1.3 Nastavenie parametrov optimalizácie

Prvým krokom k nastaveniu optimalizačného nástroja je zadanie premennej „AGV_count“ do poľa „Define Input Values“. Premenná AGV_count má celočíselný formát a môže byť v rozsahu 1 až 10. Aby Experiment Manager mohol testovať model s počtom AGV od 1 do 10, je potrebné definovať v záložke „Tools“ nastaviť funkciu „Multi-level Experiment Design“. V tejto funkcii je okrem spodného a horného limitu počtu AGV nastavený tiež „Increment“ ako prírastok v počte AGV, čiže hodnota o ktorú sa počet AGV zvýši v ďalšom meraní. Nakoniec sú definované výstupné hodnoty, ktoré budeme počas experimentu sledovať, a to v poli „Define Output Values“ (Obr. 3). Našimi cieľovými hodnotami je čo najvyšší objem výroby a tiež maximálne využitie výrobných zariadení. Počet pozorovaní pre každý experiment ponecháme na hodnote tri, čo znamená, že konečný výsledok je priemerom troch meraní. Pre zohľadnenie aj iných faktorov výroby pri hľadaní optimálneho riešenia boli v našom experimente zadane aj náklady na obstaranie jedného AGV. Tento faktor posluží na posúdenie výsledkov optimalizácie aj z nákladového hľadiska. Doba, počas ktorej budeme výrobu simulovať je sedem dní.



Obr. 3 Nastavenie vstupných parametrov optimalizácie
Zdroj: autor

2 Výsledky

Z výsledkov experimentov pomocou nástroja Experiment Manager bol zistený optimálny počet AGV s cieľom maximalizácie počtu finálnej výroby a vytiaženia výrobných zariadení (Obr. 4). Výsledky experimentu boli dosiahnuté za 9:18 minút. Výsledková tabuľka prezentuje, že optimalizačný cieľ bol dosiahnutý s použitím siedmich AGV, pričom bol dosiahnutý maximálny objem výroby 104 251,667 kusov.



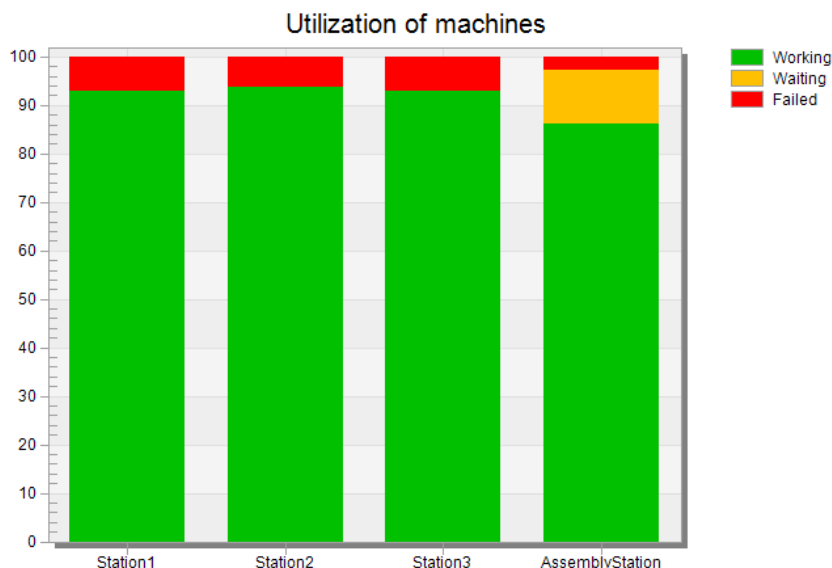
Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

Experiment	root.AGV_count	Product_count	Assembly line utilization
Exp 01	1	16901	0.139730533286981
Exp 02	2	33800	0.279432914239362
Exp 03	3	50700	0.419146825396825
Exp 04	4	67600	0.558862433862434
Exp 05	5	84495	0.698547883130246
Exp 06	6	101389.333333333	0.838215105904698
Exp 07	7	104251.666666667	0.861878997058396
Exp 08	8	104250.666666667	0.861868415047815
Exp 09	9	104249	0.861857833037231
Exp 10	10	104247.666666667	0.861844982261923

Obr. 4 Výsledky optimalizácie
Zdroj: autor

Z Obr. 4 možno tiež pozorovať, že so zvyšujúcim sa počtom AGV sa počet vyrobených dielov dokonca znižuje v porovnaní s maximom, zatiaľ čo využitie montážnej stanice zostáva konštantné. V percentuálnom vyjadrení je využitie montážnej stanice 86 %, ako je znázornené na Obr. 5.



Obr. 5 Diagram celkového využitia strojov pre optimálny počet AGV
Zdroj: autor

Na Obr. 6 sú uvedené výstupy simulácie. Vytvorením podrobnejšej tabuľky (Obr. 7) pomocou metódy „Endsim“ zistíme, že konečný zisk pri použití siedmych AGV, zohľadňujúci aj obstarávacie náklady na AGV a definované vstupné parametre, je 943 084 EUR.



Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment
Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

	integer 1	money[€] 2	integer 3	money[€] 4
string	AGV_count	AGV_cost_total	Product_count	Product_profit_total
1	7	308000.00	104257	1251084.00

Obr. 6 Výsledná tabuľka optimalizácie
Zdroj: autor

Výsledky optimalizácie je možné interpretovať aj z iného pohľadu a na základe ďalších parametrov. Najlepší výsledok tak nemusí byť optimálny, ak sa zohľadní napr. nákladovosť systému. Pri použití siedmych AGV sa vyrobí síce najvyšší počet dielov, ale vzhľadom na obstarávaciu cenu AGV by bol najlepší výsledok dosiahnutý pri použití len šiestich AGV. Konečný zisk v tomto prípade je 952 728 EUR. (Obr. 7)

Treba tiež poznamenať, že na výsledky môžu mať vplyv aj iné vstupné parametre, ako napríklad čas výroby, čas montáže, čas poruchy, cena výrobkov a ďalšie.

	integer 1	money[€] 2	integer 3	money[€] 4	money[€] 5
string	AGV_count	AGV_cost_total	Product_count	Product_profit_total	Final_profit
1	6	264000.00	101394	1216728.00	952728.00
2	6	264000.00	101394	1216728.00	952728.00
3	6	264000.00	101380	1216560.00	952560.00
4	7	308000.00	104257	1251084.00	943084.00

Obr. 7 Porovnanie výsledkov pri zohľadnení obstarávacích nákladov na AGV
Zdroj: autor

3 Závery

Výsledky uskutočnenej simulácie potvrdili, že využitie optimalizačných nástrojov v prostredí Tecnomatix Plant Simulation predstavuje efektívny prístup k zvyšovaniu výkonnosti dopravných a manipulačných systémov AGV. Experiment ukázal, že z hľadiska maximalizácie objemu výroby a vyťaženia výrobných zariadení bol optimálny počet vozidiel sedem. Po zohľadnení obstarávacích nákladov na AGV sa však ako ekonomicky najvýhodnejšie riešenie javí nasadenie šiestich vozidiel, čo poukazuje na dôležitosť hodnotenia výsledkov z viacerých perspektív.

Simulačné modelovanie poskytlo nielen presnejší pohľad na vzájomné väzby medzi počtom AGV a výkonom linky, ale aj možnosť identifikovať kritické body výrobného procesu bez nutnosti zásahov do reálnej prevádzky. Tento prístup môže byť cenným nástrojom pri



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

strategickom plánovaní a rozhodovaní v moderných výrobných podnikoch, najmä v prostredí Industry 4.0, kde flexibilita a efektívne využitie zdrojov zohrávajú kľúčovú úlohu.

Záverom je nutné poznamenať, že doplnkovým prístupom k Experiment Manageru je v Tecnomatix Plant Simulation aj nástroj Genetický Algoritmus, ktorý využíva princípy evolučného hľadania optimálnych riešení. Na rozdiel od systematického prehľadávania všetkých kombinácií, ako je to pri Experiment Manageri, Genetický Algoritmus prehľadáva priestor riešení selektívne a dokáže efektívne nachádzať kvalitné riešenia aj v prípade veľkého počtu premenných. Využitie oboch metód v kombinácii by umožnilo porovnať presné výsledky z úplného prehľadania s rýchlo získanými výsledkami z heuristického prístupu. Takýto hybridný postup by mohol priniesť lepšiu rovnováhu medzi presnosťou a výpočtovou náročnosťou optimalizačného procesu.

Pod'akovanie

Tento článok bol spracovaný s podporou grantov projektov KEGA 010ŽU-4/2023, VEGA 1/0674/24, KEGA 001TUKE-4/2025, APVV-21-0195, a ŠK-SRB-23-0054.

Literatúra

- Bao, J., Guo, D., Li, J., Zhang, J. 2019. The modelling and operations for the digital twin in the context of manufacturing. *Enterprise Information Systems*, 13, pp. 534-556.
- Bendowska, K., Zawadzki, P. 2023. Development and verification of a simulation model of an automated assembly line. *Applied Sciences*, 13, 10142.
- Cui, X., Yang, K., Wang, X., Duan, P. 2024. An improved iterated greedy algorithm for solving collaborative helicopter rescue routing problem with time window and limited survival time. *Algorithms*, 17(10), 431.
- Fernandez-Lacruz, R., Eriksson, A., Bergström, D. 2019. Simulation-based cost analysis of industrial supply of chips from logging residues and small-diameter trees. *Forests*, 11(1), 1.
- Guiguet, A., Pons, D. 2024. A validation framework for bulk distribution logistics simulation models. *Logistics*, 9(1), 3.
- Kassen, S., Tammen, H., Zarte, M., Pechmann, A. 2021. Concept and case study for a generic simulation as a digital shadow to be used for production optimisation. *Processes*, 9(8), 1362.
- Kliment, M., Kronová, J., Pekarčíková, M., Trebuňa, P., Baluch, M. 2025. The implementation of simulation in designing production expansion. *Processes*, 13(2), 299.



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

- Kováts, P., Skapinyecz, R. 2024. A combined capacity planning and simulation approach for the optimization of AGV systems in complex production logistics environments. *Logistics*, 8(4), 121.
- Kuncova, M., Zajoncova, M. 2018. Discrete event simulation usage to model and optimize the production line. *MM Scientific Journal*, pp. 2325-2332.
- Malashin, I.P., Tynchenko, V.S., Masich, I.S., Sukhanov, D.A., Ageev, D.A., Nelyub, V.A., Gantimurov, A.P., Borodulin, A.S. 2024. Two-stage genetic algorithm for optimization logistics network for groupage delivery. *Applied Sciences*, 14(24), 12005.
- Ochelska-Mierzejewska, J., Poniszewska-Marańda, A., Marańda, W. 2021. Selected genetic algorithms for vehicle routing problem solving. *Electronics*, 10(24), 3147.
- Schweiger, G., Nilsson, H., Schoeggl, J., Birk, W., Posch, A. 2020. Modeling and simulation of large-scale systems: A systematic comparison of modeling paradigms. *Applied Mathematics and Computation*, 365.



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

**Cúvanie – ohrozenie a nebezpečenstvo pri prevádzke
dopravných zariadení**

Gabriel Ferencz^{1*}

¹ Ústav zemských zdrojov, Fakulta BERG, Technická univerzita v Košiciach, Park
Komenského 14, 04200 Košice, Slovenská republika,
e-mail: gabriel.ferencz@austinpowder.sk

* Korešpondenčný autor

Abstract:

Reversing is one of the riskiest maneuvers when operating transport equipment, especially in industrial and construction operations, where people, vehicles and mechanisms move in a confined space. This paper deals with the identification of the main risks associated with reversing, including limited visibility, blind spots, insufficient signaling and operator inattention. Statistical data on the accident rate when reversing are analyzed and the most common causes of collisions and injuries are pointed out. Special attention is paid to technical and organizational measures to reduce the risk – such as the use of reversing cameras, sensors, acoustic signaling, operator training and correct marking of movement routes. The aim of the paper is to raise awareness of the dangers of reversing and contribute to the creation of effective safety strategies in an environment with high movement activity of transport equipment.

Key words:

reversing, transportation equipment, work safety, movement in confined spaces

Úvod

Nebezpečenstvá a ohrozenia sú neoddeliteľnou súčasťou pracovného procesu a činností vykonávaných zamestnancami. Z uvedeného dôvodu je zamestnávateľ povinný zisťovať nebezpečenstvá a ohrozenia, posudzovať riziko a vypracovať písomný dokument o posúdení rizika pri všetkých činnostiach vykonávaných zamestnancami. V rámci pracovných operácií sa bežne vykonáva aj obsluha dopravných zariadení, ktoré sa využívajú na prepravu a manipuláciu manipulačných jednotiek.

Samotná prevádzka dopravných zariadení je spravidla realizovaná v rámci pracoviska, ktoré predstavuje určitým spôsobom ohraničený priestor, kde sa pohybujú osoby a vyskytujú neodstrániteľné prekážky alebo iné faktory pracovného prostredia, ktoré majú vplyv na bezpečnú prevádzku dopravných zariadení. Jedným z významných a hlavných nebezpečenstiev a ohrození pri prevádzke dopravných zariadení je spätný chod tzv. cúvanie (ďalej ako „cúvanie“) s dopravným zariadením, o čom svedčí aj množstvo úrazov, ku ktorým v súvislosti s týmto úkonom došlo. Tento príspevok bude pojednávať o cúvaní z hľadiska bezpečnosti a ochrany zdravia pri práci.



Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

1 Metódy a metodika

1.1 Cúvanie v kontexte bezpečnosti a ochrany zdravia pri práci

Cúvanie sa dá charakterizovať ako spôsob ovládania dopravného zariadenia, pri ktorom sa predmetné dopravné zariadenie pohybuje dozadu, teda v opačnom smere, než je jeho bežný pohyb. Tento manéver sa vykonáva najmä pri parkovaní a odstavovaní dopravného zariadenia, otáčaní, vychádzaní z úzkych priestorov alebo pri manipulácii s nákladom na pracovisku.

Z uvedeného je zrejmé, že cúvanie predstavuje vysoko rizikovú činnosť, keďže obsluha vedie dopravné zariadenie dozadu, jej prehľad o situácii za týmto zariadením je obmedzená prostriedkami, ktorými je zariadenie vybavené (zrkadlá, kamery a pod.) a aj reakčná doba obsluhy na vznik nebezpečnej situácie je dlhšia, ako pri jazde dopredu.

1.2 Zásady bezpečnosti pri cúvaní v zmysle platnej legislatívy

Ako už bolo v úvode naznačené množstvo nebezpečných situácií a aj z toho vyplývajúcich úrazov sa v rámci dopravy stane v súvislosti s cúvaním. Z uvedeného dôvodu sú základné bezpečnostné zásady cúvania vyjadrené aj v jednotlivých ustanoveniach platnej legislatívy.

Hlavným predpisom upravujúcim podmienky cúvania je zákon o cestnej premávke a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov (Zákon č. 8/2009 Z. z., 2009, § 22) :

Vodič nesmie pri cúvaní ohroziť ostatných účastníkov cestnej premávky.

Ak to vyžadujú okolnosti, najmä nedostatočný rozhľad, vodič je povinný zaistiť bezpečné otáčanie alebo cúvanie pomocou spôsobilej a náležite poučenej osoby.

Vodič sa nesmie otáčať a nesmie cúvať

- a) na neprehľadných alebo na inak nebezpečných miestach, najmä v neprehľadnej zákrute a v jej tesnej blízkosti, pred neprehľadným vrcholom stúpania cesty, na ňom a za ním,*
- b) na križovatke s riadenou premávkou; otáčať sa smie, ak to dovoľuje dopravná značka alebo dopravné zariadenie,*
- c) na priechode pre chodcov, na mieste na prechádzanie alebo na priechode pre cyklistov,*
- d) na železničnom priecestí a v jeho tesnej blízkosti,*
- e) v tuneli a v jeho tesnej blízkosti,*
- f) na jednosmernej ceste; vodič však smie cúvať, ak je to nevyhnutne potrebné najmä na zaradenie do radu stojacich vozidiel alebo na vyjdenie z neho,*
- g) na moste.*

Ďalším predpisom pojednávajúcim o bezpečnosti pri cúvaní je vyhláška o bezpečnosti práce a technických zariadení pri prevádzke, údržbe a opravách vozidiel (Vyhláška č. 208, 1991, § 5 ods. 2 písm. b), c) a d))

Vodič ďalej



Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

- b) *nesmie sa s vozidlom otáčať a cúvať, ak nemá dostatočný rozhľad alebo ak tomu nevyhovuje povaha terénu,*
- c) *musí v prípadoch, ak to vyžadujú okolnosti, najmä nedostatočný rozhľad, zaistiť bezpečné cúvanie a otáčanie pomocou spôsobilej a náležite poučenej osoby, ak túto osobu stratí z dohľadu, je povinný ihneď zastaviť,*
- d) *musí začiatok cúvania v prípade, ak nemá dostatočný spätný výhľad z vozidla a cúvanie nie je zabezpečené pomocou spôsobilej a náležite poučenej osoby, zdôrazniť zvukovým výstražným signálom,*

Pri stavebných prácach je cúvanie so stavebnými mechanizmami (strojmi) upravené § 16 vyhlášky č. 147 (2013), ktorou sa ustanovujú podrobnosti na zaistenie bezpečnosti a ochrany zdravia pri stavebných prácach a prácach s nimi súvisiacich a podrobnosti o odbornej spôsobilosti na výkon niektorých pracovných činností v znení neskorších predpisov, príloha č. 8, bod 1.8 písm. f)

Pri prevádzke stroja sa oznámi uvedenie stroja do chodu zvukovým alebo svetelným výstražným znamením, ak je ním stroj vybavený.

V podmienkach povrchových banských prevádzok upravuje bezpečnosť a ochranu zdravia pri práci vyhláška o bezpečnosti a ochrane zdravia pri práci a bezpečnosti prevádzky pri banskej činnosti a činnosti vykonávanej banským spôsobom na povrchu, v ktorej síce nie sú určené podmienky bezpečného cúvania, ale prikazuje organizácii, ktorá banskú činnosť alebo činnosť banským spôsobom vykonáva, aby tieto podmienky určila vo svojej prevádzkovej dokumentácii, konkrétne v dopravnom poriadku (Vyhláška č. 29, 1989, § 136 ods. 2)

Opatrenia na zaistenie bezpečnosti osôb pred cúvajúcimi strojmi určí dopravný poriadok.

2 Výsledky

2.1 Riziká spojené s cúvaním

Proces cúvania je spojený s viacerými rizikovými faktormi. V tejto kapitole sú uvedené hlavné riziká, ktoré majú vplyv na to, že cúvanie je aktivita spojená so zvýšením nebezpečenstvom a ohrozením.

Obmedzený výhľad vodiča – cúvanie je spätný chod dopravného zariadenia, z čoho vyplýva, že vodič môže kontrolovať priestor v smere jazdy len prostredníctvom pomocných zariadení, ako sú zrkadlá alebo zadná kamera. Uvedené má za následok znížený rozhľad, nedostatočný prehľad o prekážkach v smere cúvania a vznik slepých zón (mŕtve uhly).

Neprirodzený spôsob vedenia dopravného zariadenia – vedenie dopravného zariadenia späť je odlišné od jazdy s týmto zariadením vpred. Pre každého vodiča je jazda vpred prirodzenejšia a ľahšia ako cúvanie a preto si cúvanie vyžaduje zvýšenú sústredenosť a dlhší tréning.

Prítomnosť osôb v blízkosti cúvajúceho dopravného zariadenia – ide najmä o pohyb osôb v blízkosti dopravného zariadenia, ktoré si neuvedomujú, že so zariadením sa cúva a tak sa postaví do jazdnej dráhy dopravného zariadenia alebo do nej vstúpi. Súbeh jednotlivých



Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

okolností (rýchlosť cúvania, rozhlád, miesto vstupu do jazdnej dráhy a pod.) môže viesť k zrážke dopravného zariadenia s takouto osobou, nakoľko vodič nemá vždy dostatok času na adekvátnu reakciu.

Hluk v prostredí – prevádzkový hluk môže spôsobiť, že aj keď je dopravné zariadenie vybavené zvukovým výstražným znamením, výstražné signály cúvania v dôsledku hlučného prostredia zaniknú alebo budú veľmi zle vnímateľné.

Zlé osvetlenie alebo počasie – znížená viditeľnosť výrazne ovplyvňuje spôsobilosť vodiča včas reagovať na krízovú situáciu aj pri bežnom vedení dopravného zariadenia a nie to ešte pri cúvaní. V prípade cúvania je znížená viditeľnosť dôvodom na využitie pomoci navádzača.

Nedostatočné označenie trás a zón pre pohyb dopravných zariadení a osôb – nedostatočné alebo nevhodné vymedzenie priestoru pre pohyb dopravných zariadení a osôb má za následok nežiaduci pohyb osôb v blízkosti dopravných zariadení a zvýšené riziko ich prejedenia.

2.2 Príklad úrazov spojených s cúvaním

Nižšie sú uvedené príklady úrazov spojených s cúvaním, ktoré boli predmetom súdneho sporu spolu s uvedením testu pre vodiča dopravného zariadenia.

Pri prácach súvisiacich s opravou cesty, riadil vodič nákladné motorové vozidlo (súd tohto vodiča považoval za odborne spôsobilú osobu, keďže má vydaný vodičský preukaz). Predmetné nákladné motorové vozidlo bolo vybavené zvukovým výstražným znamením upozorňujúcim na cúvanie vozidla, ktoré však bolo v tom čase nefunkčné. Pri cúvaní na vyfrézovanom úseku pravého jazdného pruhu narazil vodič do osoby, ktorá stála za ním. Táto osoba v dôsledku nárazu spadla medzi zadné nápravy vozidla, kde bola zachytená pravým jazdným vnútorným kolesom, ktorým jej vozidlo prešlo cez ľavú nohu a spôsobilo jej potrhánie ľavej nohy s priečnou ranou, vyklbenie prvého až štvrtého prsta ľavej nohy s následnou amputáciou prvého až tretieho prsta, zlomeninu koncového článku predlaktia s odreninami kože na ľavom predkolení. Zranenia spôsobené postihnutej osobe boli charakterizované ako ťažké zranenia vyžadujúce si liečenie a trvanie práceneschopnosti najmenej 3 - 4 mesiace. Vodič bol odsúdený na trest odňatia slobody v trvaní 6 mesiacov s tým, že výkon trestu bol podmienenečne odložený na skúšobnú dobu v trvaní 12 mesiacov (Rozhodnutie Okresného súdu Košice – okolie, 4T/47/2015).

Vodič viedol vysokozdvížný vozík, pričom pri cúvaní nevenoval osobitnú pozornosť prevádzkovému prostrediu, blízkym pevným alebo pohyblivým objektom a nedbal na bezpečnosť osôb. Z uvedeného dôvodu, vodič následne prešiel zadnou časťou vysokozdvížného vozíka po ľavej nohe tam stojaceho poškodeného, ktorý v dôsledku toho utrpel otvorenú zlomeninu oboch kostí ľavého dolného predkolenia, pričom zlomenina holennej kosti roztrhla mäkké tkanivá a spôsobila ranu o veľkosti 2 cm. Poškodený taktiež utrpel ťažké pomliaždenie chrbtovej strany ľavej nohy a palca ľavej nohy so zlomeninou dolného článku palca, následkom čoho bol cca. 1 mesiac plne odkázaný na pomoc druhej osoby, bol pripútaný na lôžku a následne obmedzený v pohybe, nemohol sa postaviť na ľavú dolnú končatinu, chodil



Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

za pomoci bariel, bol obmedzený v hygiene tela, nemohol vykonávať domáce práce. Doba liečenia bola v rozsahu približne šiestich mesiacov. Vodič bol odsúdený na trest odňatia slobody v trvaní 12 mesiacov s tým, že výkon trestu bol podmienenečne odložený na skúšobnú dobu v trvaní 24 mesiacov (Rozhodnutie Okresného súdu Trnava, 12T/26/2022).

3 Výsledky

3.1 Navrhnuté opatrenia

Za účelom zvýšenia bezpečnosti a ochrany zdravia sa pri cúvaní odporúča aplikácia nasledovných opatrení:

Vylúčiť potrebu cúvania v rámci pracoviska – navrhnuť trasy dopravných zariadení, rozloženie pracoviska a pracovné operácie tak, aby jednotlivé činnosti bolo možné realizovať bez potreby cúvania; uvedené si vyžaduje dostatočné priestorové pomery a špecifikovanú organizáciu práce.

Používanie senzorov detekcie prekážky a zadných kamier – nedostatočný rozhľad je možné vykompenzovať senzormi upozorňujúcimi na prekážku za pohybujúcim sa dopravným zariadením; nevýhodou tohto systému je, že senzory nezachytia všetky prekážky a účinné sú len pri určitej rýchlosti cúvania. Účinnejším opatrením je používanie zadných kamier, ktoré slúžia na okamžitú kontrolu priestoru za dopravným zariadením pred začiatkom cúvania, ako aj počas samotného cúvania; nevýhodou je skreslenie okolia a nezvyk cúvať len za pomoci obrazového záznamu z kamery.

Používanie zvukových alebo svetelných výstražných znamení – zvukové a svetelné výstražné znamenia slúžia primárne na upozornenie osôb nachádzajúcich sa v blízkosti dopravného zariadenia na cúvanie. Najefektívnejšia je kombinácia oboch znamení, čo sa využíva hlavne pri vysokozdvížných vozíkoch. Len pre ilustráciu pri niektorých motorových vozidlách je inštalácia zvukových výstražných znamení dokonca povinnosťou v zmysle platnej legislatívy (*Motorové vozidlá s najväčšou technicky prípustnou celkovou hmotnosťou prevyšujúcou 3,5 t kategórie M a N, ktoré sú prihlásené do evidencie vozidiel v Slovenskej republike, musia byť vybavené doplnkovým zvukovým výstražným zariadením umiestneným v zadnej časti vozidla, ktoré pri zaradenom spätnom chode a pri chode motora vydáva prerušované výstražné zvukové znamenie – § 18 ods. 1 vyhlášky č. 134/2018 Z. z. ktorou sa ustanovujú podrobnosti o prevádzke vozidiel v cestnej premávke v znení neskorších predpisov*).

Stanovenie pravidiel pre cúvanie – pravidlá určujúce podmienky cúvania sú spravidla uvedené vo vnútorných dopravných predpisoch, ktoré musia byť vypracované pre každé pracovisko, v rámci ktorého sa pohybuje mobilný dopravný prostriedok. Pravidlá pre cúvanie určujú povinnosti vodiča pred začiatkom cúvania (kontrola priestoru za dopravným zariadením, upozornenie blízko stojacich osôb na začiatok cúvania a pod.), počas cúvania (maximálna rýchlosť cúvania, kontrola okolia a pod.), počas pracovnej operácie (spôsob pristavovania mobilného zariadenia na nakládku alebo vykládku), ako aj vymedzujú situácie, keď je cúvanie potrebné vykonať pomocou spôsobilej a náležite poučenej osoby.



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

Školenia vodičov a zamestnancov – odporúča sa vykonávať tematické školenia zamerané na osobitné podmienky pri cúvaní v rámci pracoviska (miesta s pravidelným cúvaním, pravidlá pre cúvanie, povinnosti chodcov a pod.).

Oddelenie trás pre dopravné zariadenia a chodcov – jednoznačne a viditeľne vyznačiť v priestore trasy pre dopravné zariadenia a trasy pre chodcov, ako aj určiť pravidlá pre miesta, kde dochádza ku styku týchto trás.

Vedenie záznamov o incidentoch spojených s cúvaním a na základe ich analýzy prijímať adekvátne opatrenia

Cieľom príspevku bolo v základných rysoch poukázať na hlavné riziká vyplývajúce z úkonu cúvania, ale aj návrh primárnych opatrení, ktorými je tento úkon možné vykonať bezpečnejšie a s čo najmenším ohrozením okolitých osôb. Bezpečnosť pri cúvaní si vyžaduje, nie len plné sústredenia sa vodiča na vykonávaný manéver, ale aj disciplinovať chodcov a osôb pohybujúcich sa v blízkosti dopravného zariadenia.

Literatúra

Rozhodnutie Okresného súdu Košice – okolie sp. zn. 4T/47/2015.

Rozhodnutie Okresného súdu Trnava sp. zn. 12T/26/2022.

Vyhláška č. 29/1989 Zb. o bezpečnosti a ochrane zdravia pri práci a bezpečnosti prevádzky pri banskej činnosti a činnosti vykonávanej banským spôsobom na povrchu.

Vyhláška č. 134/2018 Z. z. ktorou sa ustanovujú podrobnosti o prevádzke vozidiel v cestnej premávke v znení neskorších predpisov.

Vyhláška č. 147/2013 Z. z. ktorou sa ustanovujú podrobnosti na zaistenie bezpečnosti a ochrany zdravia pri stavebných prácach a prácach s nimi súvisiacich a podrobnosti o odbornej spôsobilosti na výkon niektorých pracovných činností v znení neskorších predpisov.

Vyhláška č. 208/1991 Zb. o bezpečnosti práce a technických zariadení pri prevádzke, údržbe a opravách vozidiel.

Zákon č. 8/2009 Z. z. o cestnej premávke a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov.



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

Economic efficiency and risks associated with investment in a road milling machine

Jaroslava Janeková^{1*}, Jana Fabianová², Peter Krajný³

¹ Ústav priemyselného inžinierstva, manažmentu a aplikovanej matematiky, Strojnícka fakulta, Technická univerzita v Košiciach, Letná 9, 04200 Košice, Slovenská republika, e-mail: jaroslava.janekova@tuke.sk

² Ústav logistiky a dopravy, Fakulta BERG, Technická univerzita v Košiciach, Park Komenského 14, 04200 Košice, Slovenská republika, e-mail: jana.fabianova@tuke.sk

³ Ústav priemyselného inžinierstva, manažmentu a aplikovanej matematiky, Strojnícka fakulta, Technická univerzita v Košiciach, Letná 9, 04200 Košice, Slovenská republika, e-mail: peter.krajny@student.tuke.sk

* Korešpondenčný autor

Abstract:

The article provides a comprehensive approach to assessing the economic profitability of an investment project - a Wirtgen W 200 Fi road milling machine. The assessment is carried out in two steps. The economic efficiency of the investment project is assessed using traditional deterministic methods in terms of profitability and liquidity, while comparing purchase with the rental alternative. The risk of the investment project is analyzed using the stochastic Monte Carlo method using the Crystal Ball software tool. The analysis of the risk of the investment project is based on 13 stochastic variables with different types of probability distributions. The output includes sensitivity analyses, percentile distributions and identification of risk inputs with the greatest impact on the monitored output variable. The results are processed in the form of histograms, sensitivity graphs and scatter diagrams. Finally, the investment decision to implement or not to implement the investment project is presented.

Key words:

investment, economic efficiency, risk, simulation, Monte Carlo method

Úvod

Investičné rozhodovanie predstavuje kľúčový prvok strategického riadenia podnikov, najmä v prostredí rastúcej neistoty, tlaku na efektívnosť a obmedzených zdrojov. Tradičné metódy hodnotenia ekonomickej efektívnosti, ako čistá súčasná hodnota (NPV), vnútorné výnosové percento (IRR), index ziskovosti (PI) či diskontovaná doba návratnosti (DPP), poskytujú základ pre posúdenie realizovateľnosti projektov. Tieto prístupy však nezohľadňujú variabilitu vstupov ani možný vplyv rizikových scenárov. Preto sa čoraz viac presadzujú pokročilé metódy, medzi ktoré patrí aj metóda Monte Carlo, umožňujúca kvantifikovať dopad neistoty na výslednú hodnotu investície.



Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

Investičná činnosť je prirodzene spojená s vysokou mierou rizika a neistoty. Zlyhania investičných projektov často vyplývajú z nadhodnotených očakávaní, problémov pri rozširovaní výrobných kapacít či z nepresných odhadov kapitálových a prevádzkových nákladov. Preto je analýza rizík neoddeliteľnou súčasťou investičného rozhodovania a stáva sa predmetom početných výskumných prác. Napríklad Frot et al. (1993) vyvinuli všeobecný rámec pre analýzu riadenia rizík a finančných politík podnikových investícií. Dranka et al. (2020) navrhli rámec pre vykonávanie ekonomickej analýzy a výber vhodnej metodiky pre obnovovacie investičné projekty. Song et al. (2021) predstavili deterministický model ekvivalentného príjmu založený na rizikových nákladoch a averzii investorov k riziku. Tento model zohľadňuje subjektívne aj objektívne faktory ovplyvňujúce rizikové investície a umožňuje adekvátne hodnotiť investičné projekty s vysokou mierou neistoty.

Stratégie rozhodovania a prístupy k hodnoteniu rizík zohrávajú kľúčovú úlohu pri znižovaní rizika strát vo veľkých investičných projektoch (Dheskali et al., 2020). Viacerí autori sa venovali spracovaniu prehľadových prác a prípadových štúdií o podnikových investíciách a investičných rizikách v rôznych odvetviach priemyslu. Harris et al. (2019) napríklad identifikovali vzťah medzi rizikom peňažných tokov, rozhodnutiami o kapitálovej štruktúre a prevádzkovými peňažnými tokmi. Pereira et al. (2014) navrhli metodiku založenú na metóde Monte Carlo, ktorá umožňuje odhad ekonomických parametrov a tým podporuje rozhodovanie s ohľadom na riziko udržateľnosti projektu. Prístup k analýze rizík pomocou metódy Monte Carlo, zohľadňujúci celý životný cyklus investičného projektu v oblasti technológií obnoviteľnej energie, predstavili Arnold et al. (2015).

Cieľom článku je prezentovať komplexný postup pri rozhodovaní o realizácii investičného projektu v stavebníctve. Postup je spracovaný v dvoch krokoch. Najskôr je posúdená ekonomická efektívnosť reálneho investičného projektu pomocou dynamických finančných kritérií z hľadiska výnosnosti a likvidity. Následne je analyzované riziko pomocou simulačnej metódy Monte Carlo s využitím softvérového nástroja Crystal Ball. Výsledkom je rozhodnutie realizovať, resp. nerealizovať daný investičný projekt.

1 Metódy a metodika

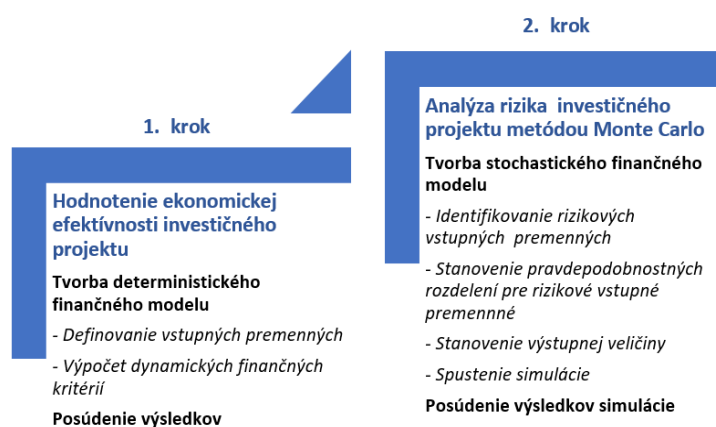
Výskumný problém je demonštrovaný na prípadovej štúdii, zameranej na investičné rozhodovanie o rozvojovom investičnom projekte - obstaranie cestnej frézy Wirtgen W 200 Fi s pracovnou šírkou 2000 mm. Zariadenie je určené na frézovanie opotrebovaného asfaltobetónového povrchu a jeho následne spracovanie a opätovné využitie získaného materiálu. Dôvodom obstarania cestnej frézy je skutočnosť, že stavebná spoločnosť sa stretáva s viacerými prevádzkovými výzvami, medzi ktoré patria najmä sezónnosť stavebných prác, rastúce náklady na materiály a energie, nedostatok kvalifikovaných pracovných síl, ako aj závislosť na prenájme špecializovanej stavebnej techniky. V prípade, že spoločnosť neobstará vlastné zariadenie, bude nútená zabezpečovať jeho dostupnosť prostredníctvom prenájmu od externých dodávateľov, čo je spojené s výrazne vyššími nákladmi a prevádzkovými rizikami (napr. obmedzená dostupnosť techniky počas sezóny, závislosť od harmonogramu prenajímateľa a podobne).



Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

Účelom realizácie investičného projektu je vyhnúť sa vysokým nákladom na prenájom, znížiť závislosť od externých dodávateľov, získať kontrolu nad technickým harmonogramom, vytvoriť dodatočný príjem v prípade prenájmu investície tretím stranám, znížiť spotrebu primárnych surovín prostredníctvom opätovného využitia vyfrézovaného asfaltu a znížiť množstvo stavebného odpadu. Uvedené faktory vytvárajú strategickú výhodu, ktorá zahŕňa zvýšenie finančnej nezávislosti, zníženie výrobných rizík a zlepšenie environmentálnych ukazovateľov spoločnosti.



Obr. 1 Postup pri rozhodovaní o investičnom projekte
Zdroj: autor

Na Obr. 1 je zaznamenaná metodika rozhodovania o investičnom projekte v dvoch krokoch, t. j. v posúdení ekonomickej efektívnosti investície s využitím dynamických deterministických metód a analýzy rizika pri uplatnení simulačnej metódy Monte Carlo.

1.1 Vstupné údaje – deterministický prístup

Kvantitatívne posúdenie ekonomickej efektívnosti plánovanej investície je realizované na základe očakávaných ročných peňažných tokov z prevádzky cestnej frézy počas celej doby jej životnosti. Vstupné údaje pre ich výpočet sú zaznamenané v Tab. 1.

Výpočty sú realizované pre dva scenáre:

- Scenár A je bez dodatočných príjmov, t. j. zohľadňuje len úsporu z prenájmu, pretože využívanie frézy je iba pre vlastné zákazky.
- Scenár B je s príjmom, t. j. zahŕňa okrem úspory z prenájmu aj komerčné využitie frézy, prípadne predaj asfaltovej zmesi.

Pre každý scenár sú aplikované nasledovné vzťahy vyjadrené v EUR/rok:

$$\text{Zisk pred zdanením} = \text{Alternatívne náklady na prenájom} - \text{Celkové prevádzkové náklady} \quad (1)$$

$$\text{Zisk po zdanení} = \text{Zisk pred zdanením} \times (1 - \text{koeficient sadzby dane z príjmu}) \quad (2)$$



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

$$\text{Peňažný príjem} = \text{Zisk po zdanení} - \text{Odpisy} \quad (3)$$

$$\text{Diskontovaný peňažný príjem} = \text{Peňažný príjem} \times (1/(1+\text{koeficient diskontnej sadzby})) \quad (4)$$

Tab. 1 Vstupné údaje pre výpočet ekonomickej efektívnosti investičného projektu

Ukazovateľ	Hodnota	Poznámka
Obstarávacia cena frézy	600 000 EUR	Jednorazová investícia v roku 0
Doba životnosti	6 rokov	Podľa zákona č. 595/2003 Z. z.
Ročný odpis	100 000 EUR/rok	600 000 EUR/6 rokov
Počet dní využitia frézy na vlastné zákazky	100 dní/rok	Odhad na základe sezónnosti a reálnej praxe
Počet dní komerčného prenájmu	20 dní/rok	Využitie nevyťažovaných dní
Cena prenájmu	2 500 EUR/deň	Trhová cena za deň
Úspora z nahradenia prenájmu vlastným zariadením	250 000 EUR/rok	100 dní × 2 500 EUR
Výnos z komerčného prenájmu	50 000 EUR/rok	20 dní × 2 500 EUR
Mzdové náklady	54 000 EUR/rok	3 zamestnanci × 1 500 EUR × 12 mesiacov
Náklady na palivo	57 750 EUR/rok	Priemer z rozpätia 49 500 – 66 000 EUR
Náklady na údržbu	17 000 EUR/rok	17 % z obstarávacej ceny/6 rokov
Poistenie zariadenia	200 EUR/rok	Fixná položka
Diskontná sadzba	4,97 %	Vážené priemerné náklady na kapitál

Zdroj: autor

Následne sa vypočítajú zvolené dynamické finančné kritéria, ktoré zohľadňujú časovú hodnotu peňazí a poskytujú relevantné informácie pre investičné rozhodovanie z pohľadu vlastníka kapitálu aj celkovej kapitálovej štruktúry podniku.

1.2 Vstupné údaje – stochastický prístup

Investičné rozhodnutia v oblasti stavebných projektov sú ovplyvnené neistotou v oblasti vstupov. Na rozdiel od tradičných deterministických prístupov, ktoré pracujú s pevne stanovenými hodnotami, simulácia metódou Monte Carlo umožňuje kvantifikovať vplyv rizikových faktorov prostredníctvom stochastického modelovania.

Pri tvorbe simulačného modelu metódou Monte Carlo je nevyhnutné okrem identifikácie rizikových faktorov zvoliť vhodný typ pravdepodobnostného rozdelenia (Tab. 2), ktoré určuje, s akou pravdepodobnosťou sa jednotlivé hodnoty rizikovej vstupnej premennej vyskytujú v simulácii.



Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment
Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

Tab. 2 Identifikácia vstupných rizikových premenných

Riziková Vstupná premenná	Jednotka	Rozsah	Pravdepodobnostné rozdelenie
Potenciálny počet dní v sezóne	dni/rok	Min.120; max. 150; likeliest 130	BetaPERT
Nepriaznivé počasie	dni/rok	Min.10; max. 15	Rovnomerné
Technické prestoje	dni/rok	Min. 5; max 7	Rovnomerné
Logistika (presuny)	dni/rok	Min. 5; max. 10	Rovnomerné
Koordinácia vo výstavbe	dni/rok	Min. 10; max. 15	Rovnomerné
Podiel interného využitia	%	Min. 0; max. 100	Rovnomerné
Reálne využité na komerčný prenájom	dni/rok	Min. 0; max. 20	Rovnomerné
Náklady na prenájom	EUR/deň	Min. 2 400; max. 2 600; likeliest 2 500	BetaPERT
Mzda zamestnanca	EUR/mesiac	Min. 1200; max. 1700; likeliest 1 500	BetaPERT
Náklady na palivo	EUR/l	Min. 1,50; max. 1,80; likeliest 1,65	BetaPERT
Spotreba paliva	l/deň	Min. 300; max. 400	Rovnomerné
Náklady na údržbu (% z ceny frézy)	%	Min. 5; max. 30; likeliest 17	Trojuholníkové
Poistenie zariadenia	EUR/rok	Min. 180; max. 250	Rovnomerné

Zdroj: autor

Výber pravdepodobnostného rozdelenia vychádza z charakteru vstupnej premennej, dostupnosti historických alebo expertných údajov a z povahy kolísania pozorovaných alebo očakávaných hodnôt. V tomto prípade sú použité tri pravdepodobnostné rozdelenia – BetaPERT, rovnomerné a trojuholníkové. Takto zadefinovaná každá riziková vstupná premenná sa stáva stochastickou veličinou a na základe simulácie metódou Monte Carlo je možné kvantifikovať vplyv jej variability na sledovanú výstupnú veličinu - čistú súčasnú hodnotu. Počet simulácií je 100 000.

2 Výsledky

2.1 Posúdenie ekonomickej efektívnosti investičného projektu – deterministický prístup

Posúdenie ekonomickej efektívnosti investičného projektu je realizované pomocou dynamických finančných kritérií uvedených v Tab. 3.



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

Tab. 3 *Ekonomická efektívnosť investičného projektu pomocou dynamických finančných kritérií*

Finančné kritérium	Merná jednotka	Scenár A (bez príjmov)	Scenár B (s príjmom)	Podmienka priateľnosti investície
Čistá súčasná hodnota	EUR	447 091,77	648 935,12	NPV > 0
Index ziskovosti	koef.	1,75	2,08	PI > 1
Vnútorne výnosové percento	%	27,77	34,07	IRR > WACC
Diskontovaná doba návratnosti	roky	3,23	2,68	DPP < 6 rokov

Zdroj: autor

V oboch scenároch boli splnené základné podmienky pre prijateľnosť investície podľa jednotlivých finančných kritérií. Čistá súčasná hodnota generuje kladnú pridanú hodnotu pri reálnej diskontnej sadzbe 4,79 %. Hodnoty vnútorného výnosového percenta 27,76 % (v scenári A) a 34,07 % (v scenári B) výrazne prevyšujú vážené priemerné náklady na kapitál (WACC = 4,79 %), čo signalizuje schopnosť investície vytvárať nadpriemerný výnos a absorbovať prípadné zvýšenie kapitálových nákladov. Hodnoty indexu ziskovosti 1,75 (v scenári A) a 2,08 (v scenári B) potvrdzujú, že každé investované euro prináša v súčasnej hodnote výnos, ktorý prevyšuje celkové investičné náklady. Index vyjadruje efektívne využitie kapitálu a podporuje rozhodnutie o realizácii projektu. Diskontovaná doba návratnosti dosahuje hodnotu 3,23 roka (v scenári A) a 2,68 roka (v scenári B), čo znamená, že investícia sa vráti ešte pred ukončením jej plánovanej životnosti. Kratšia návratnosť znižuje investičné riziko a zvyšuje predvídateľnosť budúcich peňažných tokov.

Rozdiely medzi scenármi A a B ukazujú, že už aj samotná úspora oproti prenájmu investície je dostatočná na návratnosť investície, aj keď s dlhším časovým horizontom a menšou rezervou voči zmene vstupných parametrov. Naopak, zahrnutie dodatočných príjmov z prenájmu investície vedie k výraznému zlepšeniu všetkých sledovaných ukazovateľov a potvrdzuje potenciál projektu vytvárať hodnotu aj pri náročnejších podmienkach financovania.

2.2 Analýza rizika investičného projektu metódou Monte Carlo

Analýza rizika metódou Monte Carlo umožňuje modelovať neistotu vstupných premenných a generovať pravdepodobnostné rozdelenie výstupnej veličiny, konkrétne čistej súčasnej hodnoty. Simulačný model je implementovaný v prostredí Microsoft Excel s využitím softvérového nástroja Crystal Ball. Výsledkom simulácie je komplexné posúdenie rizík vrátane analýzy citlivosti rizikových premenných na výslednú hodnotu investície, ktoré poskytuje reálnejší obraz o potenciálnej návratnosti projektu v podmienkach variability a neistoty.

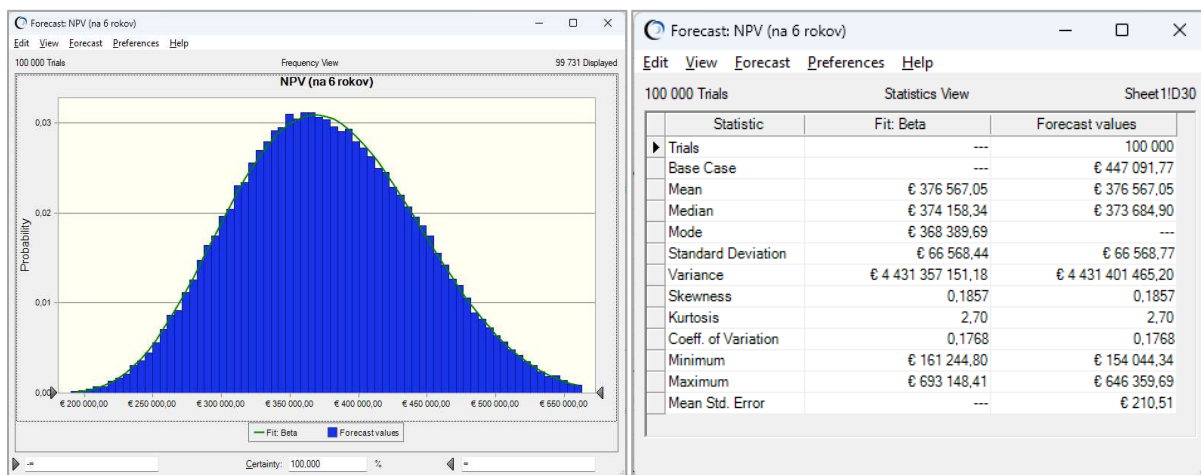
Vyhodnotenie štatistických údajov (Obr. 2) a ich následné prispôbenie Beta distribúciou potvrdzujú, že projekt je stabilný, ekonomicky životaschopný a odolný voči



Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

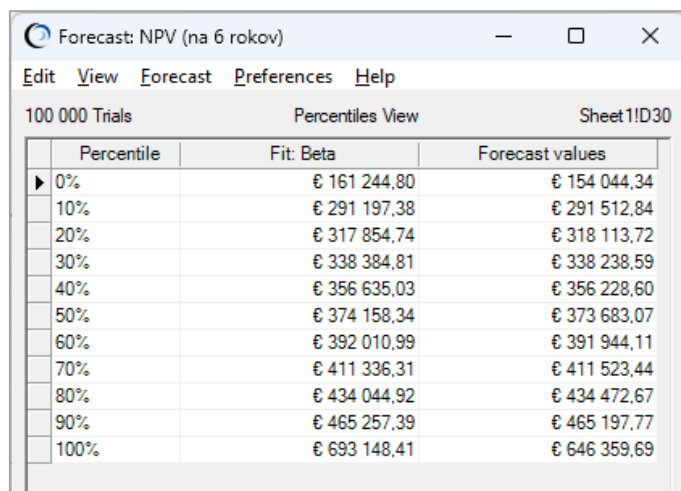
bežným prevádzkovým rizikám. Správanie výsledkov v rámci simulácie je logické, realistické a vhodne modelované, čo zvyšuje dôveru v kvalitu investičnej analýzy.



Obr. 2 Rozdelenie pravdepodobnosti NPV a jej štatistické charakteristiky

Zdroj: autor

Pre komplexné pochopenie správania projektu z hľadiska rizika je spracovaná percentilová analýza simulovaných hodnôt čistej súčasnej hodnoty. Percentilové hodnoty poskytujú podrobný pohľad na to, ako sa môžu výsledky projektu distribuovať v rámci rôznych pravdepodobnostných hladín. Tieto hodnoty (Obr. 3) potvrdzujú vysokú robustnosť projektu, nakoľko aj v najhorších prípadoch simulácia ukazuje pozitívne výsledky. Presné prispôbenie pomocou Beta rozdelenia zabezpečuje, že model spoľahlivo vystihuje rizikové profily investície a poskytuje pevný základ pre kvalifikované rozhodovanie.

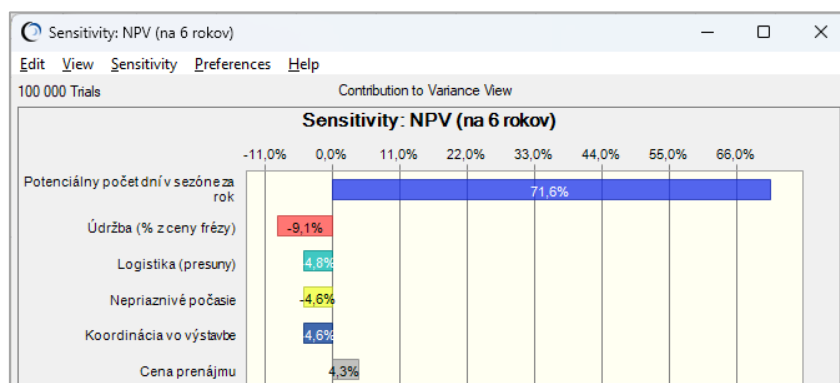


Obr. 3 Percentilové rozdelenie hodnôt NPV a ich porovnanie s modelom Fit: Beta

Zdroj: autor

Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

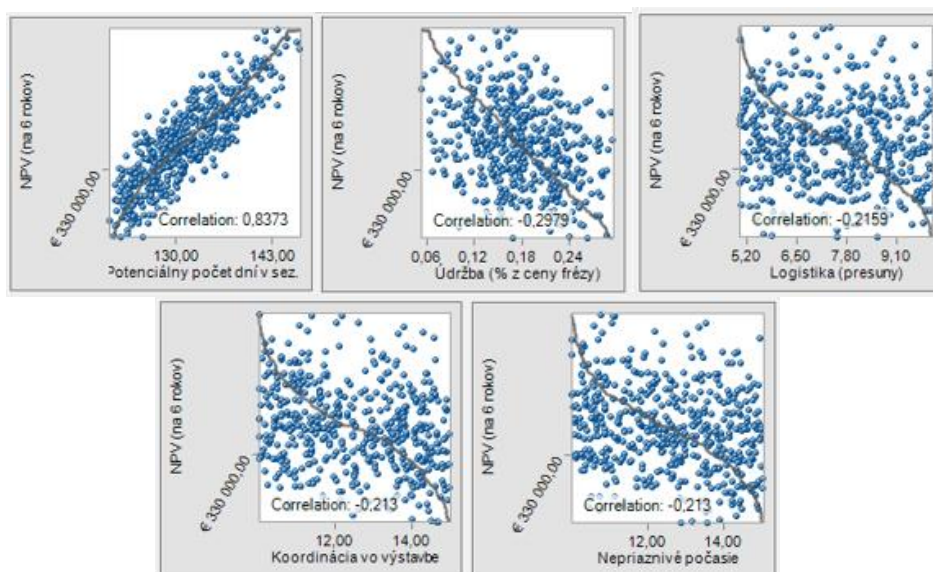
Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení



Obr. 4 Graf citlivosti NPV

Zdroj: autor

Graf citlivosti NPV (Obr. 4) dokumentuje, že najväčší vplyv na úspešnosť investičného projektu majú faktory spojené s efektívnym využitím pracovných dní, predovšetkým počet dní v sezóne, logistické presuny, nepriaznivé počasie a koordinácia výstavby. Tento záver podporuje aj pozorovaná vysoká pozitívna korelácia medzi počtom efektívnych pracovných dní a hodnotou NPV, čo potvrdzuje, že projekt je výrazne závislý od sezónnych podmienok a schopnosti efektívne riadiť stavebné činnosti (Obr. 5). Naopak, faktory ako náklady na údržbu a organizačné výpadky (logistika, počasie, koordinácia vo výstavbe) majú negatívny vplyv na výkonnosť investície tým, že znižujú dostupnosť stroja a obmedzujú generovanie výnosov. Ostatné náklady, ako sú mzdy zamestnancov, spotreba paliva alebo ročné poistenie, majú v rámci modelu zanedbateľný vplyv na čistú súčasnú hodnotu a ich optimalizácia má len obmedzený význam z pohľadu celkovej ziskovosti projektu.



Obr. 5 Prieklady Scatter diagramov

Zdroj: autor



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

Scatter analýza (Obr. 5) poskytuje jasný prehľad o tom, ako jednotlivé vstupy ovplyvňujú NPV. Najväčší vplyv majú počet pracovných dní, údržba, logistika, počasie a koordinácia výstavby, zatiaľ čo mzdy, palivo a poistenie majú len zanedbateľný dopad. Tieto grafy potvrdzujú zistenia z predchádzajúcich analýz a zároveň ukazujú, že medzi premennými neexistuje výrazná multikolinearita, čo zvyšuje dôveryhodnosť výstupov.

3 Závery

Výsledky dynamickej analýzy potvrdzujú, že investícia do obstarania vlastnej frézy Wirtgen W 200 Fi je finančne realizovateľná a efektívna z hľadiska výnosnosti, likvidity – návratnosti, teda schopnosti generovať stabilné cash flow počas celej doby životnosti techniky. Projekt má silný potenciál vytvárať zisk a predstavuje vhodnú investičnú príležitosť aj pri vyšších nákladoch na kapitál alebo mierne nepriaznivých podmienkach.

Analýza citlivosti realizovaná simulačnou metódou Monte Carlo potvrdzuje, že úspech investície je primárne determinovaný operatívnym plánovaním a schopnosťou minimalizovať straty efektívneho pracovného času. Manažérske odporúčania by sa mali sústrediť najmä na: maximalizáciu počtu efektívnych pracovných dní, optimalizáciu logistiky a koordinácie stavieb, na efektívnu technickú správu zariadenia s cieľom minimalizovať náklady na údržbu. Implementáciou týchto opatrení je možné významne znížiť variabilitu výsledkov a zabezpečiť stabilnú návratnosť investície. Výsledky analýzy ukazujú, že pôsobenie rizikových faktorov spôsobilo pokles čistej súčasnej hodnoty projektu o 70 524,72 EUR, a to z pôvodných 447 091,77 EUR na 376 567,05 EUR.

Pod'akovanie

Tento článok bol spracovaný s podporou grantov projektov KEGA 010ŽU-4/2023, KEGA 038TUKE-4/2024, VEGA 1/0674/24 and VEGA 1/0219/23.

Literatúra

- Arnold, U., Yildiz, Ö., 2015. Economic risk analysis of decentralized renewable energy infrastructures - A Monte Carlo Simulation approach. *Renew Energy*, 77, pp. 227-239.
- Dheskali, E., Koutinas, A.A., Kookos, I.K., 2020. Risk assessment modelling of bio-based chemicals economics based on Monte-Carlo simulations. *Chemical Engineering Research and Design*, 163, pp. 273-280.
- Dranka, G.G., Cunha, J., Lima, J.D., De Ferriera, P., 2020. Economic evaluation methodologies for renewable energy projects. *AIMS Energy*, 8, pp. 339-364.
- Froot, K.A., Scharfstein, D.S., Stein, J.C., 1993. Risk management: Coordinating corporate investment and financing policies. *The Journal of Finance*, 48, pp.1629-1658.



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

- Harris, C., Roark, S., 2019. Cash flow risk and capital structure decisions. *Finance Research Letters*, 29, pp. 393-397.
- Pereira, E.J., da S., Pinho, J.T., Galhardo, M.A.B., Macedo, W.N., 2014. Methodology of risk analysis by Monte Carlo Method applied to power generation with renewable energy. *Renew Energy*, 69, pp. 347-355.
- Song, Y., Li, X.Y., Li, Y., Hong, X., 2021. Risk investment decisions within the deterministic equivalent income model. *Kybernetes*, 50, pp. 616-632.



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

**Návrh systému hodnotenia dodávateľov multikritériálnym
rozhodovaním: prípadová štúdia spoločnosti TerMo s.r.o.**

Peter Kačmár^{1*}, Jakub Kovalčík², Kristína Kleinová³, Martin Straka⁴

¹ Technická univerzita v Košiciach, Fakulta BERG, Ústav logistiky a dopravy, Park Komenského 14, 04200 Košice, Slovenská republika, e-mail: peter.kacmary@tuke.sk

² Technická univerzita v Košiciach, Fakulta BERG, Ústav logistiky a dopravy, Park Komenského 14, 04200 Košice, Slovenská republika, e-mail: jakub.kovalcik@tuke.sk

³ Technická univerzita v Košiciach, Fakulta BERG, Ústav logistiky a dopravy, Park Komenského 14, 04200 Košice, Slovenská republika, e-mail: kristina.kleinova@tuke.sk

⁴ Technická univerzita v Košiciach, Fakulta BERG, Ústav logistiky a dopravy, Park Komenského 14, 04200 Košice, Slovenská republika, e-mail: martin.straka@tuke.sk

* Korešpondenčný autor

Abstract:

This study focuses on designing a supplier evaluation system for TerMo s.r.o., the Slovak company engaged in the sale and installation of plumbing, heating, and sewage materials. The evaluation is based on the application of Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) techniques, incorporating key factors such as discount levels, delivery time, supplier reliability, financial condition, and payment and delivery terms. The methodology includes both theoretical and practical analyses using several MCDM methods, with data processed in MS Excel. The findings highlight the effectiveness of MCDM in strategic supplier selection and underline the potential benefits for company competitiveness.

Key words: supplier evaluation, multi-criteria decision-making, Supply-Chain-Management, forecasting, logistics

Úvod

V dnešnom konkurenčnom a globalizovanom podnikateľskom prostredí sa riadenie dodávateľského reťazca (SCM) stalo kľúčovým faktorom úspechu organizácie. Výber a hodnotenie dodávateľov je jedným z najstrategickejších prvkov v procese obstarávania. Nízka výkonnosť dodávateľov môže viesť k oneskoreniam, zvýšeným nákladom a nespokojnosti zákazníkov. Preto spoločnosti čoraz častejšie využívajú štruktúrované metódy hodnotenia dodávateľov, aby minimalizovali riziká a zabezpečili dlhodobé partnerstvá (Pekarčíková, 2024).

Metódy viacnásobného kritériového rozhodovania (MCDM) si získali popularitu vďaka svojej schopnosti zohľadňovať rôzne protichodné kritériá v rozhodovacích procesoch. Podľa Saatyho techniky MCDM, ako je analytický hierarchický proces (AHP), umožňujú rozhodovateľom modelovať zložité problémy zahŕňajúce subjektívne posúdenia (Saaty, 1980).



Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

Podobne aj Chopra a Meindl zdôrazňujú úlohu hodnotenia dodávateľov pri dosahovaní strategickej kompatibility v stratégii dodávateľského reťazca (Chopra and Meindl, 2016).

Tento článok predstavuje vývoj modelu hodnotenia dodávateľov pre spoločnosť TerMo s.r.o., slovenský malý a stredný podnik pôsobiaci v sektore inštalatérskych, vykurovacích a kanalizačných materiálov. Spoločnosť čelí rastúcej zložitosti dodávateľov a objemu objednávok. Cieľom je aplikovať techniky MCDM na návrh systému, ktorý podporuje objektívne hodnotenie a výber dodávateľov na základe viacerých relevantných kritérií (Majtán, 2007).

1 Metódy a metodika

Metodika tejto štúdie je založená na štruktúrovanom uplatňovaní techník MCDM, podporená teoretickými základmi v teórii rozhodovania a praktickou implementáciou v programe MS Excel.

1.1 Identifikácia hodnotiacich kritérií

Kritériá boli vybrané na základe priorít spoločnosti a jej stratégie (Dickson, 1966). Po konzultáciách s obchodným a generálnym riaditeľom bolo vybratých päť kľúčových kritérií pre túto štúdiu:

- Cena (úroveň zľavy);
- Dodacia doba;
- Spôľahlivosť dodávateľa;
- Finančná situácia (solventnosť);
- Dodacie a platobné podmienky.

1.2 Priradenie váh

Váhy boli priradené pomocou metód odborného posúdenia, ako je Saatyho AHP a párové porovnania. Tieto váhy odrážajú relatívnu dôležitosť každého kritéria. Pre objektivizáciu váh kritérií bol použitý expertný prístup, kde tím riešiteľov a obchodný riaditeľ pridelili váhy kritériám z určenej bodovej stupnice, kde 1 predstavuje najmenej významné kritérium a 10 najvýznamnejšie kritérium. Jednotlivé váhy boli spriemerované a následne znormované pomocou vzťahu: $\text{váha} / \Sigma \text{váh}$. Jednotlivé váhy a výsledok je znázornený v Tab. 1.



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

Tab. 1 Pridelenie váh kritériám a následná normalizácia

Kritérium	Priemer váh	Normalizované váhy (α_i)
Cena (úroveň zľavy)	8,5	0,27
Dodacia doba	7	0,23
Spôľahlivosť	7,5	0,24
Finančná situácia	3	0,1
Dodacie a platobné podmienky	5	0,16

Zdroj: autori

1.3 Hodnotenie dodávateľov z pohľadu kritérií (čiastková užitočnosť kritérií u_{ij})

Toto hodnotenie sa zakladá na škálovom hodnotení dodávateľa. Čím viac sa napĺňa stanovené kritérium, tým vyššia je hodnota – užitočnosť kritéria u_{ij} (i -tého dodávateľa pri j -tom kritériu). Údaje o dodávateľoch boli zozbierané z interných systémov spoločnosti TerMo. Kvantitatívne (napr. dodacie lehoty) aj kvalitatívne (napr. spoľahlivosť) údaje boli normalizované pomocou stupnice užitočnosti. Do hodnotiaceho procesu bolo zaradených 25 dodávateľov.

- Cena (úroveň zľavy) – pri hodnotení dodávateľov je kritérium zľavy dôležitým faktorom. Hodnotenie narastá percentom zľavy, ktoré dodávateľ poskytuje. Výsledok hodnotenia dodávateľov pri kritérium - cena (úroveň zľavy) je v Tab. 2 (Trudičová, 2024).
- Dodacia doba – čím kratšia dodacia doba, tým vyššie hodnotenie. Okrem toho tu spadá tiež aj schopnosť riešiť neočakávané problémy, flexibilita (t. j. schopnosť prispôbiť sa požiadavkám zákazníka), podpora a servis (v prípade reklamácie). Výsledok hodnotenia dodávateľov pri kritérium – dodacia doba je v Tab. 2 (Trudičová, 2024).
- Spoľahlivosť sa týka schopnosti dodávateľa minimalizovať a riešiť chyby a nedostatky vo svojich produktoch, službách alebo procesoch. Často záleží na kvalite produktov a služieb, počtu reklamácií, spôsob a rýchlosť riešenia nedostatkov. Výsledok hodnotenia dodávateľov pri kritérium – spoľahlivosť je v Tab. 2 (Trudičová, 2024).
- Finančná situácia – tento ukazovateľ poskytuje informácie o tom, aké množstvo dlhov má dodávateľ a či sa dostáva do situácií, kedy nedokáže splácať svoje záväzky. Výsledok hodnotenia dodávateľov pri kritérium – finančná situácia je v Tab. 2 (Trudičová, 2024).
- Platobné a dodacie podmienky ovplyvňujú finančné a logistické aspekty obchodného vzťahu medzi dodávateľom a zákazníkom. Ide o faktory ako lehoty na úhradu faktúr, možnosť úhrady v hotovosti, platobné metódy (napr. prevodom, kartou, hotovosťou) a podmienky úhrady, termíny dodania, možnosti dopravy a poistenia a ďalšie relevantné faktory. Konkrétne spôsoby dopravy sú kuriérom, vlastnou prepravou alebo jednotlivý dodávateľia nedisponujú žiadnou dopravou a nemajú uzatvorenú zmluvu so žiadnymi



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

kuriérskymi spoločnosťami. Výsledok hodnotenia dodávateľov pri kritériu – platobné a dodacie podmienky je v Tab. 2 (Trudičová, 2024).

Tab. 2 Hodnotenie všetkých dodávateľov z pohľadu kritérií (čiastková užitočnosť kritérií)

Dodávateľ:	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y
Cena (úroveň zľavy)	6	3	5	8	3	1	3	2	7	3	2	8	10	3	5	1	4	2	10	9	2	6	6	1	7
Dodacia doba	8	6	7	6	9	1	7	4	8	2	2	9	10	3	5	5	3	6	10	8	8	2	7	1	5
Spôľahlivosť	9	10	5	9	8	10	7	6	7	5	10	8	2	5	10	8	9	6	5	7	10	3	6	10	4
Finančná situácia	4	8	8	1	8	5	8	10	7	2	5	9	10	1	6	4	4	8	5	9	7	1	3	4	4
Platobné a dod. podm.	3	5	4	7	5	4	3	7	5	4	1	5	10	3	5	5	2	4	9	8	2	4	5	6	5

Zdroj: autori

2 Výsledky

Na určenie celkovej užitočnosti jednotlivých variantov bola využitá metóda váženej sumy alebo aj inak pomerovo indexová metóda, ktorá patrí medzi priame čiže subjektívne metódy. Výpočet celkových užitočností sa vypočítal ako súčet súčinu normovanej váhy (α_i) a čiastkovej užitočnosti (u_{ij}). Úloha bola riešená ako maximalizačná, čo znamená, že dodávateľ ktorý dosiahol najviac bodov je najvhodnejším pre ďalšiu spoluprácu. Výsledky celkovej užitočnosti jednotlivých variantov sú v Tab. 3, zoradenie dodávateľov a grafická interpretácia je v Tab. 4 a na Obr. 1.

Hodnotenie, spojené aj s úsilím odstrániť veľkú mieru subjektivity, bolo vo veľkej miere konzistentné, čo by mohlo potvrdiť spoľahlivosť tohto prístupu. Na základe Tab. 4 boli vytvorené tri skupiny dodávateľov, ktoré by sa dali charakterizovať nasledovne:

- Skupina A – majú vysoké skóre nad 7 bodov a sú to dodávatelia, ktorí majú veľkú vyjednávaciu silu, sú spoľahliví, poskytujú vysoké zľavy a ďalšie výhody. Sú zároveň aj najväčšími dodávateľmi, ako aj v počte dodávok, tak aj v ich hodnote.
- Skupina B – sú to dodávatelia, ktorí sa nachádzajú v bodovom rozpätí 4 až 8 bodov. Sú to stabilní dodávatelia s ktorými je odporúčaná ďalšia spolupráca, ale odporúčané je aj ich každoročné prehodnocovanie.
- Skupina C – slabí a problémoví dodávatelia majúci bodové hodnotenie nižšie ako 4, ktorých je odporúčané nahradiť. Aj keď do tej spoločnosti spadá aj spoločnosť disponujúca špecifickým tovarom, odporúčané nájdenie vhodných alternatív stále zostáva pre prípad nečakaného prerušenia spolupráce.



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

Tab. 3 Určenie celkovej užitočnosti jednotlivých variantov a celkové hodnotenie dodávateľov

	Kritérium					
	Cena (úroveň zľavy)	Dodacia doba	Spol'ahlivosť	Finančná situácia	Platobné a dod.podm.	Σ
Norm. váha	0,27	0,23	0,24	0,1	0,16	1
Dodávateľ						
A	6	8	9	4	3	6,5
B	3	6	10	8	5	6,19
C	5	7	5	8	4	5,6
D	8	6	9	1	7	6,92
E	3	9	8	8	5	6,4
F	1	1	10	5	4	4,04
G	3	7	7	8	3	5,38
H	2	4	6	10	7	5,02
I	7	8	7	7	5	6,91
J	3	2	5	2	4	3,31
K	2	2	10	5	1	4,06
L	8	9	8	9	5	7,85
M	10	10	2	10	10	8,08
N	3	3	5	1	3	3,28
O	5	5	10	6	5	6,3
P	1	5	8	4	5	4,54
Q	4	3	9	4	2	4,65
R	2	6	6	8	4	4,8
S	10	10	5	5	9	8,14
T	9	8	7	9	8	8,13
U	2	8	10	7	2	5,8
V	6	2	3	1	4	3,54
W	6	7	6	3	5	5,77
X	1	1	10	4	6	4,26
Y	7	5	4	4	5	5,2

Zdroj: autori

Tab. 4 Poradie hodnotenia dodávateľov

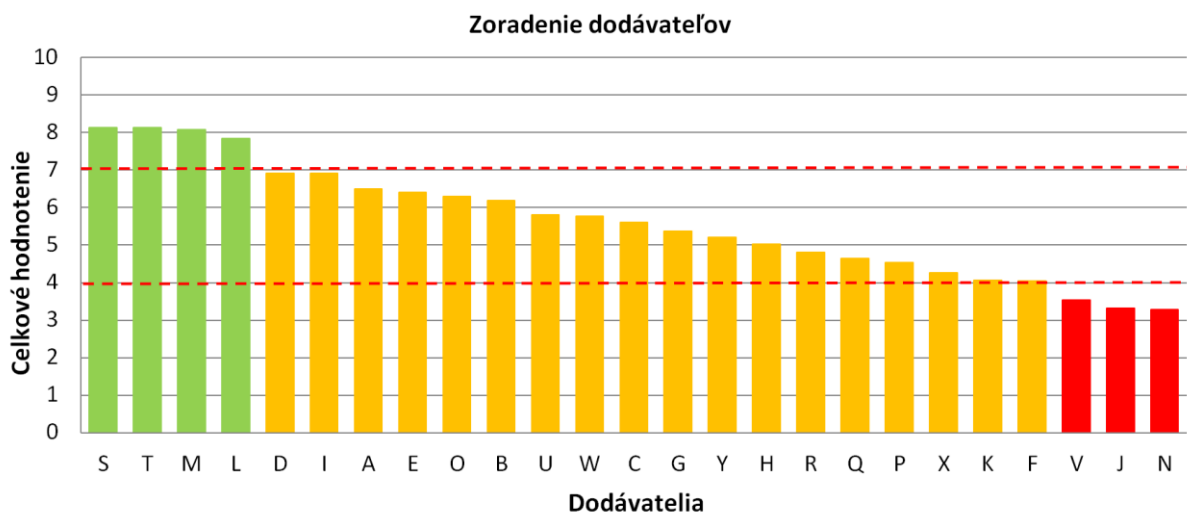
Dodávateľ	S	T	M	L	D	I	A	E	O	B	U	W	C	G	Y	H	R	Q	P	X	K	F	V	J	N
Celková užitočnosť	8,1	8,1	8,1	7,9	6,9	6,9	6,5	6,4	6,3	6,2	5,8	5,8	5,6	5,4	5,2	5	4,8	4,7	4,5	4,3	4,1	4	3,5	3,3	3,3

Zdroj: autori



Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení



Obr. 1 Zoradenie dodávateľov na základe celkovej užitočnosti jednotlivých variantov
Zdroj: autori

3 Závery

V rámci tohto príspevku sa identifikovali hlavné kritériá pre hodnotenie dodávateľov a vypracovala sa metodika na ich zhodnotenie pomocou multikritériálneho rozhodovania. Za vhodné kritériá pre túto konkrétnu spoločnosť sa určila cena, dodacia doba, finančná situácia dodávateľa, spoľahlivosť a dodacie a platobné podmienky. Na základe zozbieraných a prehodnotených dát sa dospelo k záveru, že hodnotenie dodávateľov je kľúčovým procesom v dodávateľskom reťazci a má významný dopad na celkový výkonnostný výsledok spoločnosti. Táto štúdia demonštruje použiteľnosť a výhody použitia techník MCDM pri hodnotení dodávateľov v kontexte malých a stredných podnikov. Navrhovaný model pre spoločnosť TerMo s.r.o. poskytuje, v rámci možností objektívny, znovu uplatniteľný rámec pre hodnotenie dodávateľov na základe kľúčových výkonnostných faktorov. Spoločnosti, ktoré sa snažia optimalizovať svoju stratégiu obstarávania, môžu výrazne profitovať z prijatia takýchto štruktúrovaných modelov hodnotenia.

Pod'akovanie

Výskum je súčasťou projektu s číslom grantu KEGA 010TUKE-4/2023 „Aplikácia vzdelávacích robotov v procese výučby študijného programu priemyselná logistika“ a projektu VEGA 1/0380/25 „Výskum logistických systémov na základe modelov vzdelávacích robotov a počítačovej simulácie“. Prognózovanie bolo použité na posúdenie trendov v počte dodávateľov a objeme objednávok pomocou techník časových radov.



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

Literatúra

- Dickson, G.W., 1966. An Analysis of vendor selection systems and decisions. *Journal of Purchasing*, 2(1), pp. 5-17.
- Chopra, S., Meindl, P., 2016. Supply Chain management: Strategy, Planning, and operation. 6th Edition. Pearson Education Limited, New York.
- Majtán, M., 2007. Manažment. Sprint, Bratislava, 430 s.
- Pekarčíková, M., Trebuňa, P., Kopec, J., 2024. Increasing the efficiency of logistics for the area of storage and picking of special materials, *Acta logistica*, 11, pp. 485-493.
- Saaty, T.L., 1980. The Analytic hierarchy process: Planning, priority setting, resource allocation. McGraw-Hill, New York.
- Trudičová, M., 2024. Návrh hodnotenia dodávateľov pre spoločnosť TerMo s.r.o. Technická univerzita v Košiciach, Košice.



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

Possible risks in supply chain management

Kristína Kleinová^{1*}, Peter Kačmárý², Martin Straka³, Jakub Kovalčík⁴

¹ Faculty of Mining, Ecology, Process Control and Geotechnologies, Technical University of Košice, Park Komenského 14, 04001 Košice, Slovakia, e-mail: kristina.kleinova@tuke.sk

² Faculty of Mining, Ecology, Process Control and Geotechnologies, Technical University of Košice, Park Komenského 14, 04001 Košice, Slovakia, e-mail: peter.kacmary@tuke.sk

³ Faculty of Mining, Ecology, Process Control and Geotechnologies, Technical University of Košice, Park Komenského 14, 04001 Košice, Slovakia, e-mail: martin.straka@tuke.sk

⁴ Faculty of Mining, Ecology, Process Control and Geotechnologies, Technical University of Košice, Park Komenského 14, 04001 Košice, Slovakia, e-mail: jakub.kovalcik@tuke.sk

* Corresponding author

Abstract:

Supply Chain Management (SCM) is currently facing increasing complexity and risks that can seriously threaten the continuity of production and deliveries. Effective risk management is therefore becoming an essential part of strategic business management. This study focuses on the identification and analysis of logistical risks in the company Alfa, which operates in the automotive industry and follows the just-in-time principle. Using tools such as the Ishikawa diagram and Pareto analysis, the most critical risks were identified, including delayed delivery of components, poor communication with suppliers, and lack of warehouse capacity. Based on the findings, measures were proposed to mitigate these risks, such as the implementation of RFID technology, regular audits, and improved planning. The research confirms that systematic risk management increases the resilience of the supply chain and contributes to the stability and competitiveness of the company.

Key words:

Supply Chain Management, automotive industry, risk identification, efficiency

Introduction

In today's dynamic and globally interconnected environment, supply chain management faces increasing complexity and vulnerability. Organizations are exposed to a wide range of risks – from disruptions in material flows and unreliable suppliers to unforeseen production outages that can significantly threaten operational continuity and customer satisfaction. Effective risk management in logistics has therefore become a strategic necessity for maintaining business stability and competitiveness.

A supply chain represents a set of processes that include the flow of raw materials, components, information, and finances from the original supplier to the end customer. Its



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

efficiency depends on the interconnectedness of individual links in the chain and the ability to respond to unexpected changes or disruptions (Bilişik, 2022). The most common logistics risks include delayed deliveries, damaged goods, unavailability of storage space, technological failures, as well as risks arising from human error or external events such as geopolitical conflicts, natural disasters, or pandemics.

Managing these risks requires a systematic approach, including risk identification, analysis and assessment, the selection of appropriate tools, and the implementation of corrective actions. Risk management is the process of identifying, assessing, and regulating potential adverse events with the aim of minimizing their impact on business objectives (Bilişik, 2022). The risk management process consists of several stages: risk identification, evaluation of its likelihood and consequences, proposal of mitigation strategies, selection of appropriate tools and methods, and finally, implementation and continuous evaluation of the effectiveness of the adopted measures (Han and Um, 2024).

The advantages of effective risk management include reduced uncertainty in decision-making, process optimization, resource savings, and increased company credibility in the market. On the other hand, disadvantages include the complexity of calculations, dependence on external data, and high demands on qualified personnel and the implementation of systemic measures (Han and Um, 2024).

Systematic risk management is an integral part of the modern supply chain. Organizations that are able to effectively anticipate, identify, and mitigate risks gain a significant competitive advantage and are able to respond flexibly to the challenges of a turbulent market (Gurtu and Johny, 2021).

The company Alfa, which was the subject of this research, is part of a global technology leader specializing in the development and production of turbochargers for the automotive industry. The plant in Slovakia plays an important role within the supply chain, ensuring the production and delivery of turbochargers directly to car manufacturers (OEMs). The company operates on the principles of just-in-time logistics and uses the SAP R/3 planning system to manage material flows, production, and inventory tracking. Given the high demands on timeliness and faultlessness, effective risk management and the ability to respond operationally to problems arising in the supply chain are critically important for the company.

1 Materials and methods

For the purposes of this article, various quantitative and qualitative methods were used to identify, analyze, and classify risks in the logistics processes of the company Alfa. Each tool plays a specific role in identifying sources of uncertainty, assessing their severity, and proposing measures to eliminate or mitigate them. The main tools used are described below:

Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

1. Ishikawa Diagram (Cause-and-Effect Diagram)

The Ishikawa diagram – also known as the "fishbone diagram" – is used for the systematic identification of the causes of problems or risks that may affect the logistics process. Its advantage lies in its visual structure, which categorizes causes into areas such as people, machines, materials, methods, environment, and measurement. The Ishikawa diagram (Fig. 1) was used to map out risks affecting the supply chain in the production process (Hayes, 2022).

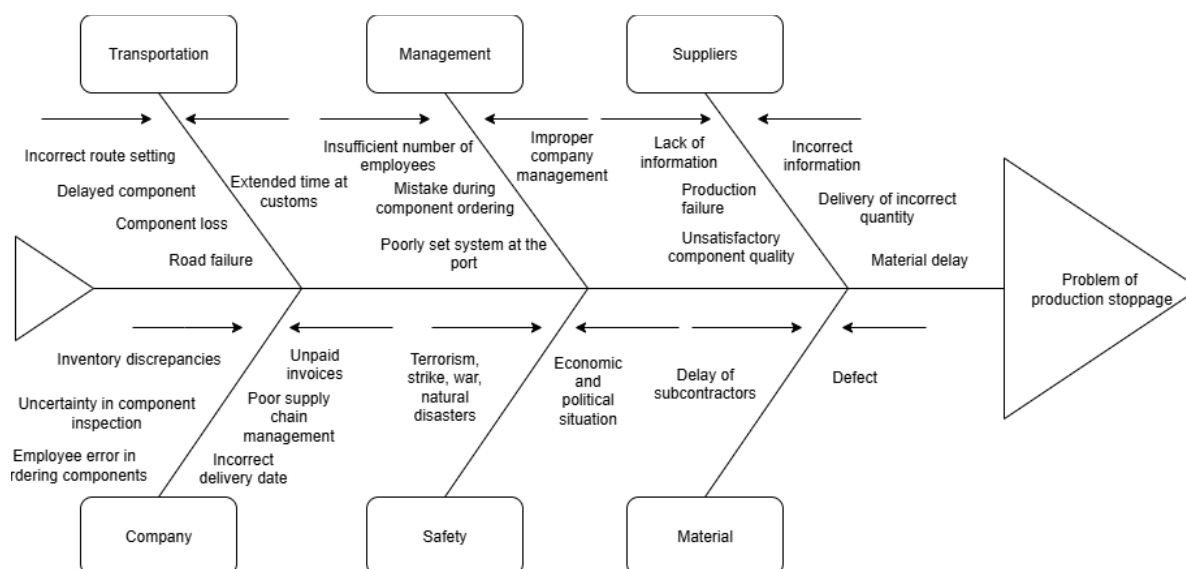


Fig. 1 Cause-and-Effect Diagram
Source: author

Possible causes influencing risk in the supply chain include:

- provision of incorrect information by the supplier,
- delivery delays,
- inventory discrepancies within the company,
- delivery of incorrect quantities of components,
- insufficient quality of delivered parts,
- limited storage capacity,
- inefficient logistics system setup at the port,
- employee errors during material ordering,
- uncertainty in the component inspection system,
- lack of qualified personnel,
- loss or theft of parts during transport,
- material damage during import,

Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

- incorrectly set delivery dates,
- failure or error in the supplier's system,
- high rate of defective products in production,
- delayed invoice payments by Alfa.

2. Pareto analysis (80/20 Analysis)

This was used to identify the key risks with the greatest impact on the functioning of the logistics system. Using a chart, it was possible to visualize which risk factors occur most frequently or have the highest intensity of impact (Bigelow, 2023). The Pareto chart in Fig. 2 visualizes the main risks in the Alfa company's supply chain:

- Blue bars represent the severity of individual risks (score $\times$ weight),
- The red line shows the cumulative percentage of impact,
- The 80% threshold (gray line) indicates where the most critical factors lie (to the left of this boundary).

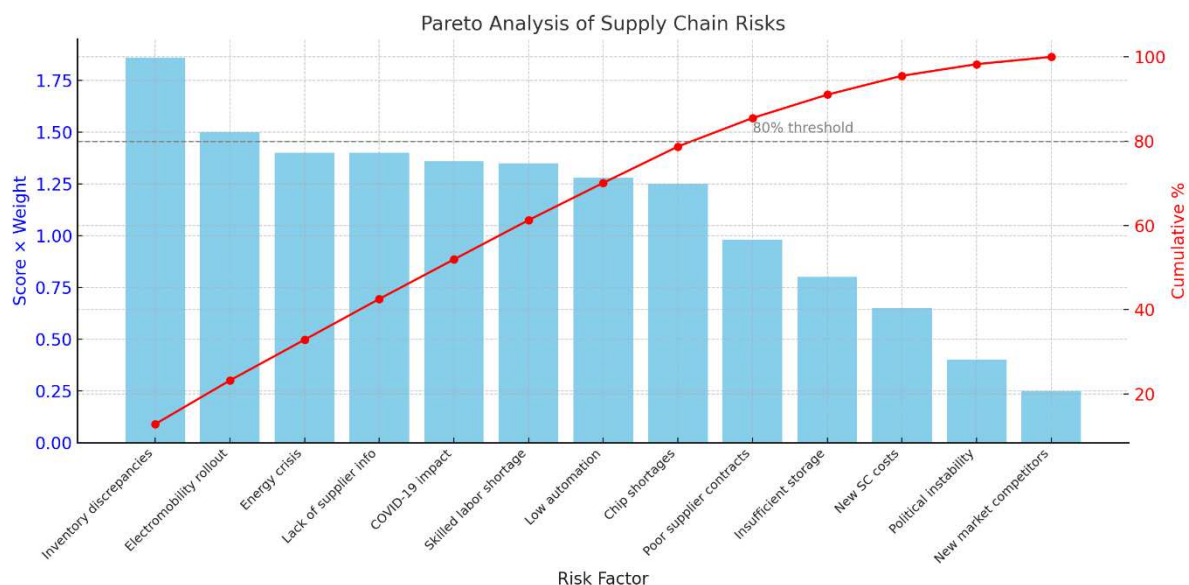


Fig. 2 Pareto analysis of supply chain risks
Source: author

Among the most serious identified risks – which account for the majority of the total impact – are inventory discrepancies, which make the most significant contribution to risk. The accelerated implementation of electromobility creates pressure for rapid adaptation in production. The energy crisis significantly increases operating costs and reduces predictability in planning. Lack of information from suppliers limits the company's ability to plan effectively and respond quickly to changes. Added to this is the impact of the COVID-19 pandemic, which



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

caused supply disruptions and limited production capacity. A major issue is also the shortage of qualified workers, which reduces the flexibility of the production process. Low levels of automation decrease overall efficiency and increase the likelihood of errors. A significant risk is also the shortage of chips, which threatens the smooth continuity of production.

2 Results

Several analytical tools were used to identify and analyze risks. The first was the Ishikawa diagram, which was applied to the production area and served to systematically break down the causes of potential problems in the supply chain. Among the most critical causes identified through the diagram were delivery delays, insufficient quality control of components, machine breakdowns, and human errors. These factors directly contribute to the risk of production interruption and disruption of deliveries to customers.

The results of the Pareto analysis showed that the highest share of overall risk stems from the threat of production stoppages due to delayed delivery of components, followed by insufficient warehouse capacity and weak communication with subcontractors. These three factors represent key areas that must be addressed as a priority, as they account for approximately 80% of all identified impacts. Solutions include optimizing warehouse capacity and carefully planning the delivery of critical components.

Based on the identified and analyzed risks in the supply chain of company Alpha, specific measures were proposed to eliminate or mitigate the negative effects on logistics flow and production continuity. In the area of technology, the implementation of RFID gates at critical warehouse and production points is recommended. In addition to technological solutions, it is also recommended to introduce regular internal risk audits and employee training in logistics risk management. Finally, the creation of an integrated reporting tool is advised, which would connect inputs from analyses, risk matrices, Red Alerts, and audits into a single, clear visualization. The goal of this tool is to provide company management with a comprehensive overview of current risks, their development, and the measures taken.

3 Conclusion

The aim of this article was to identify risks in the supply chain of the company Alfa, analyze them using selected tools, and propose specific solutions for their elimination. Tools such as the Ishikawa diagram and Pareto analysis were used. These methods made it possible to gain a systematic and multi-dimensional view of logistics risks and their impact on business operations. The analysis confirmed that the most significant risks include delayed delivery of components, technical failures in production, and the escalation of problems. These factors can



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

directly threaten the continuity of production and deliveries, which has a major impact on reputation and financial performance in the automotive industry. The proposed measures focused on strengthening response mechanisms (e.g., improving the Red Alert system), increasing transparency through RFID technology, diversifying supply channels, and improving analytical capabilities in risk management. If these solutions are implemented, the company can significantly increase its resilience to supply chain disruptions and gain a stable logistics advantage.

Acknowledgements

This article is part of the project 09I03-03-V02-00010 – Scholarships for Excellent PhD Students (R1) – TUKE, funded by the Recovery and Resilience Plan.

References

- Bigelow, S., 2023. *SWOT analysis (strengths, weaknesses, opportunities, and threats)*. TechTarget [online]. Available at:
<<https://www.techtarget.com/searchcio/definition/SWOTanalysis-strengths-weaknesses-opportunities-and-threatsanalysis>> [Accessed 2 Jul. 2025].
- Bilişik, M.T., 2022. Supply chain risk management: a survey study on classification of risks. *Avrasya Ekonometri, Istatistik ve Ampirik Ekonomi Dergisi*, 18, pp.1-18.
- Han, N., Um, J., 2024. Risk management strategy for sustainability and resilience of supply chains. *Risk Management*, 26(6), pp. 1-26.
- Gurtu, A., Johny, J., 2021. Supply chain risk management: literature review. *Risks*, 9(1), p.1-16.
- Hayes, A., 2023. *Ishikawa Diagram*. [online]. Investopedia. Available at:
<<https://www.investopedia.com/terms/i/ishikawadiagram.asp>> [Accessed 2 Jul. 2025].



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

Zvyšovanie efektivity odbavovacieho procesu cestujúcich leteckou dopravou

***Peter Koščák ^{1*}, Martina Koščáková ², Daniela Marasová ml. ³,
Lubomíra Szökeová ⁴***

¹ *Katedra manažmentu leteckej prevádzky, Letecká fakulta, Technická univerzita v Košiciach,
Rampová 7, 04121 Košice, Slovenská republika, e-mail: peter.koscak@tuke.sk*

² *Katedra manažmentu leteckej prevádzky, Letecká fakulta, Technická univerzita v Košiciach,
Rampová 7, 04121 Košice, Slovenská republika, e-mail: martina.koscakova@tuke.sk*

³ *Ústav zemských zdrojov, FBERG, Technická univerzita v Košiciach, Park Komenského 19,
04384 Košice, Slovenská republika, e-mail: daniela.marasova.2@tuke.sk*

⁴ *Katedra manažmentu leteckej prevádzky, Letecká fakulta, Technická univerzita v Košiciach,
Rampová 7, 04121 Košice, Slovenská republika, e-mail: lubomira.szokeova@tuke.sk*

** Korešpondenčný autor*

Abstract:

Tension between the desire to maximize security and, at the same time, minimize inconvenience for passengers at airport security checkpoints has increased over the years. With the constant growth in air traffic volume, the need arises to improve the efficiency of individual steps in the passenger check-in process and to streamline the procedures of baggage collection, screening, and handover at airports. The aim of this article is to identify hidden bottlenecks in the current system and thus reduce passenger stress. First, we describe the baggage handling system at airports. Then we specify the critical areas that contribute to system congestion. Next, we analyze the management of passenger flow in these zones and propose a predictive model for efficient baggage movement, from its handover by the passenger, through security screening, to its transportation and retrieval. To highlight the topicality of this issue, we also provide an extended literature review addressing the subject matter.

Key words:

baggage handling, passenger flow management, automation and digitalization, security screening

Úvod

Letecký priemysel každoročne prepraví miliardy cestujúcich a tony nákladu, pričom jeho fungovanie závisí od presne nastavených procesov. Kľúčovou oblasťou je odbavenie cestujúcich a batožiny, ktoré často zabezpečujú externé handlingové firmy.



Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

Pre plynulý priebeh letov je potrebná optimalizácia manipulácie s batožinou od triedenia až po naloženie na správne lietadlo. Výskumná otázka znie: „Ako efektívne optimalizovať proces odbavenia batožiny, aby boli lety vybavené včas?“

Možné riešenia zahŕňajú rôzne spôsoby odbavenia (online, kiosky, pulty), moderné bezpečnostné technológie, inteligentný nástup na palubu a systémy sledovania batožiny. Dôležitý je aj zber spätnej väzby, ktorý prispieva k vyššej spokojnosti cestujúcich, efektívnejšiemu využitiu zdrojov a zvýšeniu príjmov letísk.

1 Metódy a metodika

Tok cestujúcich označuje pohyb osôb cez dopravný systém. Na letiskách je jeho riadenie nevyhnutné na predchádzanie úzkym miestam a zabezpečenie plynulého a bezpečného pohybu cestujúcich od príchodu až po odlet a prílet do cieľa.

Aby sa to zabezpečilo, letiská musia riadiť pohyb cestujúcich cez rôzne kontrolné body a oblasti vrátane:

- registrácie,
- bezpečnostnej preverky Imigrácia a clá pre medzinárodné / medzikontinentálne lety,
- nástupných brána a súvisiacich čakární,
- výstupu a výdaja batožiny,
- tranzitných a prestupových priestorov pre cestujúcich pri prestupoch,
- obchodných a verejných priestorov, ako sú maloobchodné predajne, reštaurácie a salóniky.

Riadenie toku cestujúcich v týchto oblastiach je kľúčové pre minimalizáciu čakacích dôb, zníženie preťaženia a zabezpečenie hladkej prevádzky letiska v celom okolí.

Efektívne riadenie toku cestujúcich sa začína zberom údajov pomocou senzorov, kamier a letiskových systémov. Tieto údaje umožňujú sledovať pohyb cestujúcich v reálnom čase, identifikovať úzke miesta a predpovedať ich vplyv na iné časti letiska. Kľúčom k využitiu týchto informácií sú softvérové riešenia, ktoré prepájajú jednotlivé operácie letiska, ktoré už nemôžu fungovať izolovane. Keď sa časy priletov zmenia, program sa podľa toho aktualizuje, čo umožňuje presne alokovať personál a zdroje a skrátiť čakacie doby.

Výdaj batožiny býva náchylný na preťaženie, čo môže viesť k meškaniam a zmeškaným prípojom. Na zabezpečenie plynulého toku bola vyvinutá cloudová platforma na správu batožiny, ktorá optimalizuje výkon infraštruktúry a zefektívňuje výdaj. Modulárne nástroje pomáhajú lepšie využívať priestor letiska a maximalizovať priepustnosť. Na optimalizáciu priradenia pásov sa využíva celočíselné programovanie, zatiaľ čo simulačné nástroje modelujú vplyv rôznych faktorov vrátane počtu pracovníkov a množstva batožiny.

Nesprávne riadenie systému manipulácie s batožinou (BHS) môže viesť k poškodeniu alebo strate batožiny a zhoršeniu imidžu letiska. Rámec úrovni služieb podľa IATA sa zameriava na optimalizáciu nákladov a zvýšenie efektívnosti služieb prostredníctvom analýzy priestoru a čakacej doby v štyroch úrovniach: predimenzovaná, optimálna, suboptimálna a nedostatočná (Frey, 2014).



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

Tab. 1 Úrovně kvality toku cestujících v letiskových terminálech

Úroveň	Tok cestujících	Komfort cestujících	Meškania
Vynikající (A)	volný	vynikající	bez meškání
Vysoká (B)	stabilní	vysoký	velmi zriedkavé
Dobrá (C)	stabilní	dobry	prijateľné
Dostatočná (D)	nestabilní	dostatočný	prijateľné na krátke obdobie
Nedostatočná (E)	nestabilní	nedostatočný	neprijateľné
Neprijateľná (F)	kríženie tokov, zlyhávajúce systému	neprijateľný	neprijateľné

Zdroj: autor

Neoptimálne toky manipulácie s batožinou spôsobujú všetko od preťaženia pásov až po preťaženie úschovne batožiny a zbytočné, dlhé čakacie doby pri výdaji batožiny vedú k frustrovaným a nespokojným cestujúcim. Na optimalizáciu infraštruktúry batožiny na letisku je nevyhnutné dosiahnuť úplné pochopenie času a množstva prichádzajúcej batožiny.

Pokiaľ ide o pochopenie príchodov batožiny, jedným z najdôležitejších zdrojov údajov, ktoré máme k dispozícii, je batožinový štítok. Batožinový štítok obsahuje cenné informácie o časoch skenovania batožiny.

- Správa o zdroji batožiny (BSM):
 - Správa o zdroji batožiny obsahuje informácie o itinerári batožiny v reálnom čase (čas a dátum, let, destinácia) a či je batožina miestna alebo prípojná.
- Správa o spracovanej batožine (BPM):
 - Správa o spracovanej batožine je aktualizácia pridaná do BSM. Je lokálny pre letisko a aktualizuje sa informáciami o batožine v reálnom čase počas jej prepravy batožinovým systémom vrátane potenciálnych časových pečiatok pre odbavenie, kontrolu, triedenie, skoršie uloženie batožiny a ďalšie.

Infraštruktúra letiska zohráva dôležitú úlohu v schopnosti pridelovať zdroje podľa dopytu, najmä infraštruktúru pre batožinu. Pri optimalizácii infraštruktúry pre batožinu je nevyhnutné zohľadniť infraštruktúru pre odchádzajúcu aj prichádzajúcu batožinu (Procter, 2024)

Tri spôsoby, ako optimalizovať efektivitu letísk prostredníctvom automatizácie:

1. Spracovanie cestujúcich - samoobslužné kiosky (CUSS) a automatizované miesta na odovzdanie batožiny umožňujú rýchle skenovanie pasov, tlač palubných lístkov a označenie batožiny. Skracujú čakanie a znižujú preplnenosť v tranzitných priestoroch.
2. Manipulácia s batožinou - automatizácia umožňuje flexibilné rozhodovanie na základe aktuálnych údajov o príchodoch a zaťažení. Systém priebežne aktualizuje plány a optimalizuje tok batožiny.
3. Virtuálny front - umožňuje cestujúcim rezervovať si časové okno (napr. 15 min.) na kontrolu cez aplikáciu alebo web. Zlepšuje riadenie dopytu, skracuje čakacie doby a zvyšuje spokojnosť cestujúcich aj prevádzkovú efektivitu letísk.



Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

Batožina je kľúčovým prvkom letiskovej prevádzky, no zároveň čoraz väčšou výzvou. Podľa správy Society International De Tele-communications Aero-Nautiques (2019) došlo k výraznému nárastu objemu cestujúcich a batožiny, pričom bolo zaznamenaných vyše 20 miliónov incidentov s nesprávne zaobchádzanou batožinou, čo spôsobilo straty vyše 2,3 miliardy USD. Po poklese počas pandémie (2020–2022) sa očakáva, že do roku 2040 sa globálna osobná letecká doprava zdvojnásobí (Volt, 2022).

Proces odbavenej batožiny začína jej odovzdaním pri pulte, pokračuje bezpečnostnou kontrolou, triedením a prepravou k príslušnému lietadlu. Presné riadenie tohto toku je kľúčové pre efektívne využitie zdrojov a bezpečnosť, no nedostatok kontroly vedie k ekonomickým stratám. Výskum sa doteraz zameriaval najmä na toky cestujúcich, letov a nákladu, pričom tok batožiny ostáva menej preskúmaný.

Výskum Liu & Chen (2017) ukázal, že tradičné štatistické prístupy k predikcii toku batožiny majú limity. Modely SARIMA či GBDT nedokázali plne zachytiť sezónne či ekonomické vplyvy, preto je potrebná komplexnejšia analýza a využitie pokročilých dátových metód.

1.1 Algoritmy predikcie dopravy

Predikcia dopravy sa delí na kvalitatívne a kvantitatívne metódy. Kvalitatívne sú založené na subjektívnych úsudkoch (napr. prieskumy, brainstorming), no chýba im presnosť a kvantifikovateľnosť. Kvantitatívne metódy využívajú matematicko-štatistické modely, napr. sivé modely (GM), Kalmanov filter (KF) a autoregresný integrovaný model kľzavého priemeru (ARIMA), inteligentné algoritmy ako podporné vektorové stroje (SVM) a umelé neurónové siete (ANN) a ich kombinácie. Neurónové siete dokážu spracúvať zložité nelineárne vzťahy, no môžu sa zaseknúť v lokálnych extrémoch. Kombinované modely spájajú výhody viacerých prístupov, čím zvyšujú presnosť a spoľahlivosť predikcie (Xie, 2017).

Hlavné letiská majú štyri hlavné procesy manipulácie s batožinou:

1. *Manipulácia s odbavenou batožinou:* batožinu prinášajú cestujúci prichádzajúci na letisko. Na odbavovacích pultoch sa prichádzajúca batožina posielajú do BHS.
2. *Manipulácia s odchádzajúcou batožinou:* ide o batožinu odovzdanú pri odbavení alebo pochádzajúcu z prichádzajúcich letov. Po vstupe do BHS je buď dočasne uskladnená, alebo prepravená do zariadenia, kde sa presunie do odlietajúceho lietadla.
3. *Manipulácia s transferovou batožinou:* je určená na prípojný let. Zvyčajne prechádza cez BHS ako odchádzajúca batožina, no v nalievavých prípadoch môže byť prepravená priamo medzi lietadlami.
4. *Manipulácia s prichádzajúcou batožinou:* batožina z prichádzajúcich letov, ktorá sa cez BHS dopraví na výdajnú halu, kde si ju vyzdvihnú cestujúci.

Procesy manipulácie s batožinou ovplyvňujú rôzni aktéri. Zatiaľ čo prítok a odtok batožiny do BHS plánuje a riadi letisko, potrebné úlohy manipulácie vykonáva pozemný obsluhujúci pracovník. Na deregulovaných letiskách musia byť služby pozemnej manipulácie pridelené nie jednej, ale viacerým spoločnostiam. Procesy letiska a pozemného obsluhujúceho pracovníka závisia od rozhodnutí riadenia letovej prevádzky. Riadenie letovej prevádzky



Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

ovplyvňuje všetky prítoky a odtoky letov koordináciou časov priletu a odletu lietadiel. Nakoniec, letecká spoločnosť je aktérom, ktorý je zodpovedný za odbavenie, a teda za prítok na pozemnú plochu, ako aj za ďalšie relevantné procesy, ako je triedenie kontajnerov.

Tab. 2 Vplyv aktérov letiska na proces manipulácie s batožinou

Subjekty Úloha	Procesy manipulácie s batožinou		
	Odchádzajúca	Transférova	Prichádzajúca
Prevádzkovatelia letísk			
Manipulácia s odchádzajúcou batožinou	•		
Manipulácia s prichádzajúcou batožinou			•
Manipulácia s transferovou batožinou	•	•	•
Priradenie letu / brány	•	•	•
Batožinová infraštruktúra	•	•	•
Štátna správa			
Colná správa		•	•
Letecká spoločnosť			
Check-in	•		
Triedenie kontajnerov	•	•	
Pozemný personál			
Manipulácia s kontajnermi	•	•	•
Personálne zabezpečenie	•	•	•

Zdroj: Frey, 2014

1.2 Definícia a nastavenie analyzovaných procesov a objektov

Počas vykladania a nakladania lietadla sa vykonávajú určité postupy. Pre prehľadnosť je celý proces nakládky a vykládky znázornený na Obr. 1. Časová os je zobrazená zľava doprava. Obrázok tiež zobrazuje činnosti, ktoré predchádzajú alebo nasledujú po samotnom procese vykládky a nakládky. Dĺžky jednotlivých činností sú len ilustračné.



Obr. 1 Rozvrh vykladania a nakladania lietadiel

Zdroj: autor



Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

Pre každé vykladanie a nakladanie lietadla platia nasledujúce pravidlá:

- Nakladače sa používajú na nakladanie batožiny zo súprav vozíkov do nákladného priestoru lietadla a na vykladanie batožiny z nákladného priestoru lietadla do súprav vozíkov.
- Nakladače sa k lietadlu privezú na stojisko na začiatku vykladania a umiestnia sa vedľa nákladných dverí. Nakladače opúšťajú stojisko po dokončení nakladania. Sú na mieste počas celého času vykladania, nakladania a času medzi týmito dvoma procesmi. Na rozdiel od súprav vozíkov sa na vykladanie aj nakladanie používa ten istý nakladač. Nakladače nikdy nevstupujú do triediacej zóny batožiny.
- Súpravy vozíkov sa používajú na prepravu batožiny medzi triediacou zónou a stojiskami, kde sa lietadlá nakladajú a vykladajú.
- Súprava vždy pozostáva z ťahača a aspoň jedného vozíka. Maximálna dĺžka súpravy závisí od postupov konkrétneho manipulačného operátora.
- Na nakladanie a vykladanie batožiny sa vždy používa iná súprava, pretože tieto operácie sa vždy prekrývajú. Preto sú na každý let potrebné aspoň dve súpravy vozíkov. Jedna súprava je určená na vykladanie batožiny a druhá súprava na nakladanie batožiny.
- Súprava vozíkov určených na nakladanie do lietadla začína svoju cestu v priestore na triedenie batožiny. Tu sa počas odbavenia cestujúcich postupne nakladá zapísanou batožinou. Po naložení súprava pokračuje na státie, kde sa batožina naloží do lietadla. V tomto bode sa končí jazda súpravy pre daný let.
- Súprava vozíkov určených na vykladanie začína svoju cestu na stojisku lietadla, od okamihu, keď sa začne vykladanie. Skorší príchod súpravy nie je potrebný, pretože súprava by na stojisku lietadla čakala len na prilietajúci let. Na druhej strane, neskorý príchod súpravy by mohol viesť k meškaniu. Po vyložení batožiny z lietadla na súpravu súprava pokračuje do priestoru na triedenie batožiny, miesta určeného na vykladanie batožiny na výdajné karusely. V tomto bode sa končí jazda súpravy pre daný let.
- Odbavenie cestujúcich začína v určitom čase pred odletom lietadla, zvyčajne dve hodiny pre krátke lety alebo tri hodiny pre diaľkové lety. V tomto čase začína batožina cestujúcich z tohto letu prichádzať do triediacej zóny na dopravníkoch. Pri zohľadnení dĺžky prepravných časov a otváracích hodín odbavovacieho pultu platí, že súprava určená na nakládku vždy začína svoju cestu v triediacej zóne skôr ako súprava určená na vykládku, hoci samotné nakládku na stanovišti vždy začína až po vykládke.

1.3 Matematické modelovanie

Na nájdenie optimálneho počtu letiskových zariadení pre vykládku a vykládku lietadla bol vytvorený matematický optimalizačný model. Matematický model je založený na teórii lineárneho programovania. Cieľom úlohy je minimalizovať počet zariadení na nakládku a vykládku lietadla. Táto optimalizačná úloha bude v matematickom modeli reprezentovaná účelovou funkciou.

Matematický model je tiež založený na charakteristikách prevádzky zariadení na nakládku a vykládku a postupoch manipulácie s batožinou na letisku. Definuje sa súbor zdrojov,



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

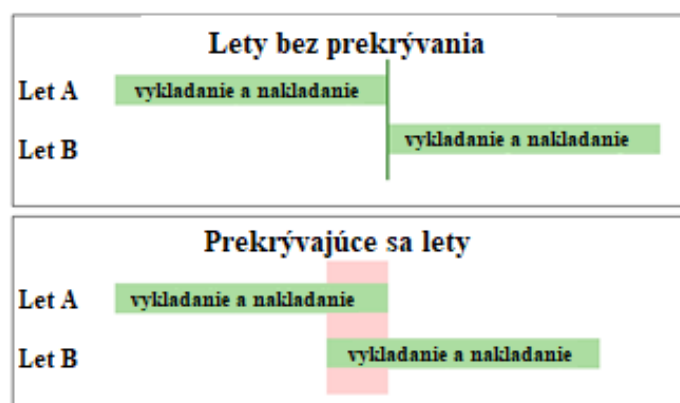
ktoré reprezentuje zariadenie na nakládku a vykládku (súpravy vozíkov, nakladače) a súbor spotrebiteľov reprezentujúcich lety počas definovaného obdobia, napr. jeden deň. V analýze boli zohľadnené rôzne typy lietadiel a dopravcov.

Rozdiel medzi nízkonákladovými a tradičnými dopravcami je v modeli znázornený rôznym počtom GSE pre vykládku a nakládku, napr. pre nízkonákladových dopravcov je počet pásových nakladačov jeden. Bola definovaná kapacita všetkých zdrojov. V prípade súpravy vozíkov sa kapacita rovná dĺžke súpravy, t. j. počtu vozíkov v súprave. Dĺžka súpravy je pevná a počas modelovaného obdobia sa nemení. Pre každý let bola požiadavka na GSE definovaná v rovnakých jednotkách ako pre kapacitu súpravy. Konštanty v modeli sa používajú na definovanie kapacít a dopytu po GSE.

Ďalšia konštanta predstavuje maximálny počet súprav, s ktorými je možné realizovať vykládku alebo nakládku. Cieľom tejto konštanty je zabezpečiť, aby sa na vykládku alebo nakládku nepoužíval veľký počet nízkokapacitných súprav, ale skôr menší počet súprav s väčšou kapacitou. Takéto riešenie sa javí ako efektívnejšie, pretože bude potrebných menej ťahačov, a teda aj menej vodičov súprav.

Pre nakladače sa berie do úvahy iba jednotková kapacita nakladača. Matematický model musí tiež zabezpečiť, aby v prípade súčasného obsluhovania viacerých letov nebolo jedno GSE priradené viacerým letom.

Je veľmi pravdepodobné, že na letisku bude súčasne obsluhovaných niekoľko lietadiel. Preto je potrebné v navrhovanom matematickom modeli zabezpečiť, aby to isté GSE nebolo priradené viacerým súčasne obsluhovaným letom. Keď sa dva lety prekrývajú, znamená to, že to isté GSE nemožno použiť súčasne. Typy prekrývajúcich sa prípadov sa líšia pre nakladače a pre sady batožiny. Nasledujúci Obr. 2 znázorňuje neprekrývajúce sa a prekrývajúce sa lety z hľadiska využitia nakladačov.



Obr. 2 Príklad

Zdroj: Page-Gernaus et al., 2020



Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

2 Výsledky

Systém automatického odbavenia batožiny novej generácie dokáže minimalizovať úzke miesta a udržiavať proces v plynulej prevádzke. Inteligentný pásový dopravník s paralelným preberaním, automatickým odovzdávaním batožiny a odkláňaním podozrivých tašiek zvyšuje priepustnosť a prispieva k pozitívnej skúsenosti cestujúcich. Okrem toho zlepšuje produktivitu zamestnancov, znižuje prevádzkové náklady a vďaka modulárnym konfiguráciám sa dokáže prispôbiť kapacitným a priestorovým potrebám jednotlivých letísk. Automatický systém vrátenia prepravičiek stabilizuje tok, čím ďalej zefektívňuje bezpečnostný proces a prináša vyššiu priepustnosť i nižšie náklady.

Dôležitým prínosom sú aj nové funkcie monitorovania výkonu a stavu systému. Lokálne displeje s chybovými hláseniami v reálnom čase uľahčujú rýchlu identifikáciu problémov, zatiaľ čo integrácia s riadiacimi platformami, ako napríklad Checkpoint.Evoplus, umožňuje centrálnu kontrolu, vizualizáciu a analýzu dát. Tým sa otvárajú možnosti pre flexibilnejšiu správu zdrojov a operátorov. Porovnávanie cestovných údajov (API/PNR) s batožinou zároveň podporuje rizikovo orientovaný prístup k skríningu, čo umožňuje lepšie využitie terminálových kapacít a zameranie sa na vysokorizikové ciele.

Ďalšou významnou inováciou je centralizované hodnotenie obrazu, pri ktorom sú röntgenové snímky z kontrolných stanovišť odosielané na diaľku. Operátori môžu analyzovať snímky v pokojnom prostredí mimo terminálu, čo vedie k rýchlejšim a presnejším rozhodnutiam. Tento prístup zároveň umožňuje multiplexovanie, pri ktorom snímky spracováva skupina operátorov a zdroje je možné flexibilne prerozdeľovať podľa aktuálneho dopytu. Výhodou je aj možnosť aplikácie na viacerých letiskách súčasne prostredníctvom WAN sietí, čo podporuje koncept otvorenej architektúry systémov.

Pokročilé detekčné aplikácie založené na umelej inteligencii a hlbokom učení výrazne zlepšujú výsledky skríningu. Inteligentné algoritmy umožňujú automatické rozpoznávanie zakázaných predmetov, pričom obrovské množstvo dát zo skríningu môže slúžiť na ďalšie tréningy modelov. Vysoká miera presnosti pri detekcii zbraní, ostrých či tupých predmetov zvyšuje bezpečnosť a zároveň nebrzdí tok cestujúcich.

Prevádzkové dáta v reálnom čase poskytujú letiskám komplexné informácie o stave systému a výkonnosti, čo umožňuje rýchle a informované rozhodovanie. Podporujú optimalizáciu zdrojov, plánovanie, automatizáciu procesov a elimináciu úzkych miest. Moderné skrínigové systémy tak spájajú vysoký výkon, dlhodobú spoľahlivosť a centralizovanú správu s dôrazom na IT bezpečnosť, ochranu súkromia a súlad s predpismi.

3 Závery

Efektívny pohyb cestujúcich je nevyhnutný na zníženie preťaženia a čakania. Letiská preto musia optimalizovať usporiadanie terminálov, umiestnenie kontrolných stanovišť a využívať moderné technológie, ako sú samoobslužné kiosky, riadenie radov v reálnom čase či dynamická signalizácia. Rovnako dôležité je uplatňovanie stratégií riadenia davu a hľadanie



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

rovnováhy medzi rýchlym odbavením a príjemným prostredím terminálu, ktoré ponúka dostatok komfortu a služieb pre cestujúcich.

Terminál verejnej dopravy možno vnímať ako tri funkčne prepojené časti. Prvou je prístupové rozhranie, teda zóna príchodu cestujúcich s parkovaním a dopravným napojením. Druhú tvorí oblasť spracovania, kde prebieha odbavenie, bezpečnostná kontrola a poskytovanie služieb. Treťou je dopravné rozhranie, ktoré zabezpečuje samotný nástup a výstup cestujúcich. Vzájomná súhra týchto častí je základom plynulého a komfortného zážitku z cesty.

Pod'akovanie

Tento článok bol pripravený s pomocou projektu „Výskum možností implementácie senzorických technológií a vizualizačných metód pre potreby digitálnej transformácie potrubných dopravníkových systémov“ VEGA 1/0728/24, „Tvorba a inovácia vysokoškolského a celoživotného vzdelávania v odbore doprava na báze rozvoja digitálnych a praktických zručností“ KEGA 013TUKÉ-4/2023 a „Nové konštrukčné a materiálové prvky pre udržateľnú prepravu hromadných materiálov“ APVV-23-0342.

Literatúra

- Frey, M.M., 2014. *Models and methods for optimizing baggage handling at airports*. [online] Available at: <<https://mediatum.ub.tum.de/doc/1232183/document.pdf>> [Accessed 25 Jun. 2025]
- Liu, L., Chen, R., 2017. A novel passenger flow prediction model using deep learning methods. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 84, pp. 74-81.
- Procter, S., 2024. *Airport passenger flow: What is it, and how do you manage it?* [online] Copenhagen Optimization. 2024. Available at: <<https://copenhagenuptimization.com/blog/passengerflow>> [Accessed 25 Jun. 2025].
- SITA, 2019. *Annual Report*. [online] Available at: <<https://www.sita.co.za/sites/default/files/AnnualReport2019.pdf>> [Accessed 25 Jun. 2025].
- Volt, J., Stojić, S., Had, P., 2022. Optimization of the baggage loading and unloading equipment. *Transportation Research Procedia*, 65, pp. 246-255.
- Xie, Y., 2017. Optimizing the passenger throughput at an airport security checkpoint. *Advances in Social Science, Education and Humanities Research*, 146, pp. 1-9.



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

**Implementation of modern technologies in intra-company
material handling**

Jakub Kovalčík ^{1*}, Martin Straka ², Peter Kačmárý ³, Kristína Kleinová ⁴

¹ Faculty of Mining, Ecology, Process Control and Geotechnologies, Technical University of Košice, Park Komenského 14, 04001 Košice, Slovakia, e-mail: jakub.kovalcik@tuke.sk

² Faculty of Mining, Ecology, Process Control and Geotechnologies, Technical University of Košice, Park Komenského 14, 040 01 Košice, Slovakia, e-mail: martin.straka@tuke.sk

³ Faculty of Mining, Ecology, Process Control and Geotechnologies, Technical University of Košice, Park Komenského 14, 040 01 Košice, Slovakia, e-mail: peter.kacmary@tuke.sk

⁴ Faculty of Mining, Ecology, Process Control and Geotechnologies, Technical University of Košice, Park Komenského 14, 040 01 Košice, Slovakia, e-mail: kristina.kleinova@tuke.sk

* Corresponding author

Abstract:

The article focuses on analyzing the current state of intra-company material handling in industrial environments, with an emphasis on modernization opportunities through the implementation of modern technologies. The research identified key shortcomings in existing handling processes, such as low efficiency, high labor intensity, and increased risk of errors or ergonomic issues. Based on these findings, a solution involving automated and robotic systems was proposed, with the potential to streamline material flow, reduce costs, and improve workplace safety. The article also presents a methodological approach to implementing such technologies and evaluates their benefits for internal logistics operations.

Key words:

intra-company logistics, automation, robotic systems, process optimization

Intorudction

The implementation of modern technologies in intra-company logistics represents an essential step in the digital transformation of industrial enterprises in line with the principles of Industry 4.0. Due to increasing demands for efficiency, flexibility, and cost reduction, companies are increasingly focusing on the automation and robotization of logistics processes. A key area within this transformation is the optimization of internal transport, which plays a crucial role in ensuring the smooth flow of materials and information (Shalik et al., 2023).

Modern technologies such as robotic manipulators, automated guided vehicles (AGVs), autonomous mobile robots (AMRs), and, notably, drone-based solutions offer extensive opportunities to streamline internal logistics operations (Sujit et al., 2022; Rahman et al., 2021). The use of drones in intra-company transport—for instance, for the rapid delivery of lightweight



Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

components, documentation, or samples—represents an innovative approach that can significantly reduce downtime, shorten delivery times, and relieve employees from repetitive tasks (Zhang et al., 2021; Delmerico et al., 2020).

These technologies also enable the digitalization and precise monitoring of material flows, contributing to the collection of valuable data for analytical and strategic decision-making. For example, the integration of UAVs with RFID and blockchain technologies enhances transparency and traceability in warehouse environments (Cai et al., 2020). Another significant trend is the localization of drone charging stations and the optimization of flight paths for more efficient inventory operations (Zhou et al., 2019).

The result is improved operational efficiency, enhanced workplace safety, and increased competitiveness of the enterprise in a dynamically evolving industrial landscape.

1 Methods and methodology

In many manufacturing companies specializing in electronic production and assembly, manual intra-company transport systems are still commonly used. This system is often based on manual material handling and the use of simple transport tools such as pallet trucks and push carts. In practice, this mode of transport has proven to be time-inefficient, labor-intensive, and prone to errors.

1.1 Key issues in intra-company transport

1. Inefficient supplying of production lines

Delays in the delivery of components to production units cause downtime, which directly impacts production continuity. Losses caused by machine idling represent a significant economic burden.

2. Manual transfer of semi-finished products to inspection stations

If an operator is unavailable, quality control delays occur, which can lead to production backlogs and disruptions in delivery schedules.

3. Handling errors and workplace safety

Manual handling often results in component damage, material mix-ups, or tipping of transport boxes. These errors increase repair costs and lead to customer complaints.

4. Dependence on personnel and their availability

The transport system depends on the availability of employees, which is risky during illness, vacations, or shift changes. Insufficient capacity often requires reallocating workers from other departments.

**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

5. Poor material flow and disorganized storage

Unoptimized warehouse routes and the lack of a transport prioritization system lead to delays, collisions, and a loss of oversight of material movement.

6. High labour and operating costs

Staffing intra-company transport is financially demanding but does not provide proportional performance or efficiency.

7. Falling behind competitors

While other companies have already implemented automated solutions such as AGVs and robotic carts, traditional manual systems lose competitiveness.

1.2 Transport packaging for the delivery of printed circuit boards (PCBs)

Within intra-company logistics, printed circuit boards (PCBs; Fig. 1) are not transported loosely but in specially designed transport boxes that provide protection against mechanical damage and electrostatic discharge.

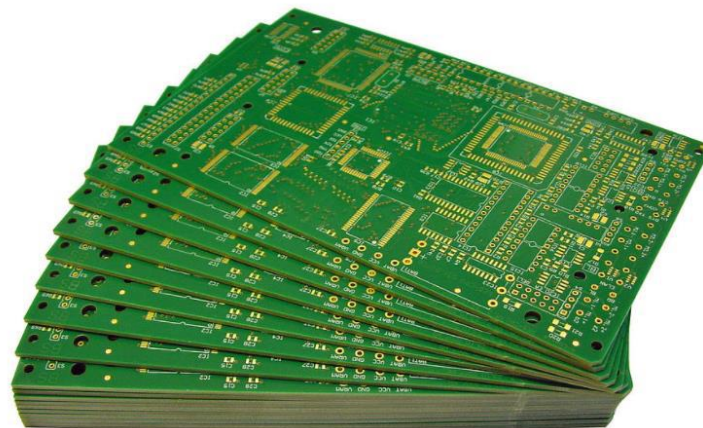


Fig. 1 Printed circuit boards (PCBs)

Source: https://www.elektrolab.eu/blog_images/standardy-v-hrubkach-dosiek-plosnych-spojov-1140x500.png

Boxes for Drone Transportation

- Type: ESD (Fig. 2) plastic box with snap-on lid
- External dimensions: 300 × 200 × 150 mm
- Internal volume: approx. 8 liters



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

- Maximum load capacity: 4.5 kg
- Weight of empty box: 0.9 kg
- Capacity: approximately 25–30 PCBs (depending on board thickness)
- Safety features: antistatic surface, lockable closure, internal reinforcement with foam material
- Purpose: Optimized for drone handling – low weight and rigid construction ensure stability during flight.



Fig. 2 ESD Euro containers with hinged lid

Source: <https://www.auer-packaging.com/images/categories/banner/ESD-euro-prepravky-s-vekom-so-z%C3%A1vesmi-AUER--83.jpg>

2. Results

2.1 Proposed solution

Based on the preceding analysis of internal logistics flows within the production environment, the implementation of a system utilizing autonomous industrial drones emerges as an appropriate solution. These units would ensure regular and efficient material transport between key points of the production process, such as the warehouse, assembly line, inspection workstation, intermediate storage, and dispatch. The objective of this solution is to enhance the flexibility, reliability, and speed of intralogistics while reducing dependence on manual labor.

2.2 Operational model

The proposed system architecture is based on a rotational model, in which a portion of the drone units (Tab. 1) perform active transport tasks, while the remaining units are in charging mode or prepared as technical backup. This model ensures the continuous operation of the logistics system even in cases of temporary unit failure or during maintenance breaks. The solution thus represents a balanced compromise between performance, operational reliability, and the need for uninterrupted material flow within the production process.



Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

Tab. 1 Drone parameters

Drone Parameters	
Load capacity	approx. 60 × 60 × 30 cm
Dimensions	60 × 60 × 30 cm
Flight altitude	2 – 3.5 m above floor level
Navigation	Visual (optical sensors)
Navigation accuracy	±10 cm
Safety features	Motion detection, automatic stop
Average transport time	20 – 40 seconds per route segment
Flight speed	1 – 2 m/s
Minimum daily transports	150
Battery Endurance	approx. 12 – 15 minutes
Charging	Automatic in two docking stations
Control System	Central route planning, fleet monitoring

Source: author

2.3 Key advantages of utilizing drones in the logistics environment

1. Enhanced transport efficiency

The integration of drones enables significantly faster transport cycles—approximately 1 to 2 minutes per segment—resulting in time savings of up to 50% compared to manual handling methods.

2. Reduced physical strain and risk of damage

Transporting sensitive components, such as those requiring electrostatic discharge (ESD) protection, in stabilized drone-mounted holders minimizes exposure to shocks and vibrations, reducing the likelihood of mechanical damage.

3. Vertical separation for safety

By operating at elevated heights above ground-level activities, drones avoid interference with personnel and traditional transport carts, thereby reducing the risk of collisions in shared pathways and work zones.

4. Lower labour costs

Implementing a drone fleet of 2 to 3 units can reduce human labor needs for internal transport by approximately 50–75%, potentially leading to annual savings in wage expenditures between €25,000 and €35,000.

5. Improved material flow monitoring and planning



Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

With digitally managed transport commands and real-time tracking, the movement of materials becomes more transparent, less prone to error, and easier to prioritize based on production demands or customer orders.

By implementing drone-based transport, the following benefits can be achieved:

- significant cost reduction (savings of up to €50,000 per year; Tab. 2),
- faster and more predictable material transfer,
- improved traceability and safety,
- elimination of dependency on human resources at critical points.

Tab. 2 Cost comparison: Drones vs. Employees

Parameter	Drone System	Manual Transport
Initial Investment Costs	€30,000	€0
Annual Operating Costs	€2,000	€52,800
Estimated Annual Cost Savings	approx. €50,800	–
Number of Daily Transports	150+	max. 130
Reliability	High	Variable (human factor)
Transport Speed	20 – 40 seconds	2 – 4 minutes
Risks	Technical malfunctions	Fatigue, errors, absenteeism
Safety	Predictable	Variable

Source: author

3 Conclusions

This study investigated the potential of implementing autonomous aerial systems in intra-company material handling with the goal of enhancing logistical performance, reducing operational costs, and improving working conditions. The findings underscore that integrating autonomous drones into internal transport processes can significantly reduce transport times—cutting a typical 3–4 min. manual cycle to under one minute—thereby minimizing production downtimes and increasing workflow efficiency.

In terms of labor reallocation, the automation of routine transport tasks enables a shift of human resources toward higher value-added activities. This aligns with findings by Winkenbach et al. (2018), who emphasize the strategic advantage of using automation to repurpose human labor in manufacturing and logistics operations. The proposed system addresses not only productivity but also ergonomic and safety concerns. By reducing manual handling, the likelihood of musculoskeletal disorders and workplace injuries decreases, contributing to better overall worker well-being (Santos et al., 2020).



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

From an economic standpoint, the simulation suggests potential annual savings exceeding €50,000 in labor costs currently allocated to manual material handling. These findings are consistent with previous research highlighting the cost-saving capabilities of automation in intralogistics (Ten Hompel and Henke, 2017). In addition, drone-based systems offer high operational stability, unaffected by common human factors such as fatigue or absence, thus increasing system reliability and predictability.

Quality control in handling sensitive components also benefits from drone implementation. Enhanced navigation and load stabilization mechanisms reduce the probability of damage, which directly translates into lower costs for repairs and complaints, as well as improved final product quality. This resonates with broader trends in smart warehousing, where precision and consistency are critical performance metrics (Mourtzis et al., 2019).

Furthermore, the deployment of contactless, aerial material handling solutions supports the flexibility and scalability of production lines. The ability to dynamically adjust routing and scheduling without reconfiguring physical infrastructure provides a competitive advantage in volatile manufacturing environments. As highlighted by Lu and Weng (2018), adaptive systems are key to maintaining efficiency in demand-driven production settings.

In conclusion, the implementation of autonomous drones in intra-company logistics represents a forward-looking step toward Industry 4.0. The proposed solution demonstrates practical viability and measurable benefits in terms of time, cost, safety, and operational quality. This work contributes to the growing body of research advocating for intelligent automation in internal logistics, and offers a replicable model for organizations seeking to optimize their intralogistics under the principles of digital transformation and sustainable operational excellence.

Acknowledgement

This research was funded by the project KEGA 010TUKE-4/2023 Application of educational robots in the teaching process of the industrial logistics study program

References

- Cai, H., Xu, B., Yu, J., 2020. Towards an autonomous industry 4.0 warehouse: A UAV and blockchain-based system for inventory and traceability applications. *Computers in Industry*, 123, 103334.
- Delmerico, J., Rebecq, H., Gallego, G., Scaramuzza, D., 2020. Fast autonomous flight in warehouses for inventory applications. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 5(2), pp. 312-319.
- Lu, Y., Weng, X., 2018. Smart manufacturing and adaptive production in dynamic industrial environments. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 54, pp. 133-140.



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

- Mourtzis, D., Vlachou, E., Milas, N., 2019. Industrial big data as a result of IoT adoption in manufacturing. *Procedia CIRP*, 72, pp. 614-619.
- Rahman, M.M., Shakil, K.A., Rahman, M.S., Sultana, S., 2021. Implementation and critical factors of unmanned aerial vehicle (UAV) in warehouse management: A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, 295, 126456.
- Santos, R., Costa, N., Melo, R., Rebelo, F., 2020. Occupational safety and human factors in warehouse automation. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 30(6), pp. 371-384.
- Shakil, K.A., Rahman, M.S., Alqahtani, H., Ameen, A., 2023. Drones for supply chain management and logistics: a review and research agenda. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 172, 103093.
- Sujit, P.B., Waharte, S., 2022. Utilisation of drones in achieving various applications in smart warehouse management. *Expert Systems with Applications*, 206, 117820.
- Ten Hompel, M., Henke, M., 2017. Logistics 4.0: The future of supply chains. *Journal of Business Logistics*, 38(4), pp. 235-246.
- Winkenbach, M., Goh, M., Wei, H., 2018. Smart warehousing: Automating the last internal mile. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 48(1), pp. 34-55.
- Zhang, J., Zhang, Y., Liu, Y., Liu, C., 2021. Locating charging stations and routing drones for efficient stocktaking in warehouses. *Computers & Industrial Engineering*, 154, 107119.
- Zhou, Y., Gupta, A., 2019. UAVs for industries and supply chain management. *Journal of Industrial Information Integration*, 15, pp. 1-9.



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

Zbavenie sa zodpovednosti zamestnávateľa za pracovný úraz

Alfréd Kozár¹

¹ Ústav zemských zdrojov, Fakulta BERG, Technická univerzita v Košiciach, Park Komenského 14, 04200 Košice, Slovenská republika, email: alfi.kozar@gmail.com

* Korešpondenčný autor

Abstract:

This case concerns a work-related injury sustained by an employee who served as a technical-economic worker and was also registered as a “driver-representative.” During a night-time business trip, the employee was involved in a car accident and subsequently sought compensation for reduced social engagement. The employer denied liability, arguing that the sole cause of the accident was the employee’s violation of traffic regulations.

The employee contended that he was not employed as a professional driver and that no qualified fault had been proven. He claimed the accident was caused by microsleep following a long workday, which he argued could not be considered culpable behavior. He also asserted that the employer failed to provide adequate training or enforce compliance with safety regulations. The Supreme Court ruled that the employee had been properly acquainted with traffic regulations through his driver’s license qualification and that adherence to these rules was his ongoing responsibility. Microsleep was deemed a foreseeable risk, and the driver was expected to assess his fitness to drive. The court emphasized that a driver must not operate a vehicle if their ability is impaired and that it is their duty to adjust their behavior accordingly. As a result, the employer was found not liable for the work-related injury.

Key words:

injury, driver, microsleep

Úvod

Primárne sú v bezpečnostných predpisoch uvedené povinnosti zamestnancov, ale základný bezpečnostný predpis (Zákon č. 124/2006 Z. z., 2006) o bezpečnosti a ochrane zdravia pri práci a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov a predpis upravujúci pracovnoprávne vzťahy medzi zamestnávateľom a zamestnancom (Zákon č. 311/2001 Z. z., 2001) - Zákonník práce v platnom znení (ďalej aj ako „Zákonník práce“) okrem povinností, priznáva zamestnancom aj často opomínané právo odmietnuť vykonať prácu alebo opustiť pracovisko a odobrať sa do bezpečia.

Nižšie uvedené rozhodnutie Najvyššieho súdu Českej republiky poukazuje na nevyužitie tohto práva zamestnanca v kontexte predpisov o cestnej premávke (v texte sú použité odkazy a citácie platných slovenských predpisov, ktoré sú identické s českou verzou).



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

1 Metódy a metodika

1.1 Stručný popis udalosti

Zamestnanec vykonával funkciu technicko-hospodárskeho pracovníka, ktorý pracoval na stavbách po celej Českej republike. Okrem uvedeného bol tento zamestnanec vedený aj ako „vodič - referent“, za čo poberal ku mzde pravidelné mesačné príplatky. Vodičský preukaz bol zamestnancovi vydaný v roku 1980 a zamestnanec pravidelne absolvoval povinné školenie vodičov referentských vozidiel².

V noci, keď došlo k nehode, o 00.15 hod. nasadol zamestnanec do prideleného služobného vozidla, čím sa začala jeho pracovná cesta. Počas jazdy mal dve bezpečnostné prestávky. V čase okolo 04:10 hod., v klesaní pred ťahlou pravotočivou zákrutou vyšiel vľavo v priamom smere mimo vozovku, kde narazil do dvoch stromov. Konanie zamestnanca bolo políciou vyhodnotené ako priestupok, za čo mu bola v správnom konaní uložená pokuta.

Priestupku proti bezpečnosti a plynulosti cestnej premávky sa dopustí ten, kto poruší všeobecne záväzný právny predpis o bezpečnosti a plynulosti cestnej premávky, v ktorého dôsledku vznikne dopravná nehoda, pri ktorej inému ublíži na zdraví alebo inému spôsobí škodu na majetku (Zákon č. 372/1990 Zb., 1990, § 22 ods. 1 písm. g).

1.2 Požiadavky zamestnanca na zamestnávateľa

Zamestnanec chcel po zamestnávateľovi, aby mu v súvislosti so vzniknutým úrazom vyplatil náhradu za sťaženie spoločenského uplatnenia, čo zamestnávateľ odmietol. Z uvedeného dôvodu sa zamestnanec, podanou žalobou domáhal, aby mu zamestnávateľ zaplatil za sťaženie spoločenského uplatnenia 1 680 € (42 000 Kč). Žalobu odôvodnil tým, že v súvislosti s plnením si svojich povinností vyplývajúcich z pracovného pomeru utrpel na pracovnej ceste pracovný úraz a zamestnávateľ mu z doposiaľ vyplatil len náhradu za stratu na zárobku po dobu pracovnej neschopnosti a bolestné.

1.3 Postoj zamestnávateľa

Zamestnávateľ vzniesol námietku, že „na základe dodatočne zistených skutočností“ jedinou príčinou škody (pracovného úrazu) bolo porušenie platných predpisov zo strany

² vyhláška č. 55/1991 Zb. o výcviku a zdokonaľovaní odbornej spôsobilosti vodičov cestných motorových vozidiel, ktorá pojednávala o povinnosti školiť vodičov z povolania bola bez náhrady zrušená Zákonom č. 315/1996 Z.z. o premávke na pozemných komunikáciách a preto podľa platnej slovenskej legislatívy spôsob a formu školenia vodičov „referentských vozidiel“ si určuje každý zamestnávateľ sám (v ČR je to upravené osobitným predpisom)



Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

zamestnanca a teda ako zamestnávateľ sa v súlade so Zákonníkom práce týmto plne zbavuje zodpovednosti za vzniknutý úraz.

Zamestnávateľ sa zbaví zodpovednosti celkom, ak preukáže, že jedinou príčinou škody bola skutočnosť, že škoda bola spôsobená tým, že postihnutý zamestnanec svojím zavinením porušil právne predpisy alebo ostatné predpisy na zaistenie bezpečnosti a ochrany zdravia pri práci, alebo pokyny na zaistenie bezpečnosti a ochrany zdravia pri práci, hoci s nimi bol riadne a preukázateľne oboznámený a ich znalosť a dodržiavanie sa sústavne vyžadovali a kontrolovali (Zákon č. 311/2001 Z. z., 2001, § 196 ods. 1 písm. a).

Zamestnávateľ uvádza, že v priestupkovom konaní bolo políciou zistené porušenie

- a) § 4 ods. 1 písm. c) Zákona č. 8/2009 Z. z. o cestnej premávke a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov
Vodič je povinný venovať sa plne vedeniu vozidla a sledovať situáciu v cestnej premávke.
- b) § 16 ods. 1 Zákona č. 8/2009 Z. z. o cestnej premávke a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov
Vodič je povinný rýchlosť jazdy prispôbiť najmä svojim schopnostiam, vlastnostiam vozidla a nákladu, poveternostným podmienkam, stavu a povahe vozovky a iným okolnostiam, ktoré možno predvídať. Vodič smie jazdiť len primeranou rýchlosťou, aby bol schopný zastaviť vozidlo na vzdialenosť, na ktorú má rozhľad.

V súvislosti s doposiaľ zaplatenými náhradami zamestnávateľ namietal, že bolestné a strata na zárobku v celkovej sume 2 341 € (58 526 Kč) boli vyplatené bez právneho dôvodu a preto navrhol, aby súd žalobu žalobcu zamietol a aby zamestnancovi uložil povinnosť zaplatiť zamestnávateľovi celú vyplatenú sumu 2 341 € spolu s 16% úrokom "od právoplatnosti rozsudku do zaplatenia".

1.4 Postoj zamestnanca

Zamestnanec priznal, že dostával príplatok k platu za to, že bol vedený ako „vodič - referent“, ale zároveň uviedol, že tento príplatok bol "úplne zanedbateľný", a preto naňho nemožno nazerať ako na vodiča, u ktorého je vedenie vozidla jeho hlavnou pracovnou náplňou so všetkými z toho vyplývajúcimi dôsledkami. Zamestnanec teda namietal, že nebol zamestnaný ako vodič motorového vozidla, ale mal iba povolenie od zamestnávateľa na to, aby mohol používať služobné motorové vozidlo pri plnení si svojich pracovných úloh.

Zamestnanec bol toho názoru, že mu nebolo dokázané tzv. "kvalifikované zavinenie vo vzťahu k cestným predpisom". To znamená, že mu nebolo preukázané, že by bol riadne



Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

oboznámený s predpismi a že ich znalosť a dodržiavanie boli sústavne vyžadované a kontrolované. Pretože nebol zamestnaný ako vodič, zamestnávateľ nekládol dôraz na vykonávanie školení týkajúcich sa vodičov, a pokiaľ aj nejaké školenie prebehlo, bolo rýdzo formálne.

Zamestnanec vytýkal súdu, že nevzal do úvahy skutočnosť, že podľa záveru polície porušil platné predpisy o cestnej premávke tým, že sa v dôsledku mikrospánku nevenoval riadeniu motorového vozidla. Mikrospánok resp. únavu, možno kvalifikovať za istých okolností ako „jednu z čiastkových podstát“ uvedených v § 16 ods. 1 zákona č. 8/2009 Z. z. a to „iné okolnosti, ktoré možno predvídať“. O zavinení v prípade mikrospánku však podľa názoru zamestnanca "nie je možné hovoriť", pretože bolo vedecky dokázané, že k nemu môže dôjsť nezávisle od vôle vodiča. Vzhľadom na to, že bol vyslaný na pracovnú cestu po celodennej dvanásťhodinovej práci cez noc, zamestnanec vyvodzoval, že "zásadnou príčinou nehody bol nevhodný pokyn na jazdu a tým aj nedodržanie bezpečnostných predpisov zo strany zamestnávateľa".

2 Výsledky

2.1 Rozhodnutie najvyššieho súdu

Súd nesúhlasil s názorom zamestnanca, že nebol riadne oboznámený s predpismi na zaistenie bezpečnosti a ochrany zdravia pri práci a že nebolo preukázané, že ich znalosť a dodržiavanie bola sústavne vyžadovaná a kontrolovaná.

Pretože právnymi a ostatnými predpismi na zaistenie bezpečnosti a ochrany zdravia pri práci sa rozumejú okrem iných aj dopravné predpisy (§ 39 ods. 1 Zákona č. 311/2001 Z. z.³), je riadne oboznámenie sa s nimi podmienkou rozhodujúcou o tom, či sa zamestnávateľ bude môcť zbaviť zodpovednosti za pracovný úraz vzniknutý porušením takých predpisov. Aj keď s obsahom právnych a ostatných predpisov na zaistenie bezpečnosti a ochrany zdravia pri práci spravidla oboznamuje zamestnanca jeho zamestnávateľ, Zákonník práce a ani iný právny predpis nevylučujú, aby toto oboznámenie vykonával v dostatočnej miere iný subjekt (orgán) odlišný od zamestnávateľa.

V oblasti dopravných predpisov - v čase, keď zamestnanec získal vodičské oprávnenie - bol (okrem iného) obsah a rozsah požadovaných znalostí pravidiel správania v cestnej premávke a zásad bezpečnej jazdy určené platnými predpismi o výcviku a ďalšom zvyšovaní odbornosti vodičov cestných motorových vozidiel (pozn. tak ako je tomu aj

³ Právne predpisy a ostatné predpisy na zaistenie bezpečnosti a ochrany zdravia pri práci sú predpisy na ochranu života a predpisy na ochranu zdravia, hygienické a protiepidemické predpisy, technické predpisy, technické normy, dopravné predpisy, predpisy o požiarnej ochrane a predpisy o manipulácii s horľavinami, výbušninami, zbraňami, rádioaktívnymi látkami, jedmi a inými látkami škodlivými zdraviu, ak upravujú otázky týkajúce sa ochrany života a zdravia.



Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

v súčasnosti). Úroveň dosiahnutej odbornej spôsobilosti je preverovaná skúškami; vykonávanie skúšok z odbornej spôsobilosti na riadenie motorových vozidiel bolo zverené polícii (spravidla skúšobným komisárom dopravných inšpektorátov). Polícia tiež v zmysle platnej legislatívy dohliada (dohliadala) na bezpečnosť a plynulosť cestnej premávky a spolupôsobí (spolupôsobila) pri jej riadení.

Z uvedeného vyplýva, že pri skúmaní toho, či sa zamestnávateľ zbavil zodpovednosti za pracovný úraz zamestnanca, u ktorého je riadenie vozidla predmetom pracovného vzťahu, osvedčuje oboznámenie zamestnanca s dopravnými predpismi už skúška z odbornej spôsobilosti na riadenie motorových vozidiel. Pretože na bezpečnosť a plynulosť cestnej premávky, vrátane dodržiavania pravidiel cestnej premávky, dohliada polícia, nie je ani potrebné skúmať kontrolu znalostí a dodržiavanie týchto pravidiel zamestnávateľom.

Názor zamestnanca, že v situácii, ak dôjde k nehode a v súvislosti s tým k porušeniu dopravných predpisov v dôsledku mikrospánku vodiča, "nedá sa hovoriť o zavinení", pretože - ako uvádza - k mikrospánku môže dôjsť nezávisle od vôle vodiča, nemôže obstať aj preto, že za rozhodujúce kritérium pre toto hodnotenie považuje predovšetkým záverečnú fázu konania bezprostredne predchádzajúcej nehode. Uvedený názor náležite neprihliada na to, že povinnosťou vodiča motorového vozidla bolo dodržiavať pravidlá cestnej premávky stanovené platnými predpismi po celú dobu jazdy. V ustanovení § 4 ods. 2 písm. f) zákona č. 8/2009 Z. z. o cestnej premávke a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov je ustanovené, že *vodič nesmie viesť vozidlo, ak jeho schopnosť viesť vozidlo je znížená najmä úrazom, chorobou, nevoľnosťou alebo únavou*. Je potom na vodičovi, aby posúdil prípadnú existenciu týchto prekážok a tomu prispôbil svoje správanie; za určitých okolností by potom nesmel jazdu buď vôbec vykonať alebo v nej pokračovať, poprípade v nej pokračovať bez primeraného odpočinku. Úvaha vodiča o schopnosti na riadenie vozidla musí byť založená a musí vychádzať z konkrétnych okolností, ktoré pozná alebo ktoré by mal poznať, ako napr. v posudzovanej veci, že ľudský organizmus po pracovnom výkone a pri nedostatočnom spánku je v záťažových situáciách náchylnejší na únavu. Ak zamestnanec namietal, že nemal byť vyslaný na pracovnú cestu "po celodennej 12-hodinovej práci cez noc", prehliada sa, že na to, aby si zamestnanec splnil svoju povinnosť dodržiavať právne predpisy na zaistenie bezpečnosti a ochrany zdravia pri práci, je na ňom, aby on sám z hľadiska vyššie uvedených zásad posúdil, či je za daných okolností vôbec schopný pracovnú cestu nastúpiť a či teda nemá výkon tejto práce odmietnuť, alebo, ak ju nastúpi, za akých podmienok ju bude vykonávať.

Zamestnávateľ nesmie posudzovať ako nesplnenie povinnosti, ak zamestnanec odmietne vykonať prácu alebo splniť pokyn, ktoré

- a) *sú v rozpore so všeobecne záväznými právnymi predpismi alebo s dobrými mravmi,*
- b) *bezprostredne a vážne ohrozujú život alebo zdravie zamestnanca alebo iných osôb* (§ 47 ods. 3 Zákona č. 311/2001 Z. z.)



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

Zamestnanec má právo odmietnuť vykonať prácu alebo opustiť pracovisko a odobrať sa do bezpečia, ak sa dôvodne domnieva, že je bezprostredne a vážne ohrozený jeho život alebo zdravie, alebo život alebo zdravie iných osôb (§ 12 ods. 1 písm. b) Zákona č. 124/2006 Z. z.).

Z uvedeného vyplýva, že ak zamestnanec – vodič sa pred začatím jazdy spolieha na to, že ju môže bezpečne vykonávať, hoci vie o okolnostiach, ktoré by mohli mať negatívny vplyv na jeho schopnosť ovládať motorové vozidlo, a napriek tomu týmto okolnostiam neprispôbi ani režim svojej jazdy, najmä zaraďovaním častejších zastávok s primeranou dobou odpočinku, ide v prípade pracovného úrazu – dopravnej nehody spôsobenej stratou kontroly nad vozidlom v dôsledku náhlej indispozície vyvolanej vyššie uvedenými okolnosťami – o zavinené porušenie právnych predpisov na zaistenie bezpečnosti a ochrany zdravia pri práci (dopravných predpisov).

3 Záver

Uvedené rozhodnutie súdu (sp. zn. 21 Cdo 1239/2000, 2000) poukazuje na základný problém v oblasti bezpečnosti a ochrany zdravia pri práci keď zamestnanec, spravidla zo strachu pred stratou zamestnania, sa snaží za každých okolností plniť požiadavky zamestnávateľa, občas aj bez ohľadu na jeho vlastnú bezpečnosť. V prípade vzniku úrazu, havárie alebo inej mimoriadnej udalosti, však väčšinou zamestnávateľ túto snahu zamestnanca neocení a ako bolo uvedené, bude mu toto jeho konanie skôr na príťaž.

Literatúra

Rozhodnutí Nejvyššího soudu České republiky, sp. zn. 21 Cdo 1239/2000.

Zákon č. 8/2009 Z. z. o cestnej premávke a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov.

Zákon č. 124/2006 Z. z. o bezpečnosti a ochrane zdravia pri práci a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov.

Zákon č. 311/2001 Z. z. Zákonník práce v platnom znení.

Zákon č. 372/1990 Zb. o priestupkoch v platnom znení.



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

**Rizikové faktory ovplyvňujúce človeka pri obsluhu dopravných a
manipulačných zariadení v kontexte digitálnej ergonómie a
Priemyslu 5.0**

**Jana Kronová ^{1*}, Miriam Pekarčíková ², Peter Trebuňa ³, Marek Kliment ⁴,
Michal Baluch ⁵**

¹ Katedra priemyselného a digitálneho inžinierstva, Strojnícka fakulta, Technická univerzita
v Košiciach, Park Komenského 9, 04200 Košice, Slovenská republika,
e-mail: jana.kronova@tuke.sk

² Katedra priemyselného a digitálneho inžinierstva, Strojnícka fakulta, Technická univerzita
v Košiciach, Park Komenského 9, 04200 Košice, Slovenská republika,
e-mail: miriam.pekarcikova@tuke.sk

³ Katedra priemyselného a digitálneho inžinierstva, Strojnícka fakulta, Technická univerzita
v Košiciach, Park Komenského 9, 04200 Košice, Slovenská republika,
e-mail: peter.trebuna@tuke.sk

⁴ Katedra priemyselného a digitálneho inžinierstva, Strojnícka fakulta, Technická univerzita
v Košiciach, Park Komenského 9, 04200 Košice, Slovenská republika,
e-mail: marek.kliment@tuke.sk

⁵ Tauris Group, Výrobná prevádzka RYBA KOŠICE, Južná trieda 54, 04001 Košice,
Slovenská republika, e-mail: baluch@taurigroup.sk

* Korešpondenčný autor

Abstract:

This paper focuses on the use of digital ergonomics in the rationalization of manual operations in line with Industry 5.0, with particular emphasis on risk factors affecting workers during the use of transport and handling equipment. Through the Ergo-Plus software, which combines simulation, motion capture, and AI-based analysis, it is possible to identify and evaluate ergonomic risks related to body posture, physical load, repetition, and the operation of transport devices. The method enables early detection of potentially harmful conditions before the actual implementation of work processes. The collected data allows for a detailed assessment of biomechanical exposure and helps in the proposal of preventive ergonomic interventions. A case study focused on manual box handling illustrates the practical application of the approach and demonstrates measurable improvements in work safety and efficiency. By simulating real tasks in a digital environment, the method supports the design of safer, more efficient workplaces while minimizing the risk of musculoskeletal disorders. This contributes to the sustainable development of human-centered workplaces and demonstrates the potential of digital tools in modern ergonomic practice.

Key words:

Industry 5.0, ergonomic digitalization, Ergo-Plus software



Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

Úvod

V ére digitalizácie výrobných procesov, charakteristickej pre koncept Priemyslu 4.0, sa čoraz väčšia pozornosť venuje nielen technickej inovácii, ale aj človeku ako integrálnej súčasti výrobného systému. Manuálne činnosti, ktoré si vyžadujú opakované fyzické pohyby, zostávajú významnou súčasťou mnohých pracovných pozícií, a preto je nevyhnutné klásť dôraz na ich ergonomické usporiadanie. Vzhľadom na skutočnosť, že zamestnanci trávajú na pracovisku významnú časť dňa, je vytváranie optimálnych podmienok z hľadiska pohodlia, bezpečnosti a zdravia neoddeliteľnou súčasťou strategického rozvoja podnikov (Trebuňa et al., 2017).

Kvalitne navrhnuté pracovisko prináša množstvo benefitov: znižuje výskyt chorôb z povolania a pracovných úrazov, podporuje duševné zdravie, predchádza fyzickému a psychickému vyčerpaniu, zvyšuje produktivitu práce a prispieva k celkovej spokojnosti zamestnancov. Naopak, zanedbanie ergonomických aspektov môže viesť k zvýšenej chorobnosti, poklesu výkonnosti a rastu prevádzkových nákladov. Z tohto dôvodu sa digitálna ergonómia – využívajúca pokročilé simulačné a analytické nástroje – stáva kľúčovým prvkom návrhu moderného pracovného prostredia (Trebuňa et al., 2020).

Využitie softvérových nástrojov pre digitálne modelovanie umožňuje detailnú analýzu pracovných činností ešte pred fyzickou realizáciou pracoviska. Pomocou simulácií je možné hodnotiť polohy tela, rozsah pohybu, dosahy, úroveň svalového zaťaženia či cyklické namáhanie a na tomto základe identifikovať potenciálne ergonomické riziká. Digitálne modelovanie zároveň otvára priestor pre optimalizáciu úloh, návrh kompenzačných opatrení a implementáciu zmien, ktoré vedú k vyššej bezpečnosti, komfortu a efektívnosti práce. Tieto prístupy umožňujú nielen znižovať fyzickú záťaž pracovníkov, ale zároveň podporujú udržateľnosť, flexibilitu a konkurencieschopnosť podnikov v prostredí rýchlo sa meniaceho priemyselného trhu (Berlin et al., 2020).

1 Metódy a metodika

1.1 Digitálna analýza rizík pri obsluhu manipulačných zariadení v softvéri Ergo-Plus

V rámci navrhovaného prístupu digitálnej ergonómie bola využitá softvérová platforma Ergo-Plus, ktorá predstavuje komplexný nástroj na riadenie a systematické zlepšovanie ergonómie pracovísk v súlade s princípmi Priemyslu 4.0. Ide o univerzálnu digitálnu platformu, ktorá integruje analytické, vzdelávacie a hodnotiace nástroje, umožňujúce implementáciu uceleného ergonomického programu v rámci podniku.

Súčasťou funkcionality softvéru je modul na vzdelávanie zamestnancov, ktorý poskytuje online kurzy zamerané na základy ergonómie, identifikáciu a hodnotenie rizík, tvorbu plánov zlepšení a priebežné sledovanie pokroku. Vzdelávacie obsah je vhodný pre rôzne úrovne používateľov a prispieva k zvyšovaniu povedomia a kompetencií v oblasti ergonomických zásad v priemyselnom prostredí.

Na analytickú časť hodnotenia boli využité vstavané ergonomické nástroje, ako sú Quick Screen, Job Screen, NIOSH Lifting Equation, REBA (Rapid Entire Body Assessment),



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

RULA (Rapid Upper Limb Assessment), Snook Tables a ďalšie metódy osvedčené v medzinárodnej praxi. Softvér zároveň využíva umelú inteligenciu a technológie počítačového videnia, čo umožňuje efektívnu a presnú analýzu rizikových faktorov manuálnych pracovných činností s dôrazom na dynamické aspekty pohybu a zaťaženia pohybového aparátu.

Dôležitou súčasťou metodiky je aj možnosť simulácie zlepšovacích opatrení prostredníctvom tzv. „čo ak“ scenárov, ktoré umožňujú testovanie alternatívnych riešení bez nutnosti fyzických zásahov do pracoviska. Softvér podporuje prioritizáciu navrhnutých zmien, sleduje náklady a vyhodnocuje účinnosť implementovaných opatrení na základe vopred definovaných ukazovateľov. Tieto ukazovatele zahŕňajú napr. počet vykonaných hodnotení, realizované opatrenia, zmeny v rizikovom profile pracoviska a ďalšie kľúčové metriky.

Vzhľadom na svoju škálovateľnosť je platforma vhodná pre malé podniky aj veľké organizácie, pričom zabezpečuje konzistentnosť a transparentnosť údajov naprieč jednotlivými pracoviskami či výrobnými jednotkami. Používateľsky prívetivé rozhranie zjednodušuje prácu aj pre používateľov bez predchádzajúcich skúseností so simulačnými nástrojmi. Okrem toho je k dispozícii odborný podporný tím, ktorý poskytuje metodickú a technickú pomoc v oblasti ergonómie.

Softvérové riešenie Ergo-Plus sa osvedčilo ako vhodný nástroj pre oddelenia BOZP, ľudských zdrojov, manažment výroby a ďalších zainteresovaných aktérov. Umožňuje identifikovať kritické body v rámci pracovných činností, navrhovať preventívne a korektívne opatrenia, a tým prispievať k znižovaniu úrazovosti, zlepšovaniu pracovných podmienok a zvyšovaniu efektivity procesov.

1.2 Snímanie a analýza fyzickej aktivity pracovníka pomocou videa v reálnom čase

V nadväznosti na digitálne modelovanie pracovných činností bol v rámci softvérovej analýzy využitý aj modul na snímanie pohybovej aktivity pracovníka v reálnom čase prostredníctvom videa. Táto funkcionality umožňuje dynamicky vyhodnocovať fyzické zaťaženie počas vykonávania konkrétnych pracovných úloh bez potreby nositeľných senzorov, čo výrazne zvyšuje praktickú využiteľnosť v reálnych prevádzkových podmienkach.

Výsledkom analýzy je tzv. celkové skóre rizika (Overall Risk Score), ktoré integruje hodnotenie záťaže rôznych častí tela počas jedného pracovného cyklu. V analyzovanom prípade (Obr. 1) prenosu krabíc dosiahlo celkové skóre hodnotu 28, čo zodpovedá strednej úrovni rizika.

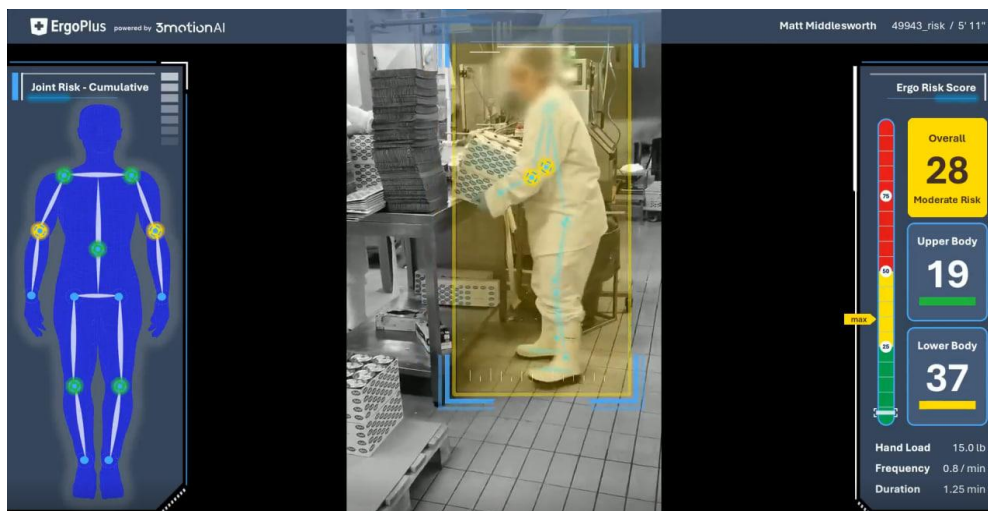
Skóre je ďalej rozdelené na riziko hornej časti tela (ramená, paže, krk), ktoré dosiahlo hodnotu 19 a bolo vizualizované zelenou farbou, čo indikuje nízku mieru zaťaženia. Naproti tomu riziko dolnej časti tela (driek, bedrá, dolné končatiny) dosiahlo hodnotu 37, označené žltou farbou, čo signalizuje strednú úroveň rizika.

Na ľavej strane rozhrania bola zobrazená mapa kĺbov, ktorá vizuálne zvýraznila najviac zaťažované časti pohybového aparátu počas vykonávania úlohy. Tieto údaje poskytujú cenný vstup pre optimalizáciu pracovných polôh, reorganizáciu pohybových vzorcov a následné návrhy úprav pracoviska.

Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

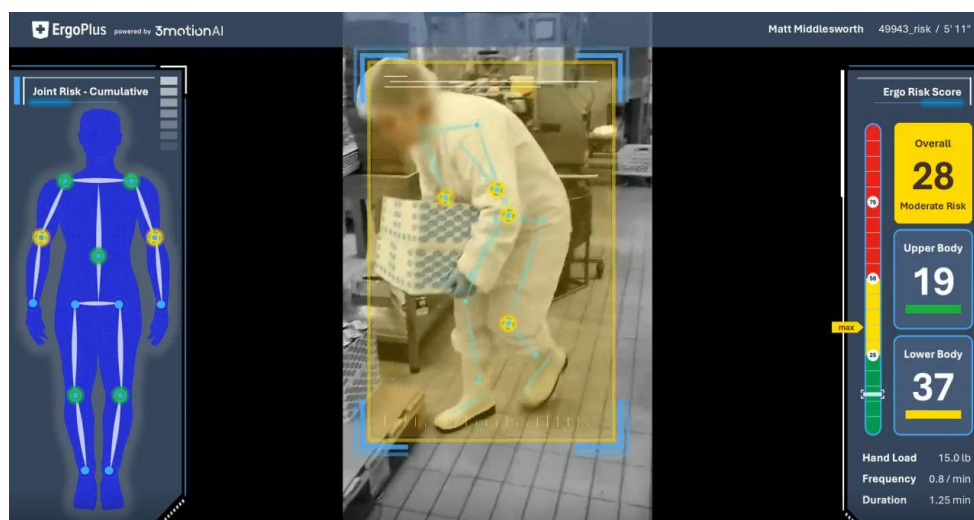
Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

Takáto forma vizualizácie a kvantifikácie fyzického zaťaženia predstavuje efektívny spôsob, ako identifikovať ergonomicky rizikové miesta v reálnom čase a zároveň poskytuje objektívny základ pre návrh preventívnych opatrení a zlepšení v súlade s princípmi digitálnej ergonomie.



Obr. 1 Analýza rizík pri obsluhu zariadení v sw. Ergo-Plus – 1. fáza
Zdroj: autor

V úvodnej fáze pracovného cyklu (Obr. 2) pracovník zdvíha štyri boxy s hmotnosťou približne 9 kg. Softvér analyzuje jeho pohyb pomocou snímania kľúčových kĺbov – ramien, lakťov, bokov, kolien a členkov. Výsledky ukazujú strednú úroveň fyzickej záťaže, pričom najviac zaťažené sú ramená, driek a kolena. Zistenia poukazujú na potrebu optimalizácie pracovných podmienok s cieľom znížiť riziko preťaženia a zvýšiť bezpečnosť pri manipulácii s bremenami.



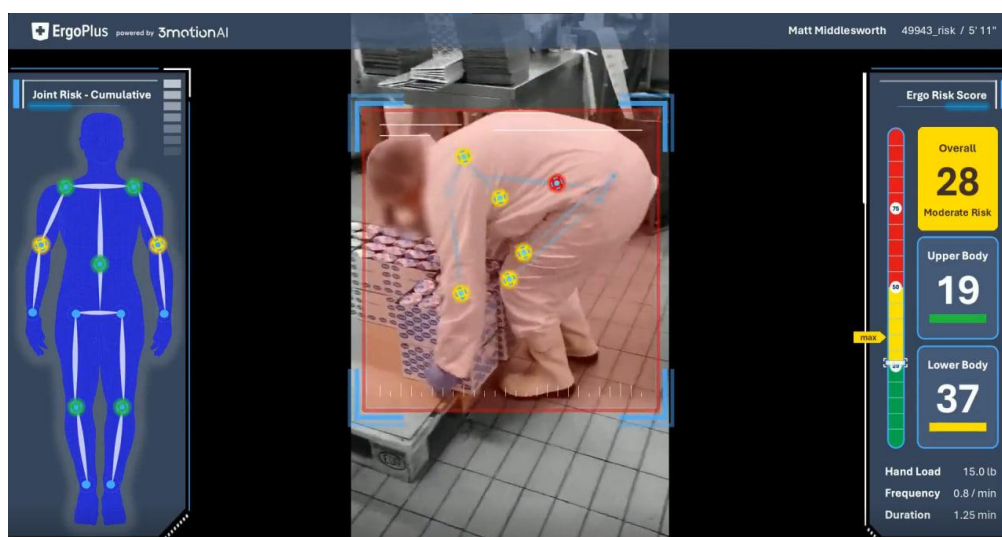
Obr. 2 Analýza rizík pri obsluhu zariadení v sw. Ergo-Plus – 2. fáza
Zdroj: autor

Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

V ďalšej fáze (Obr. 3) pracovník ukladá boxy na paletu vo výrazne ohnutej polohe. Riziko bolo vyhodnotené ako stredné, pričom červené oblasti v analýze signalizujú vysokú záťaž v oblasti bedier a driekovej chrbtice.

V záverečnej fáze úlohy dochádza k uloženiu bremien v hlbokom predklone, čo predstavuje najvyššiu úroveň zaťaženia v celom cykle (rizikové skóre 28). Táto poloha výrazne zvyšuje pravdepodobnosť vzniku muskuloskeletálnych ťažkostí, najmä v oblasti dolnej časti chrbta. Ergonomická analýza tak potvrdzuje potrebu intervencie formou technických a organizačných opatrení na zníženie rizika.



Obr. 3 Analýza rizík pri obsluhu zariadení v sw. Ergo-Plus – 3. fáza
Zdroj: autor

2 Výsledky

2.1 Posúdenie celkového skóre pohybu využitím softvéru Ergo-Plus

Celkové skóre pohybu predstavuje agregovaný indikátor, ktorý vychádza zo súhrnného hodnotenia rizika na základe viacerých premenných: rozsah pohybu, kinematika kĺbov, záťaž horných končatín, trvanie čiastkových úloh a ich frekvencia. Tieto parametre sú normalizované na 100-bodovú škálu, pričom výsledkom je jednotné skóre pohybovej záťaže (Obr. 4).

Celková hodnota pohybu, vypočítaná ako priemer rizikového skóre hornej a dolnej časti tela, poskytuje komplexný ukazovateľ fyzickej náročnosti vykonávanej činnosti. Skóre sa klasifikuje nasledovne:

- Nízke riziko: 0–24
- Stredné riziko: 25–50
- Vysoké riziko: 51–100



Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

Tento prístup umožňuje efektívne porovnávanie a hodnotenie fyzickej záťaže naprieč rôznymi pracovnými operáciami. Celková záťaž pri práci na základe našej vykonanej analýzy je v strednej rizikovej kategórii, pričom najviac je zaťažená dolná časť tela. Horná časť tela vykazuje nízke riziko (viď. Obr. 4).

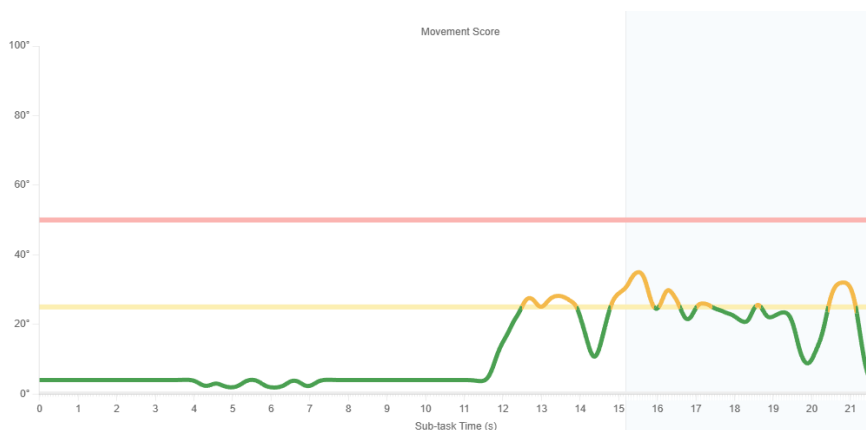


Obr. 4 Celkové skóre pohybu
Zdroj: autor

2.2 Analýza časového priebehu pohybového skóre pomocou softvéru Ergo-Plus

Pohyb bol hodnotený v každom jednotlivom zábere videa pomocou protokolu REBA (Rapid Entire Body Assessment), ktorý slúži na kvantifikáciu posturálneho rizika. Ako výsledné skóre pohybu sa použila najvyššia hodnota v 90. percentilovom rozmedzí počas celej dĺžky videa, ktorá reprezentuje konkrétnu zaznamenanú čiastkovú úlohu (Obr. 5). Graf zobrazuje hodnoty skóre pohybu po jednotlivých snímkoch a ukazuje, ako sa menilo v závislosti od držania tela počas celého sledovaného časového úseku.

Neprirodzené alebo neprijemné polohy znižujú výsledné skóre, zatiaľ čo neutrálne a ergonomicky priaznivé polohy vedú k jeho zvýšeniu. V počiatočnej fáze aktivity (prvých 11 sekúnd) bol postoj prevažne optimálny, bez zvýšeného rizika. Od 12. sekundy sa však začali vyskytovať menej vhodné postoje, čo sa prejavilo prechodom do mierne rizikovej zóny, najmä pri predklone a zdvíhaní krabíc. Tento mierny stupeň rizika sa následne udržiaval až do konca skúmaného úseku.



Obr. 5 Časový priebeh pohybového skóre
Zdroj: autor

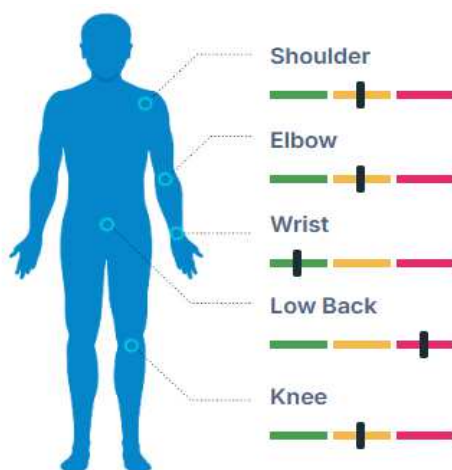
Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

2.3 Analýza uhlov držania tela a rizikovosť zaťaženia kĺbov počas čiastkovej úlohy

Hodnoty uhlov v jednotlivých snímkach videa zachytávajú polohu hlavných kĺbov pracovníka počas celej zaznamenatej čiastkovej úlohy. Riziko zaťaženia kĺbov je vizualizované farebným odlíšením čiar v grafe podľa úrovne záťaže: nízka, stredná alebo vysoká (Obr. 6).

Farebné pásy v grafe naznačujú preťaženie jednotlivých kĺbov, pričom rameno, krížová kosť a krk sú identifikované ako najviac zaťažené oblasti (žlto-červená zóna). Naopak, lakeť, zápästie a koleno vykazujú nižšiu záťaž, ktorá je prevažne v zelenej oblasti.



Obr. 6 Hodnotenie držania tela a zaťaženia kĺbov
Zdroj: autor

2.4 Kinematická správa a časové rozdelenie rizika počas čiastkovej úlohy

Kinematická správa uvádza percentuálny podiel času, ktorý pracovník strávil v oblastiach s nízkym, stredným alebo vysokým ergonomickým rizikom počas vykonávania čiastkovej úlohy (Obr. 7).

Podľa súhrnu ergonomického rizika najvyššie zaťaženie vykazuje ľavé rameno, ktoré bolo v červenej (vysoké riziko) zóne 14 % času a v žltej (stredné riziko) zóne 24 % času. Drieková chrbtica bola v stredne rizikovej žltej zóne počas 77 % a vo vysoko rizikovej červenej

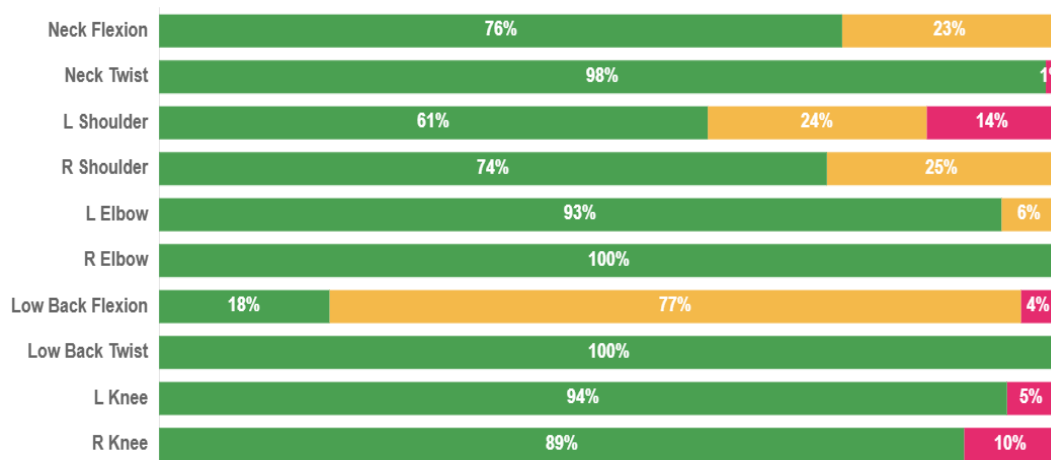


Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

zóny 4 % času. Pravé rameno (25 % v žltej zóne) a koleno (10 % v červenej zóne) boli menej kritické.

Naopak, krk, krútenie drieku, pravý lakeť a ľavé koleno pracovali prevažne v bezpečnom rozsahu (zelenej zóne). Hlavné rizikové oblasti teda predstavujú ramená, driek a pravé koleno.



*Obr. 7 Kinematická správa
Zdroj: autor*

3 Záver

Na základe analýzy vykonanej pomocou umelej inteligencie v programe Ergo-Plus boli identifikované viaceré ergonomické rizikové faktory pri obsluhu zariadení, ktoré môžu viesť k zvýšenému výskytu muskuloskeletálnych poranení u pracovníkov vykonávajúcich opakované manipulačné činnosti. Medzi hlavné zistené faktory patrí výskyt nevhodných polôh tela, najmä ohýbanie a otáčanie trupu pri zdvíhaní a ukladaní bremien, ktoré spôsobuje zvýšené biomechanické zaťaženie. Zároveň bolo zaznamenané opakované vykonávanie činností s vysokými požiadavkami na silu, pričom pracovníci vykonávali zdvíhanie v ohnutej polohe. Frekvencia týchto pohybov zvyšuje riziko vzniku poranení z opakovaného preťaženia.

Na základe identifikovaných rizík boli navrhnuté viaceré opatrenia zamerané na zlepšenie ergonomických podmienok na pracovisku. Prvým odporúčaním je implementácia výškovo nastaviteľných pracovísk, ktoré umožňujú pracovníkom prispôbiť výšku pracovnej plochy individuálnym potrebám. Tým sa znižuje potreba nadmerného ohýbania a zabezpečuje sa neutrálna poloha trupu počas práce.

Ďalším opatrením je využívanie zdvíhacích pomôcok, ako sú zariadenia na asistované zdvíhanie alebo pružinové plošiny. Tieto technické riešenia významne znižujú fyzickú námahu pri manipulácii s bremenami a prispievajú k zníženiu rizika úrazov spôsobených nadmerným zaťažením pohybového aparátu.



Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

Dôležitou súčasťou ergonomického zlepšenia je aj realizácia školení zameraných na správne pohybové stereotypy a techniky manipulácie s bremenami. Edukačné programy, ktoré učia pracovníkov zásady správneho držania tela, efektívne techniky zdvíhania a minimalizáciu fyzického stresu pri pracovných činnostiach, predstavujú efektívny nástroj prevencie muskuloskeletálnych porúch.

S cieľom rovnomerného rozloženia fyzickej záťaže medzi zamestnancami sa odporúča zaviesť rotáciu pracovných pozícií. Striedanie pracovníkov medzi rôznymi typmi činností umožňuje znížiť kumulatívne zaťaženie jednotlivých svalových skupín a predchádzať jednostrannému preťaženiu.

Napokon, pre zabezpečenie trvalého zlepšovania pracovného prostredia je vhodné implementovať systematický program ergonomického hodnotenia. Pravidelné analýzy a spätná väzba umožňujú identifikovať nové rizikové faktory, optimalizovať usporiadanie pracovísk a podporovať kontinuálne zlepšovanie ergonomických štandardov pri obsluhu zariadení.

Pod'akovanie

Tento článok vznikol realizáciou grantových projektov APVV-17-0258 „Aplikácia prvkov digitálneho inžinierstva pri inovácii a optimalizácii výrobných tokov“, APVV-19-0418 „Inteligentné riešenia na zvýšenie inovačnej schopnosti podnikov v procese ich transformácie na inteligentné podniky“, VEGA 1/0508/22 „Inovatívne a digitálne technológie vo výrobných a logistických procesoch a systémoch“, VEGA 1/0383/25 „Optimalizácia činností výrobných podnikov a ich digitalizácia s využitím pokročilých virtuálnych prostriedkov a nástrojov“, KEGA 020TUKE-4/2023 „Systematický rozvoj kompetenčného profilu študentov priemyselného a digitálneho inžinierstva v procese vysokoškolského vzdelávania“, KEGA 003TUKE-4/2024 „Inovácia profilu absolventa priemyselného inžinierstva v kontexte požadovaných znalostí a špecifických schopností pre výskum a implementáciu inteligentných systémov budúcnosti“.

Literatúra

- Berlin, C., Adams, C., 2017. Production ergonomics: designing work systems to support optimal human performance. Ubility Press, London, pp. 127-138.
- Chundela, L., 2013. Ergonomie. 3rd Edition, Czech Technical University in Prague, Prague, 173 p.
- Grznar, P., Gregor, M., Krajcovic, M., Mozol, S., Schickerle, M., Vavrik, V., Durica, L., Marschall, M., Bielík, T., 2020. Modeling and simulation of processes in a factory of future. *Applied Sciences*, 10(13), 4503.
- Lumnitzer, E., Piňosová, M., Andrejiová, M., Králiková, R., 2021. Assessment of health impacts. 1st Edition, Technical University of Košice, Faculty of Mechanical Engineering, Košice.
- Marasova, D., Saderova, J., Ambrisko, L., 2020. Simulation of the use of the material handling



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

- equipment in the operation process. *Open Engineering*, 10(1), pp. 216-222.
- Straka, M., Khouri, S., Lenort, R., Besta, P., 2020. Improvement of logistics in manufacturing system by the use of simulation modelling: A real industrial case study. *Advances in Production Engineering & Management*, 15(1), pp. 18-30.
- Takala, E.P., Pehkonen, I., Forsman, M., Hansson, G.Å., Mathiassen, S.E., Neumann, W.P., Winkel, J., 2009. Systematic evaluation of observational methods assessing biomechanical exposures at work. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 47(5), pp. 329-347.
- Trebuňa, P., 2017. Application of selected modelling and simulation methods in industrial engineering. 1st Edition, Technical University of Košice, Faculty of Mechanical Engineering, Košice.
- Trebuňa, P., Mizerák, M., Trojan, J., Kliment, M., 2020. Digitalization of manufacturing processes and systems. 1st Edition, Technical University of Košice, Košice.
- Wickens, C.D., Hollands, J.G., Banbury, S., Parasuraman, R., 2021. Engineering psychology and human performance, 5th Edition, Pearson, New York.
- ErgoPlus, 2025. Briotix Health. [online] Available at: <<https://ergo-plus.com/>> [Accessed 16 Jul. 2025].



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

Proces údržby manipulačných zariadení v IS SAP

Marcela Malindžáková^{1*}, Timea Šimonová²

¹ Ústav logistiky a dopravy, Fakulta BERG, Technická univerzita v Košiciach, Park Komenského 14, 04200 Košice, Slovenská republika, e-mail: marcela.malindzakova@tuke.sk

² Ústav logistiky a dopravy, Fakulta BERG, Technická univerzita v Košiciach, Park Komenského 14, 04200 Košice, Slovenská republika, e-mail: timea.simonova@tuke.sk

* Korešpondenčný autor

Abstract:

The purpose of the contribution is to focus on the maintenance process in IS SAP. With the current problem of a low number of maintenance workers in companies, when companies are forced to respond to malfunctions. Setting specific conditions for predictive, planned and corrective maintenance can be contributed to by appropriate coordination of work as well as increasing the reliability of machines and equipment. The task of each company is to create a methodology oriented towards the correct maintenance strategy for specific handling equipment. The presented contribution provides a proposal for steps for restoring the object (handling equipment) to the desired state.

Key words:

IS SAP, maintenance planning, coordination of maintenance work, handling equipment

Úvod

Súčasná doba si vyžaduje využiť moderné technické prostriedky z dôvodu efektívneho a spoľahlivého zabezpečenia údržby. Implementácia automatizovaného plánovania údržby umožňuje vytvárať plány prediktívnej a preventívnej údržby a súčasne aj tvorbu pracovných príkazov. Tým dochádza k eliminácii manuálnej práce a k zvýšeniu presnosti a konzistentnosti aktivít súvisiacich s údržbou. IS SAP modul Logistika – podmodul Plant Maintenance poskytuje nástroje na sledovanie stavu zariadení, priebehu prác súvisiacich s údržbou ako aj využitie zdrojov čo v konečnom dôsledku zlepšuje celkový prehľad procesu údržby a umožňuje efektívnejšie riadenie a koordináciu prác. Cieľom podmodulu Plant Maintenance je vytvárať notifikácie a pracovné príkazy v prípade zistenia problémov čo pomáha operatívne reagovať na poruchy s cieľom znížiť čas prestojov a zvýšiť spoľahlivosť zariadení. Integrácia podmodulu IS SAP Plant Maintenance s ostatnými podmodulmi ako Riadenie materiálov (Materials Management), a Plánovanie výroby (Production) prispieva k efektívnemu zdieľaniu informácií a koordinácii údržby s inými obchodnými procesmi (Liebstückel, 2022).



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

1 Metódy a metodika

IS SAP je komplexný informačný systém, ktorý umožňuje organizáciám efektívne riadiť rôzne procesy, ako sú logistika, údržba, účtovníctvo, personalistika, informačný systém. Prepojenie dvoch podmodulov – SAP MM (Materials Management) a SAP PM (Plant Maintenance) – sú kľúčové pre zlepšenie riadenia zásob, materiálov a zariadení v rámci výroby ako aj zabezpečenia údržby. V príspevku pod pojmom objekt je chápané manipulačné zariadenie. Týmto spôsobom je možné zvýšiť efektivitu a znížiť náklady.

Pre potreby zlepšenia procesu údržby je potrebné nastaviť konkrétne ciele (Marasová et al., 2020):

- zlepšiť koordináciu medzi logistikou a údržbou pre lepšiu výmenu informácií,
- automatizovať proces objednávaní materiálov pre proces údržby.
- zabezpečiť rôzne formy údržby (prediktívnu, plánovanú a korektívnu).

Väčšina podnikov v súčasnosti využíva IS SAP, ktorý je flexibilný a efektívny pre plánovanie a riadenie procesov údržby vo výrobných ako aj nevýrobných spoločnostiach (Malindžáková, 2017).

V zmysle normy STN EN ISO 9001:2016 proces údržby zahŕňa organizované a koordinované úlohy s podporou zdrojov, ktoré sú vykonávané rôznymi zúčastnenými stranami za účelom dosiahnutia požadovaného výsledku.

Z hľadiska terminologického norma EN 13306 je možné chápať údržbu ako synergiu operácií (činnosti) technických, administratívnych a riadiacich počas jednotlivých fáz životného cyklu objektov, ktoré v konečnom dôsledku prispievajú k udržiavaniu alebo obnove stavu, v ktorom je možné vykonávať požadované funkcie.

Norma STN EN 17007:2020 Proces údržby a súvisiace ukazovatele definuje proces údržby nasledovne (Tab. 1):

- identifikovať činnosti, ktoré je potrebné vykonať so špecifikáciou podrobností,
- určiť vstupy/výstupy jednotlivých čiastkových procesov ako aj synergiu väzieb, ktorými sú spojené a zároveň umožňujú realizáciu celého procesu,
- špecifikovať ukazovatele merania realizácie každého procesu ako aj monitorovanie efektívnosti procesu.



Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

Tab. 1 Špecifikácia postupu údržby (norma STN EN 17007:2020)

Účel (účely procesu) Obnovenie objektu do požadovaného stavu. Toto obnovenie sa môže vykonať buď ako preventívne opatrenie, alebo po zistení poruchového stavu	
Špecifikácia kľúčových činností / základných procesov 1. Zaisťovať bezpečnosť objektov a osôb (obmedzenie používania objektov a prístupových bodov, zabezpečenie osobných a skupinových ochranných prostriedkov). 2. Vykonať „bezpečnostnú“ kontrolu. 3. Vykonať opatrenia potrebné na vykonanie úlohy (príprava pracoviska). 4. Vykonať vopred určené postupy údržby. 5. Realizovať kontrolu na ukončenie kontroly ako aj odstránenie obmedzení týkajúcich sa objektov a prístupových bodov. 6. Zabezpečiť kontrolu správnej činnosti objektu vo funkčnom prostredí. 7. Určiť opatrenia na zvládnutie odchýlok z hľadiska fungovania, pri konkrétnych postupoch ako aj podpore.	
Vstupné údaje / produkty - objekty, ktoré sa majú udržiavať (pre potreby údržby), - aktualizované postupy údržby (špecifikácia chýb, diagnostiky, technických dokumentov, referenčných hodnôt, charakteristických parametrov objektu, atď.), zabezpečiť pracovníkov údržby - logistické podporné nástroje a zariadenia pre údržbu (dodanie nástrojov, podporných zariadení ako aj informačného systému). - náhradné diely na údržbu	Výstupné údaje / produkty - objekt v riadne fungujúcom stave.
Zúčastnené strany Vyplnenie zabezpečí organizácia s cieľom zodpovedať tieto otázky: - Kto realizuje konkrétny proces? - Kto je zákazníkom procesu?	Prepojenie s inými procesmi
Obmedzenia spojené s realizáciou procesu - Poskytnutie objektu na základe navrhovaného harmonogramu. - Bezpečné prostredie údržby. - Minimálny čas nepoužiteľného stavu objektu.	
Prvky definovania ukazovateľov súvisiacich s procesom - Skutočný čas aktívnej údržby na úlohu. - Odhadovaný čas údržby v porovnaní so skutočným časom údržby. - Skutočné logistické a administratívne oneskorenie na úlohu. - Skutočný čas nepoužiteľného stavu v dôsledku údržby na úlohu. - Neplánované výdavky po úlohách preventívnej údržby. - Opakované úlohy (nedostatočná kvalita údržby). - Skutočné vyjadrenie človekohodín na úlohu. - Zostávajúce úlohy korektívnej údržby na kritické objekty. - Úlohy čakajúce na dokončenie.	
Poznámky Používateľ musí dať objekt k dispozícii na údržbu na základe navrhnutého harmonogramu. Je potrebné zabezpečiť, aby objekty, ktoré sa po údržbárskej úlohe vrátia používateľovi, boli schopné vykonávať ich požadované funkcie.	

Zdroj: STN EN 17007:2020



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

2 Výsledky

Proces údržby je potrebné vopred naplánovať. Plánovanie údržby patrí k základným úlohám, ktoré umožňujú podnikom vytvárať systematické plány údržby. Špecifikované plány zahŕňajú preventívnu ako aj prediktívnu údržbu. Účelom preventívnej údržby je pravidelná minimalizácia porúch v zmysle konkrétneho časového harmonogramu. Pre potreby prediktívnej údržby sú využívané predpovedné metódy s identifikáciou potenciálnych problémov. Korektívna údržba sa zameriava na riešenie náhodných porúch. Plánovanie a realizácia údržby smeruje k efektívnejšiemu riadeniu aktivít údržby ako aj k minimalizácii porúch v rámci výrobného procesu (Malindžáková, 2022).

Na Obr. 1 je formát objednávky na údržbu. Pre tvorbu objednávky na údržbu je potrebné použiť transakciu IW31. V rámci tvorby objednávky je potrebné určiť zodpovednú osobu, špecifikovať zariadenie, ktoré potrebuje údržbu, nastaviť časový harmonogram údržby, vrátane termínov vykonania prác a stanoviť prioritu. Ďalšou časťou je zadať informácie o poruchách, nákladoch a type potrebnej údržby.

Súčasťou objednávky je špecifikácia príslušných operácií, ktoré sú súčasťou realizácie údržby. Jednotlivé operácie s konkrétnym popisom ako aj časovým trvaním operácií zobrazuje Obr. 2. Prostredníctvom IS SAP modul Logistika – Plant Maintenance je možné zobraziť potrebné operácie údržby, stanoviť predpokladaný čas realizácie údržby.

Vygenerovaný formulár výdajky predstavuje konkrétne komponenty pre potreby údržby. Tento formulár popisuje kľúčové aspekty výdajky:

1. kto bude vykonávať údržbu (smena A),
2. na ktorom pracovisku (PRA—OVI-SK-1 – prevádzka na montáž áut),
3. aké komponenty / diely sú potrebné pre údržbu.



Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

Obr. 1 Tvorba objednávky pre potreby údržby
Zdroj: autor

Q...	S...	Work cd	P...	C...	STe...	S	Operation short text	L.	Work	U.	N.	Dur.	U.	CkKey	Act...	Recipient
0010	BREICHAU	0001	PM01				Udržba Smena A		8 H	1		8 H		Calculate da...		
0020	BREICHAU	0001	PM01				Príprava zariadení na opravu		8 H	1		8 H		Calculate da...		
0030	BREICHAU	0001	PM01				Oprava linky A		8 H	1		8 H		Calculate da...		
0040	BREICHAU	0001	PM01				Testovanie linky A		12 H	1		12 H		Calculate da...		

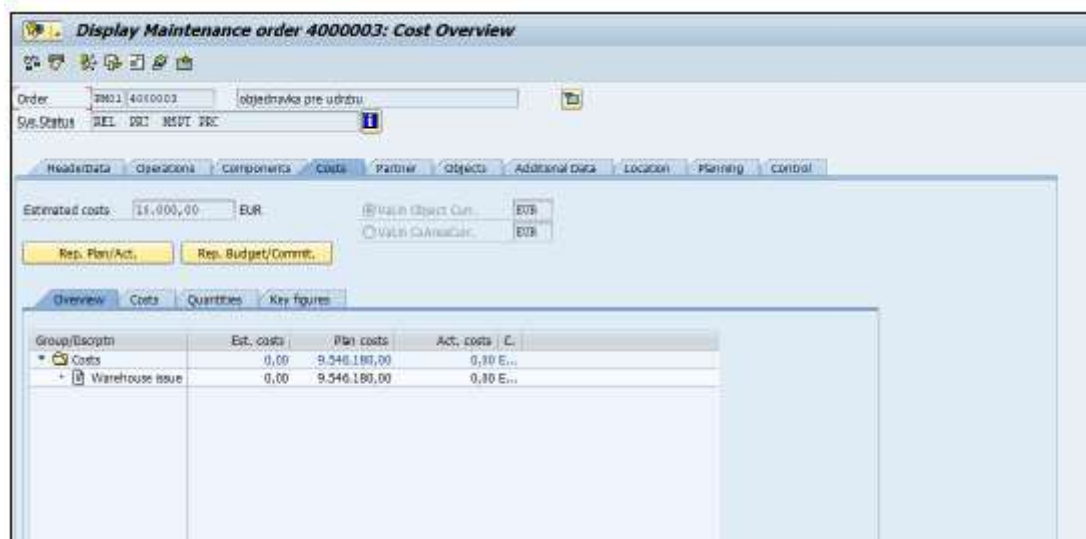
Obr. 2 Prehľad operácií v IS SAP
Zdroj: autor

Každá porucha, prestoj si vyžaduje vyčísliť predpokladané náklady na údržbu. Prostredníctvom transakcie IW33 je možné zobrazíť konkrétnu objednávku na údržbu spojenú s vyčíslením plánovaných nákladov na údržbu. Obr. 3 prezentuje zobrazenie nákladov na



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

údržbu pre objednávku s číslom 4000003, pre potreby efektívneho riadenia nákladov v organizácii.



Obr. 3 Prehľad nákladov na údržbu

Zdroj: autor

Pre zlepšenie činností údržby je dôležité implementovať elektronickú formu pracovného príkazu (Obr. 4). Tvorba pracovného príkazu zahŕňa prístup ku všetkým údajom (dátum, čas, dodávateľ, ako aj konkrétne miesto realizácie údržby), podrobnostiam a dôraz na oblasti zlepšenia a odstránenia porúch (chýb) v príslušnom procese. K pracovnému príkazu bude mať prístup iba zodpovedná osoba, ktorá vytvorí pracovný príkaz. Na základe pracovného príkazu konkrétny pracovník údržby vykoná predmetnú údržbu. Elektronická forma pracovného príkazu je prehľadná, ľahko čitateľná, identifikovateľná a vyhľadateľná.

Dôležitým dokumentom z realizácie údržby je evidovaný záznam z vykonania údržby (Obr. 4). Tento záznam obsahovať termín a časové trvanie údržby, popis čo bolo vykonané na stroji alebo zariadení, osobné číslo zamestnanca alebo priezvisko zamestnanca a podpis konkrétného zamestnanca údržby.



Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

28.03.2025 Job Ticket MALINDZAKOVA Copy 3 Page 1

Order	4000003	objednavka pre udrzbu	
Funct. location	PRA--OVI-SK-1	prevádzka na montáž áut	
Equipment			
Assembly			
PM planner grp	010	IH-Planer 010	PM plant 0001
Main work cnt	BREICHAU 0001	pracovisko udrzby smena A	
Vendor	STREDA	Phone 259198	
Address			
Dodavateľ	LAB		
dodavateľ pre prevodovku			
Slizna			
D-			
Operation	0010	Udrzba Smena A	
Status	PRT REL		
Work center	BREICHAU 0001	pracovisko udrzby smena A	
Control key	PM01	Confirmation number	9
Operation key		Milestone	
Funct. location			
Equipment			
Work	S H	Activity type	
Duration	S H	Number	1
Earliest start date	26.03.2025	Start time	00:00:00
Latest end date	26.03.2025	End time	08:00:00
Actual labor	0 H	Total float	0 H
Material	BRZDY B	500 ST	
	Zakladny komponent	pre montaz auta	
Purchase requisition		Formatting text	PRT REL
Reservation number	51	Plant / storage location	0001 /
Unloading point		Goods recipient	
Operation	0020	Priprava zariadeni na opravu	
Status	PRT REL		
Work center	BREICHAU 0001	pracovisko udrzby smena A	
Control key	PM01	Confirmation number	10
Operation key		Milestone	
Personnel number			Time required
Signature			

Obr. 4 Pracovný príkaz pre zamestnanca údržby
Zdroj: autor



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

3 Závery

Implementácia IS SAP podmodul Plant Maintenance prináša podnikom množstvo významných výhod, predovšetkým v oblasti efektívneho riadenia údržby a zvýšenia efektívnosti prevádzkových procesov. Účelom podmodulu Plant Maintenance je zabezpečiť systematické plánovanie, organizovanie, sledovanie ako aj vyhodnocovanie všetkých operácií (činností), ktoré súvisia s údržbou technických zariadení a infraštruktúry. Prostredníctvom aplikácie prediktívnej a preventívnej údržby je možné včas predvídať poruchy a predchádzať im, čo v konečnom dôsledku zníži pravdepodobnosť nepredvídaných výpadkov ako aj prestojov. Pozitívom IS SAP podmodul Plant Maintenance je prispieť k efektívnemu plánovaniu a sledovaniu operácií (činností) zameraných na údržbu s cieľom zvýšenia celkovej efektívnosti a spoľahlivosti strojov a zariadení v prevádzke / podniku.

Pod'akovanie

Tento článok vznikol s podporou projektu KEGA 020TUKE-4/2024 Adaptabilita vzdelávania so zameraním na strategickú podporu firiem pre zabezpečenie udržateľnej kvality procesov.

Literatúra

- Liebstückel, K. 2022. Business user guide. Plant maintenance with SAP ERP. 4th edition. Rheinwerk Publishin, Bonn, 689 p.
- Malindžáková, M. 2017. Plánovanie a logistika s podporou ERP systému. 1st edition. Technická Univerzita v Košiciach, Košice, 82 p.
- Malindžáková, M., Garaj, P., Trpčevská, J., Malindžák, D., 2022. Setting MRP parameters and optimizing the production planning process. *Processes*, 10(4), pp. 1-17.
- Marasová, D., Šaderová, J., Ambriško, L., 2020. Simulation of the use of the material handling equipment in the operation process. *Open Engineering*, 10(1), pp. 216-223.
- Norma STN EN ISO 9001:2016. Systémy manažérstva kvality. Požiadavky.
- Norma STN EN 17007:2020 Proces údržby a súvisiace ukazovatele.



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

Technicko – ekonomické hodnotenie manipulácie s materiálom

Darina Matisková^{1*}

¹ *Ústav priemyselného inžinierstva, Fakulta výrobných technológií so sídlom v Prešove,
Technická univerzita v Košiciach, Bayerova 1, 08001 Prešov, Slovenská republika,
e-mail: darina.matiskova@tuke.sk*

** Korešpondenčný autor*

Abstract:

The technical-economic evaluation of material handling is a systematic process aimed at assessing the efficiency, costs and technical suitability of a selected material handling method in production, warehousing, logistics or other areas. It is a key part of the design or optimization of production and logistics processes. The paper focuses on the technical side of the solution and therefore the suitability of the selected equipment and handling method in terms of the requirements of a specific operation. The economic evaluation focuses on the costs associated with handling, i.e. the direct and indirect costs of operating the handling system based on the selected criteria.

Key words:

material, handling, costs, efficiency, economic evaluation

Úvod

Manipulácia s prepravou sypkého materiálu a s ňou spojené náklady závisia od viacerých faktorov a to od vlastností samotného materiálu až po použitú dopravnú technológiu. V úvode príspevku uvádzame charakteristiku sypkých materiálov. Sypké materiály ako napr. uhlie, štrk, piesok, obilie, cement, pelety majú svoje špecifické vlastnosti: Nesúdržnosť a prašnosť tu môže byť potrebná špeciálna ochrana proti prašnosti. Sypká hmotnosť, ktorá výrazne ovplyvňuje výber dopravného prostriedku a náklady. Objemová nestálosť pri manipulácii ktorej môže dochádzať k stratám alebo zhutňovaniu. Uvedenou problematikou sa zaoberali viacerí autori, napr. 1. *Tovarovnalectvo a manipulácia s materiálom* – Klapita (2021) táto moderná vysokoškolská učebnica zameraná na technológiu manipulačných operácií v doprave (žiada sa železnica, cestná doprava), navrhovanie procesov a dopravné škody; 2. *Tovarovnalectvo a manipulácia s materiálom* – Kubasáková et al. (2016), ide o klasický titul so širšou orientáciou na manipulačné prostriedky v doprave a logistike, využívaný na fakulte PEDaS UNIZA; 3. *Manipulace s materiálom: systémy a prostředky manipulace s materiálom* – Bohumil Hlavenka (2000), ide o učebný textový materiál so zameraním na manipulačné systémy a prostriedky – základné rámce manipulácie; 4. *Logistika II: Logistika zdroj efektívnosti...* – Cibulka (2015) – prehľadová vysokoškolská učebnica integrujúca materiálové, informačné a finančné toky, procesnú efektívnosť a výkon; 5. *Logistika v praxi* – Bazala et al. (2008) obsahuje kapitoly ako "Skladovanie a manipulácia", "Vnútroštátna a medzinárodná preprava"



Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

či "Optimalizácia dopravy", je to výborný praktický prehľad v oblasti manipulácie a prepravných reťazcov; VEDECKÉ ČLÁNKY A AKTUÁLNE ŠTÚDIE 6. *Material Flow Optimization as a Tool for Improving Logistics Processes in the Company* – Camaj et al. (2025) štúdia zo Žilinskej univerzity, ktorá skúma optimalizáciu tokov materiálu v priemyselnom podniku, využíva analytické nástroje, modelovanie nákladov aj ROI analýzu; 7. *Selection Method for Warehouse Material Handling Strategy...* – Dobos et al. (2020) publikácia rieši výber manipulačnej stratégie pre skladovanie v závislosti od dopytového systému, so zameraním na logistickú konkurencieschopnosť; 8. *Doprava a manipulácia s materiálom v poľnohospodárstve* – Závodský & Ďuďák (2021) príspevok sumarizuje špecifiká manipulácie v poľnohospodárstve – sezónnosť, vlastnosti materiálov, interné toky; ŠPIČKOVÉ MEDZINÁRODNÉ ŠTÚDIE 9. *Large Scale Robotic Material Handling: Learning, Planning, and Control* – Spinelli et al. (2025) štúdia z oblasti automatizácie manipulácie veľkých objemov materiálu pomocou robotických manipulátorov a reinforcement learningu; 10. *A Survey on Performance Analysis of Warehouse Carousel Systems* – Litvak & Vlasiou (2014) prehľad výkonnosti cirkulárnych skladových systémov (karusely), užitočný pre pochopenie efektívnosti skladových mechanizmov.

1 Metódy a metodika

Technické hodnotenie je zamerané na technickú stránku riešenia, teda vhodnosť zvoleného zariadenia a spôsobu manipulácie z hľadiska požiadaviek prevádzky (Kubasáková et al., 2016). Metódou kritickej cesty boli navrhnuté tieto kritériá technického hodnotenia:

- Typ manipulovaného materiálu (hmotnosť, objem, tvar, krehkosť, toxicita)
- Vzdialenosť a trasa manipulácie
- Frekvencia a rýchlosť manipulácie
- Dostupná infraštruktúra (šírka ciest, výška stropu, prístupové body)
- Bezpečnosť práce
- Ergonómia pre pracovníkov
- Flexibilita systému (možnosť prispôbenia zmenám výroby)
- Spoľahlivosť a údržba zariadení

Ekonomické hodnotenie je zamerané na náklady spojené s manipuláciou, teda priame aj nepriame náklady na prevádzku systému manipulácie (Klapita, 2021). Kritériá ekonomického hodnotenia:

- Investičné náklady – nákup zariadení, inštalácia, zaškolenie obsluhy
- Prevádzkové náklady – energia, mzdy obsluhy, údržba, opravy
- Náklady na priestory – potrebná plocha, skladové priestory
- Čas manipulácie – ovplyvňuje priebeh výroby, produktivitu a efektivitu
- Životnosť zariadenia a amortizácia
- Návratnosť investície (ROI)



Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

- Celkové náklady na vlastníctvo (TCO)

Výsledkom je porovnanie alternatív a výber najvhodnejšej technológie manipulácie, napr.:

- Ručná manipulácia
- Manipulácia pomocou vozíkov (VZV, paletové vozíky)
- Automatizované dopravníky
- Robotizované manipulátory
- AGV (Automated Guided Vehicles)

Záver technicko-ekonomického hodnotenia z teoretického hľadiska obsahuje:

- Odporúčané riešenie s odôvodnením
- Očakávané prínosy (napr. skrátenie času, zníženie nákladov, zvýšenie bezpečnosti)
- Potenciálne riziká a návrhy na ich elimináciu
- Návrh harmonogramu implementácie



Obr. 1 Nákladná lokomotíva

Zdroj:

<https://pixabay.com/sk/images/search/n%C3%A1kladn%C3%A1%20lokomot%C3%ADva/>

1.1 Prípadová štúdia

Uvedená problematika nákladov na manipuláciu bola riešená na konkrétnom probléme formou prípadovej štúdie, kde je uvedený konkrétny výpočet pre 100 t štrku na 50 km prepravy



Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

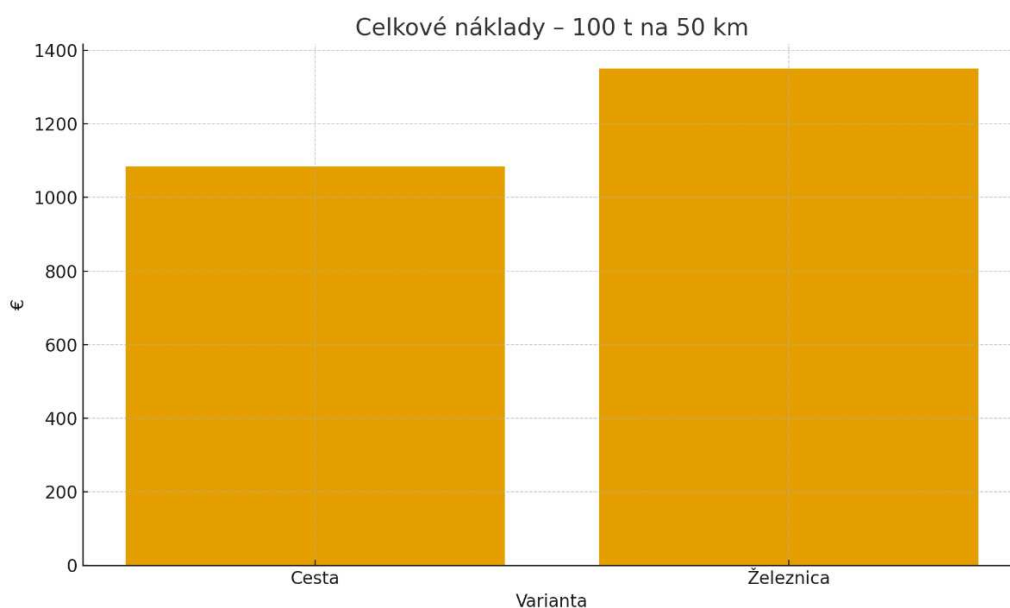
Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

a porovnanie cestnej dopravy a železnice (Obr. 1). Vypočítané sú orientačné náklady s bežnými trhovými predpokladmi a grafické znázornenie.

2. Výsledky

I. Variant

- Počet jazd (cesta): 4
- Spolu náklady: cesta = 1 084,67 €, železnica = 1 350,00 €
- Jednotkové náklady: cesta = 10,85 €/t (= 0,217 €/t/km), železnica = 13,50 €/t (= 0,270 €/t/km)
- Bod zvratu: približne pri 68,5 km jednosmerne začína byť železnica konkurencieschopná (pri vyšších vzdialenostiach a rovnakých vstupoch).



Obr. 2 Grafické znázornenie nákladov na dve varianty riešenia nákladov na dopravu
Zdroj: autor

V rámci prípadovej štúdie boli prepočítané a porovnané údaje pre 500 t štrku na 50 km (Obr. 2 a 3) s upravenými nákladmi, kde patria napríklad vyššie ceny paliva/mýta, väčšia nosnosť kamiónov, dlhší čas nakládky/vykládky aj terminálové zľavy pri železnici.



Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment
Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení



Obr. 3 Grafické znázornenie nákladov na dve varianty riešenia nákladov na dopravu
Zdroj: autor

Upravené náklady použité v kalkulácii

- Objem: 500 t
- Vzdialenosť: 50 km (jednosmerne, počítame tam a späť pre kamióny)
- Kamión: 30 t náklad
- Náklady kamióna: 2,6 €/km (palivo, vodič, mýto, amortizácia)
- Čas nakládky/vykládky: 20 min / 15 min
- Manipulačná technika: 80 €/h
- Rezerva na čakanie: 12 %
- Železnica: 0,04 €/t/km, 6 €/t terminál (nakládka a vykládka), posun/vozne 600 € paušál

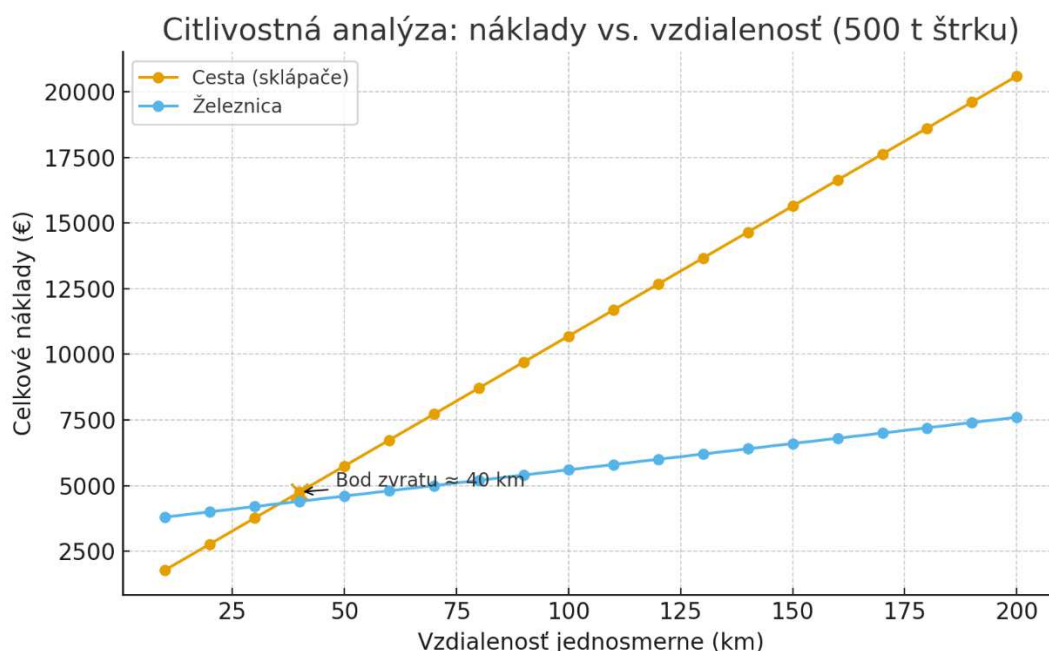
II. Variant

- Počet jász (cesta): 17
- Celkové náklady: Cesta = 5 743,73 €, Železnica = 4 600,00 €
- Jednotkové náklady: Cesta = 11,49 €/t, Železnica = 9,20 €/t
- Bod zvratu vzdialenosť: = 35,5 km, pri dlhších trasách už sa oplatí železnica.

Na konkrétne porovnanie bola urobená analýza citlivosti pre 500 t štrku (Obr. 4) pri vzdialenostiach 10–200 km (kroky po 10 km) s rovnakými upravenými predpokladmi ako predtým.

Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení



Obr. 4 Analýza citlivosti pre náklad v závislosti od vzdialenosti a celkových nákladov
Zdroj: autor

Boli vypočítané celkové náklady pre obe varianty (cesta - železnica) pre každú vzdialenosť 10, 20, ..., 200 km. Nakreslený bol graf nákladov a vzdialenosti a označený približný bod zvratu.

Na základe uvedeného boli zistené kľúčové výsledky a to:

- Bod zvratu = 40 km (približný): pri vzdialenostiach kratších než je 40 km je lacnejšia cesta (sklápači); pri dlhších vzdialenostiach sa oplatí železnica.
- Pri 50 km (ako predtým): Železnica je lacnejšia teda 4 600 € a 5 744 € pre cestu.
- Železničné náklady rastú pomalšie s dĺžkou (variabilné náklady sú výrazne nižšie v €/t/km), zatiaľ čo pri ceste dominujú variabilné náklady na km vzdialenosti a preto rastú strmo.

Vzhľadom na vyššie uvedené je zrejmé, že ceny dopravy rastú v hlavne v dôsledku nedostatku kapacít. Vzhľadom na neustále znižovanie kapacity pri zachovaní vysokého objemu prepravy bude prebiehať boj o kapacitu a za krátkodobú prepravu bude potrebné ponúknuť vyššie ceny. To je obzvlášť nepríjemné pre dopravné spoločnosti, ktoré majú uzavreté dlhodobé zmluvy za aktuálne ceny. Aj keď v dôsledku sezónnych výkyvov bude dochádzať k miernejším cenovým fázam, celková úroveň bude a zostane vyššia ako v predchádzajúcich rokoch (Cibulka, 2015).

Pre porovnanie, ak sa v roku 2025 zvýši dopyt po nákladných priestoroch v dôsledku mierneho hospodárskeho rastu, pretrvávajúci nedostatok nákladných priestorov a s ním spojené vysoké



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

ceny by mohli oživenia rýchlo zničiť. Tovar, ktorý sa nedostane k zákazníkovi, nie je možné fakturovať (Spinelli et al., 2025). Zabezpečenie kapacity prostredníctvom dobrého zaobchádzania s poskytovateľmi služieb v doprave je naďalej príkazom dňa. Posun od trhu ovládaného kupujúcimi k trhu ovládanému predávajúcimi je čoraz zreteľnejší.

3. Závery

Manipulácia s materiálom predstavuje najširšiu oblasť logistických činností, ktorá zahŕňa všetky operácie, a ktoré súvisia s prepravou a premiestňovaním materiálu. Vo výrobe je to napr. príjem materiálu, rôzne technologické operácie a expedícia materiálu. Do manipulácie s materiálom patria aj činnosti súvisiace so skladovaním, ukladaním, balením ale aj paletizáciou materiálu. Každá manipulácia s materiálom vyžaduje určité náklady spojené s týmito činnosťami a preto je vždy potrebné zamerať sa na znižovanie resp. minimalizáciu nákladov. Jedná sa najmä o znižovanie dopravných vzdialeností, minimalizáciu zásob, zvýšenie stupňa mechanických a skladovacích operácií. A pri optimalizácii materiálových tokov a činností spojených s manipuláciou materiálom je možné dosiahnuť pomerne významné finančné úspory.

Pod'akovanie

Tento príspevok vznikol vďaka podpore projektu VEGA 1/0704/22.

Literatúra

- Bazala, J., et al., 2008. Logistika v praxi. Verlag Dashöfer, Bratislava.
- Camaj, M., Bulková, J., Gašparík, M., 2025. Material flow optimization as a tool for improving logistics processes in the company. *Applied Sciences*, 15(6), 3116.
- Cibulka, V., 2015. Logistika II: Logistika zdroj efektívnosti. FŠT TnUAD, Trenčín.
- Dobos, P., Tamás, P., Illés, B., 2020. Selection method for warehouse material handling strategy supported by optimized running of demand - driven storage system. *Transport & Logistics: the International Journal*, 20(48), pp. 24-33.
- Hlavenka, B., 2000. Manipulace s materiálem: systémy a prostředky manipulace s materiálem. CERM, Brno.
- Klapita, V., 2021. Tovarožnalectvo a manipulácia s materiálom. Žilinská univerzita, Žilina.
- Kubasáková, G., Gogola, M., Jagelčák, J., Sosedová, J., Šulgan, P., 2016. Tovarožnalectvo a manipulácia s materiálom. Žilinská univerzita, Žilina.
- Litvak, N., Vlasiou, M., 2008. A survey on performance analysis of warehouse carousel systems. *Memorandum Department of Applied Mathematics*, 1864, pp. 1-29.



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

Sinelli, M. et al., 2025. *Large scale robotic material handling: learning, planning, and control*. [online] Available at: <<https://arxiv.org/abs/2508.09003>> [Accessed 20 Aug. 2025].

Zavodský, L., Ďuďák, J., 2021. Doprava a manipulácia s materiálom v poľnohospodárstve. *Rolnícke noviny*. [online] Available at: <<https://rno.sk/doprava-a-manipulacia-s-materialom-v-polnohospodarstve/>> [Accessed 18 Aug. 2025].



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

**Návrh pohonu s ohľadom na zníženie vibrácií
potrubného dopravníka**

Marek Moravič^{1*}

¹ Ústav logistiky a dopravy, Fakulta baníctva, ekológie, riadenia a geotechnológií, Technická univerzita v Košiciach, Park Komenského 14, 04200 Košice, e-mail: marek.moravic@tuke.sk

* Korešpondenčný autor

Abstract:

This study analyzes the choice of drive unit for a pipe conveyor in terms of its impact on reliability, maintenance, and performance. It compares the connection of the drive drum shaft to a gearbox and an indirect connection by an intermediate member in the form of a belt drive, taking into account their advantages and disadvantages in various applications. It evaluates that the memory drive can effectively dampen vibrations, which is especially important in the operation of conveyor belts, where vibrations are frequent and can cause the need and breakdowns. In addition, belt drives simply require less regular maintenance and can improve the reliability of the entire system. Based on this issue, the selection of the optimal drive unit for the selected application is presented.

Key words:

pipe conveyor, vibrations, belt drive, drive unit

Úvod

V posledných rokoch patria pásové dopravníky k najrozšírenejším dopravným prostriedkom v rôznych priemyselných odvetviach. Vďaka tomu sa veľmi rýchlo rozvíjajú po stránke konštrukčnej (najmä s ohľadom na ich výkonnosť) a nachádzajú možnosti použitia v najrôznejších prevádzkových podmienkach, najmä v kontinuálnej doprave hromadných materiálov. Výhody pásových dopravníkov v porovnaní s inými dopravnými prostriedkami, najmä čo sa týka výkonnosti, hospodárnosti prevádzky a údržby, sú stále väčšie (Marasová et al., 2006).

V súčasnosti sa zvyšuje dôraz na minimalizáciu vibrácií a hluku vyvolaných prevádzkou strojov a zariadení, pretože tieto faktory predstavujú potenciálny environmentálny a bezpečnostný problém. Vibrácie môžu negatívne ovplyvniť funkčnosť mechanických systémov a bezpečnosť prevádzky tým, že znižujú ich spoľahlivosť a životnosť. Existuje viacero faktorov, ktoré prispievajú k vzniku vibrácií v konštrukčných častiach strojov, vrátane nevyváženosti, nesúosovosti, mechanického opotrebenia uložení, rezonancie konštrukcie, ohnutých hriadeľov a nadmerného opotrebenia ložísk (Moravič, 2018).



Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

1 Metódy a metodika

1.1 Potrubný dopravník a jeho základné konštrukčné prvky

Potrubný dopravník má podobné základné prvky ako klasický pásový dopravník. Líši sa len v stavbe nosnej konštrukcie a tvare valčekovej stolice, ktorá u klasických pásových dopravníkov formuje dopravný pás do tvaru korýtka, pričom u potrubných prstencová valčeková stolica formuje dopravný pás do tvaru potrubia (Marasová et al., 2002).

K základným konštrukčným prvkom potrubného dopravníka patrí:

- nosná konštrukcia, ktorá je tvorená kovovou konštrukciou a nosnými doskami, na ktorých sú pripevnené prstencové valčekové stolice,
- horná vetva dopravného pásu, ktorá nesie materiál a je stále plná,
- dolná vetva dopravného pásu je vo väčšine prípadov prázdna, ale môže byť pri použití slučky využitá tiež na prepravu materiálu,
- prstencová valčeková stolica, najčastejšie je tvorená šiestimi valčekmi usporiadanými tvaru prstenca, pričom na jednej strane nosnej dosky sú tri valčeky a na druhej strane nosnej dosky sú tiež tri valčeky, aby sa zabránilo otváraniu dopravného pásu v mieste prekrytia okrajov pásu,
- potrubný dopravník vyžaduje špeciálne pásy, ktoré musia spĺňať náročné prevádzkové požiadavky. Tieto potrubné dopravníky musia mať flexibilný pás, ktorý umožňuje vytvoriť oblúky malého polomeru, musia byť schopné vytvoriť uzavreté potrubie pomocou prstencových valčekových stolíc a musia byť odolné voči teplu a treniu s valčekmi,
- pohonná stanica tvorená elektromotorom, spojkami, prevodovkou a hnacím bubnom,
- vratnú stanicu tvorí napínacie zariadenie a hnaný bubon,
- prídavné zariadenia ako čističe, násypky, výsypky, sklzy, pásové váhy, odlučovače železa a iné (Marasová et al., 2006).

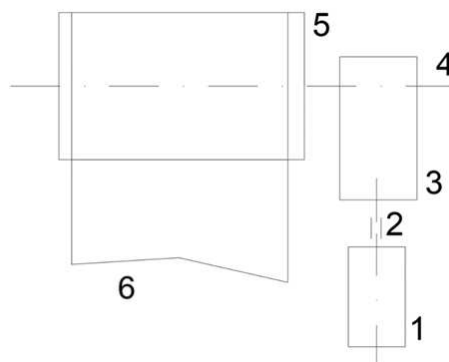
1.2 Pohon potrubného dopravníka

Účelom pohonu je vytváranie ťažnej sily na hnacom bubne s cieľom zabezpečiť určitú rýchlosť pásu s prepravovaným nákladom, a to v okamihu spustenia dopravníka a aj v stacionárnom režime. Najspoľahlivejší a konštrukčne najjednoduchší pre pásové dopravníky všeobecného použitia a najmä pre chemický a potravinársky priemysel je pohon pásového dopravníka s jedným bubnom.

Pohon pásového dopravníka (Obr. 1) pozostáva z elektromotora, prevodovky, pohonného bubna a pružných spojok. Pás je poháňaný trením medzi ním a pohonným bubnom. Bežne je pohon inštalovaný na nosnej konštrukcii dopravníka (Marasová et al., 2006).

Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení



Obr. 1 Schéma pohonu pásového dopravníka: 1 – elektromotor, 2 – spojka, 3 – prevodovka, 4 – hriadel' hnacieho bubna, 5 – hnací bubon, 6 – dopravný pás
Zdroj: autor

2 Výsledky

2.1 Vstupné dáta potrubného dopravníka

Výkon potrubného dopravníka závisí od celkového pohybového odporu. Celkový pohybový odpor F_U (udávaný v N) hornej a dolnej vetvy potrubného dopravníka sa stanovuje na základe výpočtu parciálnych odporov, pričom platí:

$$F_U = F_H + F_V + F_P, \quad (1)$$

kde:

F_H – hlavné odpory,

F_V – vedľajšie odpory,

F_P – prídavné odpory.

Potrebný prevádzkový výkon P_A (udávaný v kW) na hnacom bubne potrubného dopravníka:

$$P_A = \frac{F_U \cdot v}{1000}, \quad (2)$$

kde:

v – rýchlosť dopravného pásu [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$].

Zo vstupných hodnôt a použitím metodiky podľa autorov Ambriško a Marasová (2023) a Marasová et al. (2002) je výsledkom Tab. 1.



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

Tab. 1 Vypočítané jednotlivé odpory a prevádzkový výkon

Veličina	Hodnota
F_H [N]	542,66
F_V [N]	2253,53
F_P [N]	0
F_U [N]	2796,19
P_A [kW]	3,36

Zdroj: autor

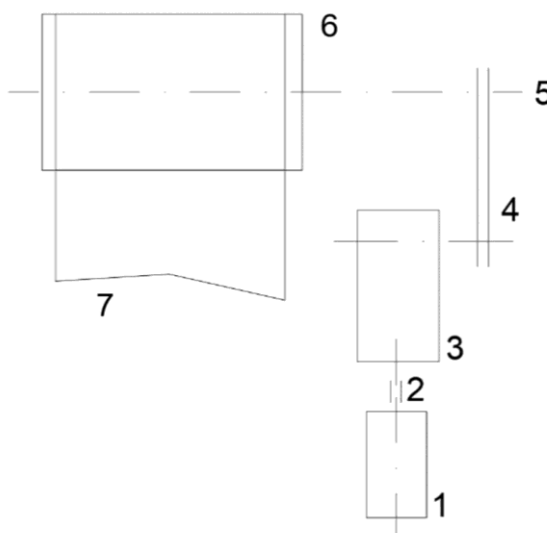
2.2 Voľba vhodnej poháňacej jednotky

Na Obr. 1 je pohľad na súčasný stav pohonu testovacieho modelu experimentálnej linky potrubného dopravníka. Pohonnú jednotku dopravníka tvorí elektromotor s výkonom $P = 1,1$ kW, prevodovka s prevodovým pomerom $i = 40$ a napojenie priamo na hriadeľ hnacieho bubna. Pri porovnaní výkonu použitého elektromotora s vypočítaným potrebným výkonom pre experimentálnu linku sme zistili, že je nepostačujúci, čo je jednou z hlavných príčin návrhu nového pohonu. Výber elektromotora sme urobili z katalógu výrobcu CHIARAVALLI, pretože máme dobré skúsenosti pri testovaní súčasného stavu potrubného dopravníka. Podľa vypočítanej hodnoty prevádzkového výkonu P_A sme zvolili pre nový pohon elektromotor CHT 112 M4/B14 s výkonom $P = 4$ kW a s počtom otáčok $n = 1400 \text{ min}^{-1}$ a prevodovku CHO82 112B5/B14 s prevodovým pomerom $i = 40$.

Ďalším bodom návrhu nového pohonu je pridanie pružného elementu medzi hriadeľom prevodovky a hnacím bubnom. Ako pružný element sme sa rozhodli použiť remeňový prevod, pomocou ktorého taktiež aj prispôbíme prevodový pomer pohonu tak, aby vyhovoval požadovanej rýchlosti pásu. Pre našu pohonnú jednotku sme zvolili sústavu klinových remeňov typu VB (DIN 2215) tvorenú v počte 5 kusov s rozmermi 10 x 1900 od výrobcu Optibelt. Vo výsledku máme novú schému návrhu pohonu, ktorú znázorňuje Obr. 2.

Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení



Obr. 2 Schéma nového riešenia pohonu potrubného dopravníka:

1 – elektromotor, 2 – spojka, 3 – prevodovka, 4 – remeňový prevod, 5 – hriadeľ hnacieho bubna, 6 – hnací bubon, 7 – dopravný pás

Zdroj: autor

3 Závery

Najprv sme prepočítali potrebný výkon potrubného dopravníka na zabezpečenie jeho správneho chodu. Zistili sme, že požadovaný výkon je výrazne odlišný od výkonu pôvodnej poháňacej jednotky. Výkon pôvodnej jednotky bol 1,1 kW, zatiaľ čo vypočítaný výkon bol 3,36 kW. Tento rozdiel viedol k rozhodnutiu o výbere nového elektromotora s nominálnym výkonom 4 kW a typovo rovnakej prevodovky. Ďalším bodom návrhu novej pohonnej jednotky bolo odstránenie vibrácií, nesúosovosti spojenia hriadeľov. Pri rozhodovaní sa medzi rôznymi typmi prevodových jednotiek bolo nevyhnutné zvážiť ich výhody a nevýhody vzhľadom na konkrétne požiadavky a podmienky aplikácie. V našom prípade sme sa rozhodli použiť remeňový prevod. Remeňový prevod nám ponúka schopnosť efektívne tlmiť vibrácie. Tento faktor je kľúčový, najmä pri prevádzke pásového dopravníka, kde sú vibrácie bežné a môžu viesť k väčšiemu opotrebeniu a poruchám stroja. Redukcia vibrácií v pohone dopravníka má pozitívny vplyv nielen na samotný pohon, ale aj na ostatné súčasti a zariadenia v okolí. Potlačenie vibrácií znamená menšie namáhanie konštrukčných spojov a ložísk, čo vedie ku predĺženiu ich životnosti a tým zníženiu počtu porúch. Okrem toho, remeňový prevod je jednoduchší na údržbu v porovnaní s inými systémami pohonu. Má tendenciu menšieho opotrebenia a vyžaduje menej pravidelných údržbových zásahov. Z praxe môžeme povedať, že remeňový prevod dovoľuje ušetriť čas a náklady na údržbu, a zároveň znížiť riziko neplánovaných výpadkov v prevádzke. Nasledovalo prispôbenie prevodového pomeru remeňového prevodu ku požiadavke na rýchlosť dopravného pásu. A to tak, že vo výsledku máme remeňový prevod dorýchla, čo nie je bežným zvykom, ale vyhovuje to našim



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

požiadavkám. Kebyže vznikla potreba zmeniť prevodový pomer, dá sa to ľahko a lacno zrealizovať výmenou remení. A keďže zoberieme do úvahy ten fakt, že na ovládanie elektromotora používame frekvenčný menič, tak potom dosiahnutie nižšej rýchlosti pasu vieme zrealizovať len zmenou nastavenia frekvenčného meniča, čím taktiež vieme dosiahnuť šetrnejšiu prevádzku celého mechanizmu. Vo výsledku máme nový pohon, ktorý dokáže vyprodukovať požadovaný výkon pre potrubný dopravník experimentálnej linky a eliminovať vznikajúce vibrácie.

V ďalšej fáze návrhu bude zrealizovaný podrobný dynamický výpočet. Tiež sa zameriame na meranie vibrácií kvôli komparácii s pôvodnou konfiguráciou. Na niektorých miestach pri pôvodnej konfigurácii pohonu už prebehlo meranie vibrácií, ako je uvedené v článku Moravič a Kubala (2024).

Pod'akovanie

Tento článok bol podporený projektmi APVV-18-0248, APVV SK-PL-23-0052, VEGA 1/0728/24.

Literatúra

- Ambriško, Ľ., Marasová, D., 2023. Metódy, experimentálny výskum a hodnotenie kvality dopravných pásov. Vysoká škola báňská, Ostrava.
- Marasová, D., Fedorko, G., Molnár, V., 2002. Hadicový dopravník a výpočet jeho základných parametrov. *Acta Montanistica Slovaca*, 7(2), s. 101-107.
- Marasová, D., Taraba, V., Fedorko, G., Brindzár, P., Husaková, N., 2006. Pásová doprava. Technická univerzita v Košiciach, Košice.
- Moravič, M., 2018. Ovládanie nebezpečných vibrácií pohonu mechanických sústav. Dizertačná práca. Technická univerzita v Košiciach, Košice.
- Moravič, M., Kubala, D., 2024. Možnosti monitorovania vibrácií potrubného dopravníka. *Spravodaj ATD SR*, 21(2), s. 2-7.



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

**Simulácia prepravy paliet pomocou AGV v softvéri
TaraVRbuilder**

Patrícia Muchová^{1*}

¹ Ústav logistiky a dopravy, Fakulta baníctva, ekológie, riadenia a geotechnológií, Technická univerzita v Košiciach, Park Komenského 14, 042 00 Košice, e-mail:
patricia.muchova@tuke.sk

* Korešpondenčný autor

Abstract:

AGV systems represent an efficient element of intralogistics automation, enabling the optimization of material flows and the reduction of operational costs. As part of the research, a simulation of pallet transport using automated guided vehicles (AGVs) was carried out in the TaraVRbuilder software. The paper focuses on comparing the quantity and flow intensity of pallets transported by an automated guided vehicle and a forklift when handling four types of pallets in a warehouse environment. The aim of the work was to create a simulation model of the logistics process that illustrates the movement of pallets between warehouse zones. Based on the simulation, the quantity of transported pallets and the flow intensity of pallets over a 12-minute time interval were analyzed. Experiments were conducted and evaluated based on the average values obtained during the simulation. The results show that the forklift achieved higher values in both monitored parameters in all cases, confirming its greater efficiency and flexibility in the compared experiments. Despite its lower performance, the AGV represents a promising solution for intralogistics automation, especially in environments with safety requirements. The research confirms that the use of AGVs and simulation tools enables the efficient design and testing of logistics solutions before their implementation in real operations. This approach contributes to increasing the productivity of modern warehouse systems.

Key words:

simulation, AGV, TaraVRbuilder, pallet transport, warehouse logistics

Úvod

V súčasnosti dochádza k dynamickému rozvoju konceptov a technológií Logistiky 4.0 a Priemyslu 4.0, čo vedie k rastúcemu dopytu po automatizovaných a robotických riešeniach pri realizácii rôznych skladových procesov (Vis, 2006). Rastúce požiadavky na efektívnosť a flexibilitu v rámci dodávateľského reťazca, vrátane skladových operácií, podnietili výskum orientovaný na zlepšovanie logistických postupov a stratégií (Smith et al., 2019). V tejto súvislosti sa automaticky riadené vozidlá (AGV) často využívajú ako súčasť efektívneho a flexibilného systému vnútropodnikovej dopravy (Sigal et al., 2009) (Lothar et al., 2007). AGV boli po prvýkrát úspešne vyvinuté a uvedené do praxe v roku 1955 americkou spoločnosťou



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

Basrrett Electric Company (XiuFen et al., 2014). AGV zvyšujú efektívnosť a znižujú náklady tým, že prispievajú k automatizácii výrobných prevádzok alebo skladov (Sabattini et al., 2013).

Simulácia je často využívaným nástrojom na posudzovanie výkonnosti skladov. Proces tvorby simulačného modelu však môže byť mimoriadne časovo náročný, predovšetkým preto, že jeho základom je detailný návrh usporiadania skladu, ktorý slúži ako východiskový bod pre jeho vývoj (Jacques et al., 2013). Nasadenie dynamickej simulácie do skladovej prevádzky umožňuje riadenie a optimalizáciu logistických procesov v skladovom riadení. Simulačný model je však len podporným nástrojom pri rozhodovaní o ďalších krokoch, ktoré môžu súvisieť so zlepšením logistiky alebo potrebami plánovania (Bučková et al., 2019). Simulačný model prezentovaný v príspevku bol vytvorený v softvérovom nástroji Tara VRbuilder, ktorý slúži na jednoduché vytváranie virtuálnych výrobných a logistických systémov, ako aj na 3D vizualizáciu logistických priestorov. Cieľom tohto príspevku bolo vytvorenie simulačného modelu, ktorý napodobňuje reálnu prevádzku skladu, vykonať experimenty a porovnať výsledky experimentov zameraných na simuláciu prepravy paliet pomocou automaticky riadených vozidiel (AGV).

1 Metódy a metodika

Automaticky riadené vozidlo (AGV) je bezobslužný dopravný prostriedok určený na horizontálnu prepravu materiálu (Müller, 1983). AGV sa najčastejšie používajú v priemyselných aplikáciách na premiestňovanie materiálov po výrobné hale alebo v sklade (Yasuda et al., 2025). AGV sa môžu používať vo vnútornom aj vonkajšom prostredí, ako sú oblasti výroby, distribúcie, prekládky a prepravy. Vo výrobných oblastiach sa AGV používajú na prepravu všetkých druhov materiálov súvisiacich s výrobným procesom (Vis, 2006). Podľa autora Göttinga sa v odvetví priemyslu využíva viac ako 20 000 AGV, pričom ich používanie sa oplatí v prostredí s opakujúcimi sa prepravnými procesmi, napr. sklady a cross-dockingové centrá. V týchto oblastiach sa používajú na vnútornú prepravu, napríklad paliet medzi rôznymi oddeleniami, ako sú oblasti príjmu, skladovania, triedenia a expedície (Götting, 2000). Metódy počítačovej simulácie sú veľmi užitočné pri výbere optimálneho riešenia dopravného systému pozostávajúceho z AGV. Simulačné testy na správne navrhnutom modeli systému sú oveľa lacnejšie a bezpečnejšie ako testy vykonávané v reálnych podmienkach. Najčastejšie sa simulácie dopravných procesov vykonávajú na virtuálnej mape skladu alebo výrobného závodu, pričom model odráža skutočný pohyb v sklade alebo výrobnom prostredí. Simulácie umožňujú používateľovi v reálnom čase sledovať zmeny vstupov a výstupov systému, čo dáva možnosť optimalizovať systém AGV z hľadiska aktuálnych a budúcich potrieb (Dobrzanska et al., 2021).

Pri navrhnutí simulácii sú automaticky riadené vozidlá (AGV) využívané na presun paliet medzi jednotlivými skladovými uzlami, pričom ich prevádzka je riadená prostredníctvom softvéru Tara VRbuilder. Pre vytvorenie realistického modelu bola simulácia navrhnutá tak, aby verifikovala pohyb AGV pri manipulácii s paletami v sklade. V rámci návrhu experimentov sa príspevok zameriava na porovnanie využitia automaticky riadeného vozidla (AGV) s

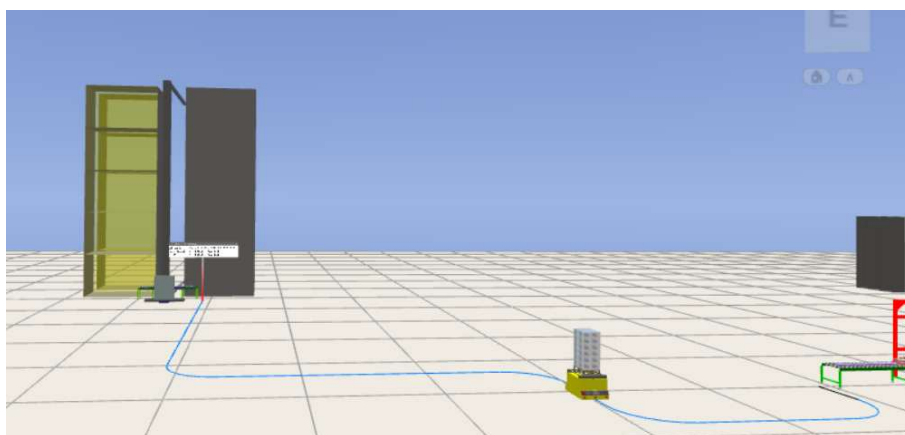
Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

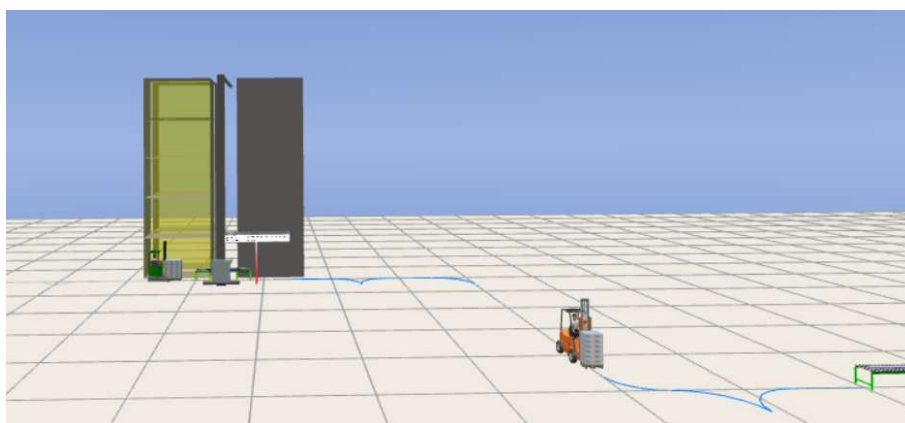
vysokozdvížnym vozíkom prepravy paliet z vnútorného skladu na baliacu linku. Simulované boli 4 typy paliet:

- paleta 800x600 s nákladom,
- Euro paleta 1200x800 s nákladom,
- paleta 1000x800 s nákladom,
- paleta so sudmi.

Na porovnanie výkonu boli navrhnuté dva experimentálne scenáre – jeden s využitím AGV a druhý s využitím vysokozdvížného vozíka, v ktorých sú sledované kľúčové parametre, ako množstvo prepravených paliet (quantity) a intenzita prepravy (rate). Obr. 1 a 2 znázorňujú príslušné simulačné prostredia vytvorené v softvéri TaraVRbuilder.



Obr. 1 Simulačné prostredie s nasadením AGV na prepravu paliet
Zdroj: autor



Obr. 2 Simulačné prostredie s nasadením vysokozdvížného vozíka na prepravu paliet
Zdroj: autor

Pre simuláciu boli nastavené rovnaké prevádzkové podmienky. Automaticky riadené vozidlo sa pohybovalo rýchlosťou 2,28 m/s pri preprave s nákladom a 3,61 m/s pri presune bez nákladu. Vysokozdvížný vozík dosahoval rovnakú rýchlosť s nákladom a bez nákladu. Tieto



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

hodnoty boli použité na zabezpečenie realistického priebehu simulácie a umožnili objektívne porovnanie výkonnosti oboch dopravných prostriedkov.

2 Výsledky

Na základe postupov opísaných v metodike boli realizované dva experimenty – prvý využívajúci automaticky riadené vozidlo a druhý využívajúci vysokozdvížný vozík. Simulované boli presuny štyroch typov paliet z vnútorného skladu na baliacu linku. Počas simulácií boli zaznamenávané hodnoty kľúčových parametrov v časových intervaloch 10 sekúnd, v celkovom trvaní 12 minút. Z nameraných hodnôt boli následne vypočítané priemerné hodnoty, ktoré slúžia ako základ pre porovnanie výkonnosti oboch riešení.

2.1 Experiment 1

V prvom experimente bola simulovaná prevádzka automaticky riadeného vozidla, ktoré zabezpečovalo presun štyroch typov paliet z vnútorného skladu na baliacu linku. Simulácia prebiehala počas 12 minút, pričom údaje boli zaznamenávané v 10-sekundových intervaloch. Na základe nameraných údajov boli vypočítané priemerné hodnoty sledovaných parametrov – množstva prepravených paliet (Quantity) a intenzity prepravy (Rate). Tieto hodnoty sú uvedené v Tab. 1.

Tab. 1 Priemerné hodnoty množstva a intenzity prietoku paliet (Experiment 1)

Druh palety	Množstvo prepravených paliet	Intenzita prietoku paliet [%]
Paleta 800×600 s nákladom	25	13,27
Euro paleta 1200×800 s nákladom	13	12,89
Paleta 1000×800 s nákladom	25	11,95
Paleta so sudmi	25	12,51

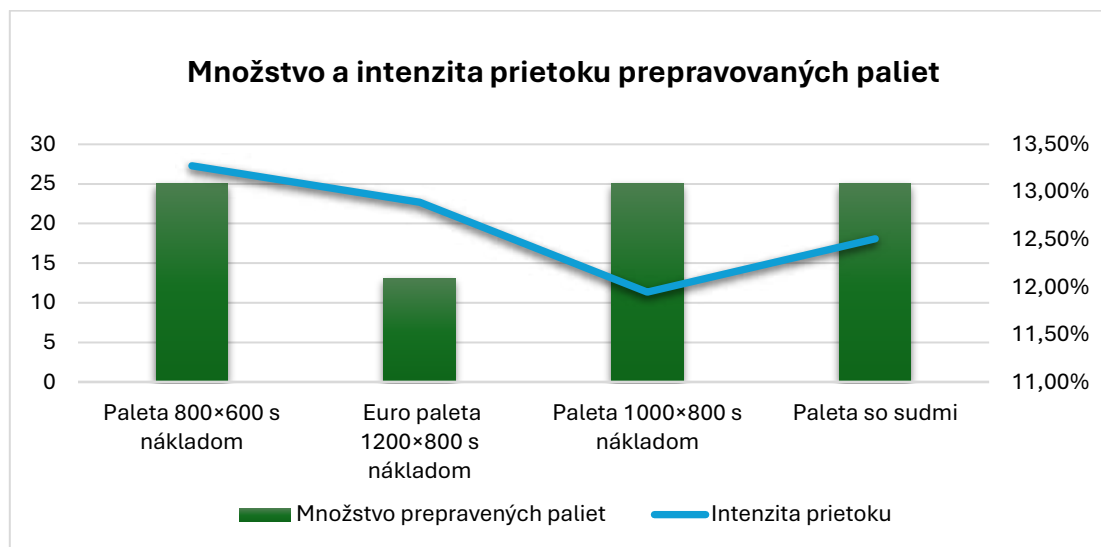
Zdroj: autor

Z výsledkov uvedených v Tab. 1 vyplýva, že AGV prepravilo najväčší počet paliet typu 800×600 s nákladom a palety so sudmi, pričom tieto palety dosiahli aj najvyššie hodnoty intenzity prietoku, konkrétne 13,27 % a 12,51 %. Naopak, Euro paleta 1200×800 s nákladom vykázala najnižšie množstvo prepravovaných paliet, hoci jej intenzita prietoku bola vyššia ako pri palette 1000×800 s nákladom. Počet paliet 1000×800 s nákladom bolo síce rovnaké ako prvý typ, avšak najnižšiu intenzitu prietoku, čo naznačuje menej efektívny tok pri jej manipulácii.

Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

Na lepšiu vizualizáciu rozdielov medzi sledovanými parametrami bol zostavený graf (Obr. 3), ktorý znázorňuje vzťah medzi množstvom prepravovaných palet a intenzitou prietoku pre jednotlivé typy palet.



Obr. 3 Výkon AGV podľa typu palety
Zdroj: autor

2.2 Experiment 2

Experiment 2 bol zameraný na analýzu výkonu vysoko zdvižného vozíka pri manipulácii so štyrmi typmi palet v rovnakých podmienkach, aké boli nastavené v experimente s AGV. Sledoval sa počet prepravených palet a intenzita prietoku, ktoré umožňujú porovnať efektívnosť tradičného manipulačného zariadenia so systémom automaticky riadených vozidiel. Výsledky meraní pre jednotlivé typy palet sú uvedené v Tab. 2.

Tab. 2 Priemerné hodnoty množstva a intenzity prietoku palet (Experiment 2)

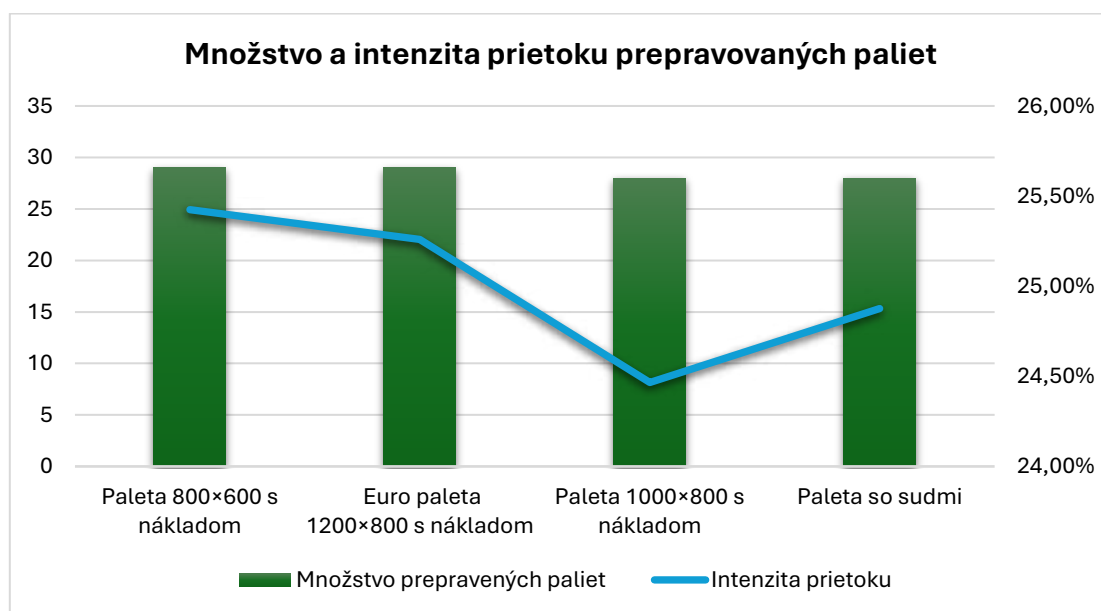
Druh palety	Množstvo prepravených palet	Intenzita prietoku palet [%]
Paleta 800×600 s nákladom	29	25,42
Euro paleta 1200×800 s nákladom	29	25,26
Paleta 1000×800 s nákladom	28	24,47
Paleta so sudmi	28	24,88

Zdroj: autor

Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

Z výsledkov uvedených v Tab. 2 vyplýva, že vysokozdvížny vozík dosiahol vo všetkých sledovaných parametroch vyššie hodnoty v porovnaní s automaticky riadeným vozidlom. Najväčšie množstvo prepravených paliet bolo zaznamenané pri type 800×600 s nákladom, ktorý zároveň dosiahol najvyššiu intenzitu prietoku - 17,40%. Naopak, najnižšie množstvo prepravených paliet bolo zaznamenané pri Euro palette 1200×800 s nákladom, hoci jej intenzita prietoku bola vyššia než pri palette so sudmi. Výsledky naznačujú, že efektívnosť VZV je výrazne ovplyvnená typom manipulovanej palety a jej rozmery majú priamy dopad na intenzitu prepravy. Namerané hodnoty znázornené na Obr. 4 zobrazujú rozdiely v množstve prepravovaných paliet a intenzite prietoku pri použití VZV.



Obr. 4 Výkon VZV podľa typu palety
Zdroj: autor

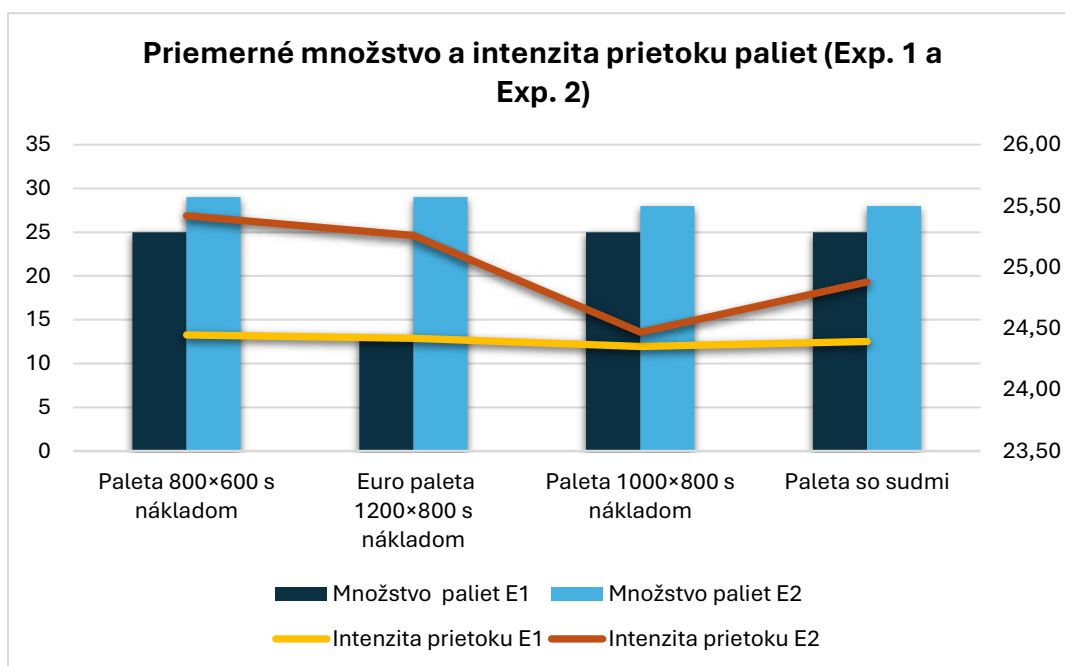
3 Závery

Výsledky simulácie ukazujú výrazný rozdiel medzi výkonom automaticky riadeného vozidla a vysokozdvížného vozíka. V rovnakom časovom intervale, a pri rovnakej rýchlosti VZV dosiahol pri všetkých štyroch typoch paliet vyššie hodnoty prepravovaného množstva aj intenzity prietoku v porovnaní s AGV. Najväčší rozdiel bol zaznamenaný pri preprave paliet typu 1200×800, kde AGV dosiahlo najnižší výkon, zatiaľ čo VZV si zachovalo vysokú efektívnosť. AGV však vykazovalo konzistentnejšie hodnoty medzi jednotlivými typmi paliet, čo potvrdzuje jeho stabilný výkon pri opakujúcich sa prepravných operáciách. Napriek nižšej intenzite prietoku AGV poskytuje výhody z hľadiska automatizácie, nižšej chybovosti a možnosti nepretržitej prevádzky.

Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

Celkové výsledky teda poukazujú na to, že VZV je efektívnejšie z hľadiska okamžitého výkonu, zatiaľ čo AGV predstavuje vhodnejšie riešenie pre dlhodobú optimalizáciu procesov v prostrediach s vysokou mierou opakovateľnosti. Na základe vyhodnotenia simulácie prepravy paliet pomocou AGV je možné konštatovať, že typ palety má významný vplyv na výkonnosť systému. Paleta so sudmi dosiahla najnižšie hodnoty v oboch sledovaných parametroch, čo poukazuje na náročnejšiu manipuláciu a dlhší čas prepravy. Z výsledkov vyplýva, že pre zvýšenie efektivity je potrebné optimalizovať trasovanie AGV a prispôsobiť manipulačné procesy konkrétnemu typu palety. Simulácia potvrdila vhodnosť využitia softvérových nástrojov pre testovanie rôznych variantov ešte pred implementáciou do reálnej prevádzky. Na Obr. 5 sú znázornené priemerné výsledky množstva a intenzity prietoku prepravovaných paliet Experimentu 1 a Experimentu 2.



Obr. 5 Výkon AGV a VZV (Exp. 1 a Exp. 2)

Zdroj: autor

Z kombinovaného grafu je zrejmé, že VZV vykazuje približne dvojnásobne vyššie hodnoty intenzity prietoku oproti AGV. Využitie AGV je opodstatnené najmä v prostrediach s požiadavkou na automatizáciu a bezpečnosť.

Pod'akovanie

Príspevok bol vypracovaný v rámci projektu APVV-23-0342.



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

Literatúra

- Bučková, M., Krajčovič, M., Plinta, D., 2019. Use of dynamic simulation in warehouse designing. In: *Intelligent Systems in Production Engineering and Maintenance, ISPEM 2018*. Advances in Intelligent Systems and Computing. pp. 485-498.
- Dobrzanska, M., Dobrzanski, P., 2021. Simulation modelling of material handling using AGV. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1199(1), pp. 1-8.
- Gotting, H.H., 2000. Automation and steering of vehicles in ports. *Port Technology International*, 10, pp. 101-111.
- Jacques, V., Hamberg, R., Caarls, J., Van Wijngaarden, B., 2013. Warehouse simulation through model configuration. In: *27th European Conference on Modelling and Simulation 2013, ECMS 2013*. pp. 1-3.
- Lothar S., Lindu, Z., 2007. Worldwide development and application of automated guided vehicle systems. *International Journal of Services Operations and Informatics*, 2 (2), pp. 164-176.
- Müller, T. 1983. Automated Guided Vehicles. [online] National Academies. Available at: <<https://trid.trb.org/View/488659>> [Accessed 28 Jul. 2025].
- Sabattini, L., Digani, V., Secchi, C., Cotena, G., Ronzoni D., Foppoli, M., Oleari F., 2013. Technological roadmap to boost the introduction of AGVs in industrial applications. In: *IEEE 9th International Conference on Intelligent Computer Communication and Processing 2013, ICCP 2013*. pp. 203-208.
- Sigal, B., Edna, S., Yael, E., Cotena, G., Ronzoni, D., Foppoli, M., Oleari, F., 2009. Evaluation of automatic guided vehicle systems. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 25, pp. 522-528.
- Smith, D., Srinivas, S., 2019. A simulation-based evaluation of warehouse check-in strategies for improving inbound logistics operations. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 94, pp. 303-320.
- Vis, F., A., I., 2006. Survey of research in the design and control of automated guided vehicle systems. *European Journal of Operational Research*, 170(3), pp. 677-709.
- XiuFen, Y., ZhiWei, W., Fang, Z., 2014. Research on a 3 DOF Automated Guided Vehicle based on the improved feedback linearization method. In: *Proceedings of the 33rd Chinese Control Conference 2014, IEEE*. pp. 184-188.
- Yasuda, S., Yoshida, H., 2025. Efficient dynamic window approach with neural multi-trajectory proposer. *IEEE Access*, 13, pp. 84635-84644.



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

Integrácia logistických tokov v multimodálnej interkontinentálnej doprave

Marek Ondov^{1*}, Lukáš Horizral², Katarína Čulková³

¹ Ústav logistiky a dopravy, Fakulta BERG, Technická univerzita v Košiciach, Park Komenského 14, 04200 Košice, Slovenská republika, e-mail: marek.ondov@tuke.sk

² Ústav logistiky a dopravy, Fakulta BERG, Technická univerzita v Košiciach, Park Komenského 14, 04200 Košice, Slovenská republika, e-mail: lukas.horizral@tuke.sk

³ Ústav zemských zdrojov, Fakulta BERG, Technická univerzita v Košiciach, Park Komenského 19, 04200 Košice, Slovenská republika, e-mail: katarina.culkova@tuke.sk

* Korešpondenčný autor

Abstract:

The paper addresses the integration of logistics flows in multimodal intercontinental transport between Asia and Europe, approached from the perspective of a small business entity. The aim is to analyze and visually demonstrate the integration of material and information flows within the overall supply chain, highlighting the mutual interdependence of these flows in intercontinental transport. The systems analysis covers the entire process—from the end of production to the delivery of goods to the customer—with an emphasis on multimodal transport, where maritime shipping dominates due to its capacity, safety, and low costs. The outcome is a demonstration and algorithmized visualization of logistics flows, emphasizing the interconnectedness of material and information flows which, when integrated, form a unified information-material flow. The financial flow, in contrast, moves in the opposite direction and is presented through the main financial operations. Based on the nature of these financial operations, the possibility of integrating the financial flow into the information-material flow has also been identified. Understanding all three principal logistics flows as mutually dependent and interconnected can improve the efficiency of logistics processes in intercontinental multimodal transport.

Key words:

material flow, information flow, international transport, algorithm

Úvod

Medzinárodný obchod nie je len hnacou silou hospodárskeho rastu, ale aj dôležitou súčasťou diplomacie, ktorá podporuje vzťahy medzi národmi a spoluprácu. Globalizácia obchodu viedla k zvýšeniu vzájomnej závislosti medzi krajinami. V ére globalizácie a neustáleho rozvoja medzinárodného obchodu je efektívna integrácia logistických tokov kľúčovým faktorom úspechu v multimodálnej interkontinentálnej doprave. Prepojenie materiálových a informačných tokov umožňuje optimalizovať náklady, zvýšiť spoľahlivosť



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

dodávok a zabezpečiť plynulý pohyb tovaru naprieč kontinentmi (Grozdanovska, Jankulovski and Bojkovska, 2017).

Logistické toky sa týkajú pohybu a riadenia tovaru, služieb a informácií v rámci dodávateľského reťazca. Zahŕňajú rôzne procesy, ako je obstarávanie, skladovanie a distribúcia, ktorých cieľom je optimalizovať efektívnosť a znížiť náklady. Tok materiálov, informácií a financií je v logistike rozhodujúci pre optimalizáciu výkonnosti dodávateľského reťazca. Integrácia týchto tokov zvyšuje efektívnosť, znižuje náklady a zlepšuje rozhodovanie v logistických operáciách (Perez et al., 2023).

Materiálový tok zahŕňa pohyb tovaru od dodávateľov k zákazníkom vrátane vrátenia a potreby služieb. Efektívne riadenie tokov materiálu môže znížiť logistické náklady, ktoré predstavujú približne 60% celkových nákladov na logistiku (Foo and Zailani, 2012). Materiálový logistický tok sa týka systematického pohybu a riadenia materiálov vo výrobnom, dopravnom alebo stavebnom prostredí, čím sa zabezpečuje dostupnosť materiálov v správnom čase a na správnom mieste. Tento koncept integruje rôzne procesy vrátane sledovania, prenosu a kontroly materiálov (Eldhose and Babu, 2021). Integrácia toku materiálu s finančnou logistikou zaisťuje efektívne pridelovanie zdrojov, minimalizáciu odpadu a zlepšenie poskytovania služieb. Táto integrácia podporuje lepšie plánovanie a správu prevádzkového kapitálu, zlepšenie rozhodovania a logistickej výkonnosti (Amaro-Martínez et al., 2019).

Tok informačnej logistiky sa týka systematického riadenia a pohybu informácií, čo zahŕňa analýzu, návrh a implementáciu informačných systémov, ktoré uľahčujú efektívnu výmenu údajov a zabezpečujú, aby sa správne informácie dostali k zainteresovaným stranám v správnom čase. Moderné informačné technológie sa zameriavajú na tok informácií medzi ľudskými a strojovými aktérmi a vytvárajú hodnotovú sieť nevyhnutnú pre informované rozhodovanie (Dubey and Jain, 2014). Informačný tok je nevyhnutný pri prenose objednávok a aktualizácii stavu dodávky, ktoré slúžia ako kritické spojenie medzi partnermi dodávateľského reťazca. Efektívne riadenie informácií môže identifikovať neefektívnosť a zlepšiť koordináciu medzi zainteresovanými stranami, čo vedie k zlepšeniu prevádzkovej výkonnosti (Popadynets and Kormushyn, 2024).

Finančný tok v logistike riadi finančné zdroje v rámci logistických systémov, čím sa zabezpečuje, aby finančné transakcie boli v súlade s prevádzkovými potrebami organizácie. Je nevyhnutný pre normálnu prevádzku logistických systémov, ktoré priamo spájajú finančné toky s pohybom tovarov a služieb (Sumets et al., 2019). Finančný tok zahŕňa úverové podmienky, platobné plány a vlastnícke tituly, ktoré sú nevyhnutné pre riadenie peňažných tokov a zabezpečenie likvidity. Výskum naznačuje, že finančný tok významne ovplyvňuje výkonnosť dodávateľského reťazca, pričom zdôrazňuje potrebu integrovaného finančného riadenia v rámci logistických systémov (Foo and Zailani, 2012; Popadynets and Kormushyn, 2024).

V interkontinentálnej doprave sú integrované rôzne druhy dopravy, čo ešte zvyšuje dôležitosť správneho riadenia a koordinácie logistických tokov. Zvýšený medzinárodný obchod a implementácia digitalizácie v každodennom živote vedú k nárastu nákladnej dopravy, čo si vyžaduje efektívnejšie logistické riešenia. Účinnosť interkontinentálnej dopravy si vyžaduje prekonanie zložitostí v oblasti koordinácie, kompatibility infraštruktúry a dodržiavania predpisov. Použitie štandardizovaných kontajnerov uľahčuje bezproblémový prenos medzi



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

režimami dopravy, zvyšuje rýchlosť a znižuje náklady na manipuláciu (Corbett and Winebrake, 2007; Romeo and Nautwima, 2024).

Cieľom tohto príspevku je vykonať analýzu logistických tokov a použitia multimodálnej dopravy v interkontinentálnom obchode. V kontexte hlavného cieľa je možné vytýčiť nasledujúce úlohy nevyhnutné na jeho dosiahnutie:

- systémová analýza logistických procesov obstarávania, realizácie a ukončenia dopravy tovaru,
- aplikácia algoritmickej na vizualizáciu logistických tokov a používanej dopravy,
- demonštrácia integrácie a vzájomnej závislosti logistických tokov v interkontinentálnej doprave.

1 Metódy a metodika

Vierohodné zachytenie logistických tokov musí vychádzať z poznania systému. Analýza systému, jeho prvkov a väzieb je vlastne analýzou logistických tokov procesu, v tomto prípade interkontinentálnej dopravy. Materiálový a informačný tok je potom možné popísať a vizualizovať v kontexte analyzovaného systému. Systémová analýza v logistike zahŕňa hodnotenie a optimalizáciu procesov a štruktúr, ktoré uľahčujú pohyb, skladovanie a získavanie materiálov, informácií a ľudí. Táto analýza je rozhodujúca pre zvýšenie efektívnosti a hospodárnosti v rámci logistických systémov. Logistické systémy zahŕňajú funkcie, ako je výber dopravy, rozhodnutia o tovare, výber dodávateľov a iné. Systém musí byť navrhnutý tak, aby materiálový a informačný tok boli efektívne a zároveň sa dosahoval ekonomický cieľ. Systémová analýza si vyžaduje podrobnú manipuláciu s údajmi a štruktúrované výstupy jasne definujúce získané údaje a ich význam (Daganzo, 1991).

Algoritmickej znamená systematické vytváranie presných postupov na riešenie problémov alebo riadenie procesov. V logistike je kľúčom k optimalizácii nákladov, zvyšovaniu efektivity a spoľahlivosti dodávateľských reťazcov. Systematické zhromažďovanie údajov o logistických tokoch a ich následná vizualizácia algoritmickejmi diagramami je jednou zo základných súčastí logistiky (Jonák et al., 2020). Diagramy slúžia na znázornenie pohybu materiálov, informácií alebo tovaru v dodávateľskom reťazci pomocou prehľadných schém. Takéto diagramy uľahčujú pochopenie komplexných procesov a zlepšujú ich riadenie.

Pre analýzu a vizualizáciu logistických tokov je potrebné sa zamerať na existujúci proces a jeho toky. V interkontinentálnej doprave celosvetovo vystupuje mnoho aktérov, pričom sa ich formy podnikania líšia. Tieto formy podnikania zahŕňajú vývoz, dovoz, licencovanie, franchising a zakladanie predajných, výrobných, výskumných a vývojových a distribučných zariadení. Mnohí aktéri sa združujú v obchodných skupinách alebo organizáciách s cieľom zdieľať svoje zdroje a tým prispieť k efektívnosti interkontinentálnej dopravy a obchodu (Grozdanovska et al., 2017).



Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

V tomto prípade sa príspevok venuje forme podnikania v oblasti vývozu a dovozu tovaru. Konkrétne sa jedná o živnostenské podnikanie v medzinárodnej doprave, poskytujúce prepravné služby a organizáciu dopravy v euroázijskom medzinárodnom obchodnom priestore. Fyzická osoba svojim klientom poskytuje organizáciu a realizáciu dopravy tovaru v smere Ázia – Európa multimodálnym spôsobom, zabezpečenie dočasných skladových priestorov v Ázii, prenájom vlastných skladových priestorov v Európe, možnosť dopravy tovaru až k dverám klienta a odborné poradenstvo. Organizácia a realizácia dopravy znamená, že fyzická osoba na základe zmluvy preberá zodpovednosť za všetky obstarávacie, komunikačné a právne činnosti a realizuje alebo dohliada na fyzický presun tovaru.

Analýza a spracovanie integrácie logistických tokov spomenutého živnostenského podnikania prebehne nasledovne:

- zber údajov od fyzickej osoby,
- analýza a spracovanie podnikateľskej činnosti,
- aplikácia algoritmickeho prístupu na vizualizáciu logistických tokov,
- identifikácia multimodálneho charakteru materiálového toku,
- demonštrácia integrácie a závislosti logistických tokov.

2 Výsledky

Materiálový tok tovaru sa v podstate začína ešte pred samotnou objednávkou dopravy. Ide o výrobný proces podniku vyrábajúceho tovar. Na túto časť materiálového toku nemá fyzická osoba (ďalej špeditér) žiadny vplyv. Skutočný materiálový tok špeditéra má počiatok naložením tovaru v mieste výroby do nákladného vozidla. Vozidlo prevezie tovar do prenajatého skladu v Ázii a tovar vyloží. V tomto sklade prebieha fyzická kontrola zásielky a kontrola sprievodných dokumentov. V sklade sa zásielka nachádza dovtedy, kým prepravujúca loď v prístave nie je pripravená na nakládku. V špecifických prípadoch a ojedinele nemusí byť tovar prepravený do skladu, ale priamo do prístavu, kde kontroly prebiehajú počas prekládky.

Počas dopravy sa využíva jednotná manipulačná jednotka – kontajner. Ak predmetný tovar zaplní celý objem manipulačnej jednotky, je možné naložiť kontajner už v prenajatom sklade. Vo väčšine prípadov však prebieha kontajnerizácia tovaru po príchode do odosielajúceho prístavu v Ázii. Presun do prístavu je zabezpečený cestnou nákladnou dopravou po naložení tovaru v prenajatom sklade. V ázijskom prístave je vykonaná prekládka tovaru a následne je kontajner dopravený námornou dopravou do európskeho prístavu. Špeditér nevyužíva interkontinentálnu leteckú dopravu z nákladových dôvodov.

Európska časť materiálového toku začína prekládkou tovaru do dopravného prostriedku pozemnej dopravy. Rozhodnutie o cestnej alebo železničnej doprave závisí od cieľového prístavu a cieľovej destinácie celej dopravy tovaru. Tovar môže byť dopravený priamo zákazníkovi alebo do skladu špeditéra. Ak je cieľom skladový priestor špeditéra, vhodnejšou voľbou je cestná doprava, pretože železničná infraštruktúra sa nenachádza v blízkosti skladu. Tovar je v sklade vyložený a zákazník si tovar sám vyzdvihuje. Ak mu to podmienky



Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

nedovoľujú, je možná dodatočná doprava k zákazníkovi. Ukončenie dopravy a povinnosti špeditéra nastáva vyložením tovaru v konečnej lokalite alebo osobným odberom v sklade.

Na základe vykonanej analýzy väzby jednoznačne poukazujú na súbežnú existenciu informačného toku v rovnakom smere ako materiálový tok. Informačný tok začína skôr ako materiálový. Informačný tok začína podaním objednávky na prepravu tovaru špeditérovi. Po obdržaní objednávky začína reťazec výmeny informácií a údajov o objednávke, ponúkaných službách, dostupných termínoch a právnych podmienkach. Tento reťazec prebieha zmiešaným spôsobom, osobne a dištančne. Špedičná spoločnosť predkladá návrh dodania tovaru a ak ho zákazník odsúhlasí, podpisuje sa dohoda o dodaní tovaru, kde sú jasne vytýčené povinnosti a zodpovednosti oboch zúčastnených strán.

Po podpísaní dohody začína špeditér s obstarávaním dopravy. Z právneho hľadiska pripravuje a získava potrebné dokumenty potrebné v medzinárodnej doprave a rokuje s tretími stranami – dopravcami. Následne, keď má zmluvy s dopravcami, konosament, packing list, žiadosti o colné konania, certifikáty o kvalite a iné dokumenty, začína fyzická doprava tovaru.

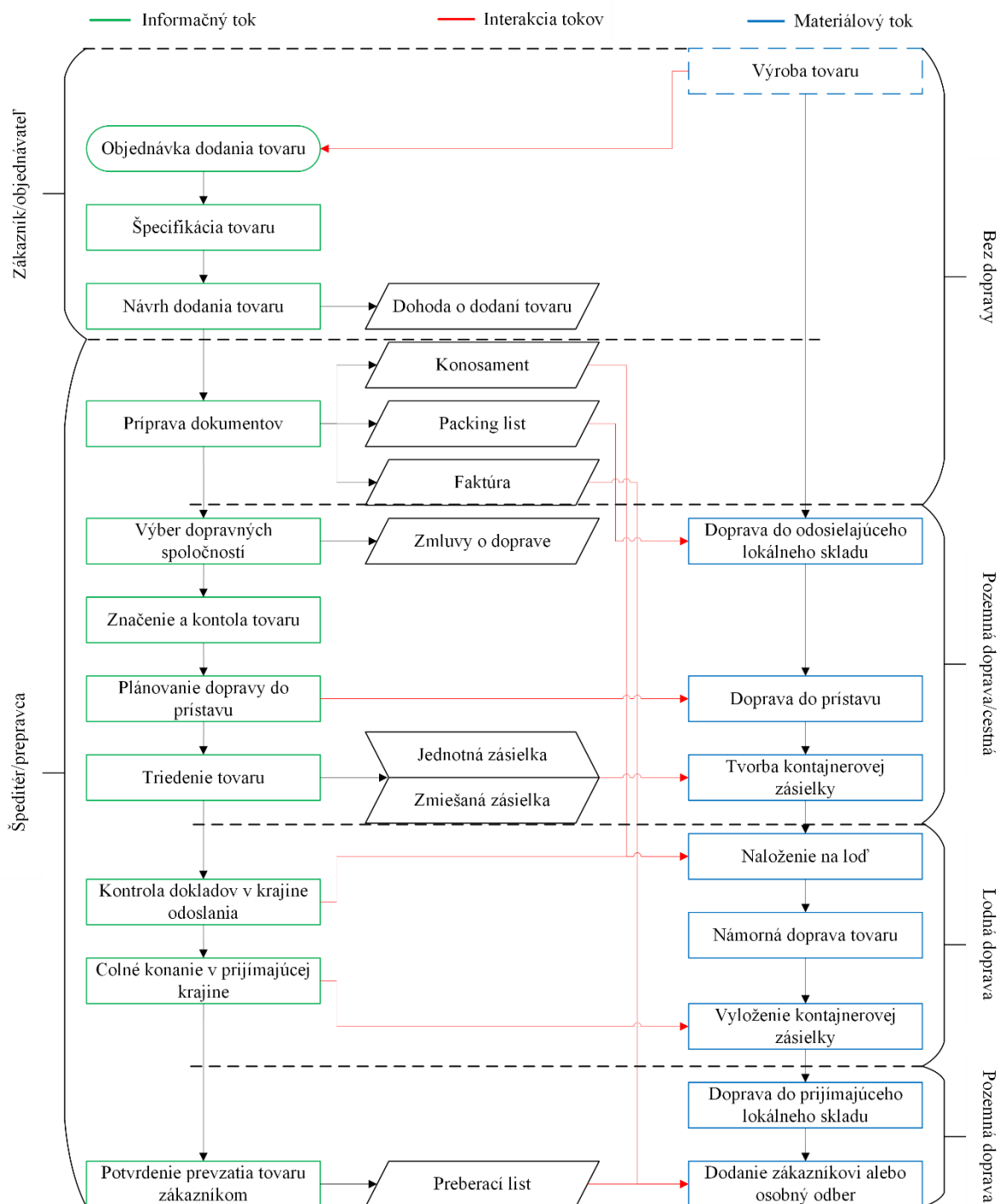
Po prijatí tovaru do prenajatého skladu je vykonávaná kontrola dokumentov a súladu tovaru s nimi. Každé balenie tovaru je označené a zaraďuje sa do systému špedičnej spoločnosti pre potreby sledovania tovaru. Doprava do prístavu musí byť dopredu a dôkladne naplánovaná, pretože interkontinentálna doprava čelí vysokému kapacitnému tlaku. Procesy v odosielaťcom prístave už prebiehajú pomerne rýchlo vzhľadom na dôkladnú prípravu. Súčasťou prípravy môže byť aj dopredné triedenie tovaru, ale samotné triedenie a tvorba jednotnej zásielky pre dopravcu sa vykonáva súčasne s nakladaním tovaru do kontajnerov. Pred prekládkou tovaru sa vykoná colná kontrola zo strany úradov odosielajúcej krajiny. Prepravné dokumenty sa odovzdávajú námornej dopravnej spoločnosti a táto spoločnosť poskytne špeditérovi prístup do informačného systému na sledovanie zásielky alebo inú možnosť sledovania.

Po prijatí tovaru v európskom prístave špeditér preberá dokumenty a zabezpečuje colné konanie v európskom priestore. Zásielka môže vyžadovať tranzit cez viacero európskych krajín, za čo je zodpovedný špeditér a dohliada na dodržanie právnych predpisov a bezproblémový tranzit. Dodanie do skladových priestorov špeditéra si tranzit nevyžaduje. Všetky dokumenty ostávajú špeditérovi až do prevzatia tovaru zákaznikom. Dokumenty a tovar sú odovzdávané zákazníkovi oproti preberaciemu listu. Preberací list slúži ako doložka k dohode o dodaní tovaru na ukončenie danej dohody. Preberací list zbavuje špeditéra zodpovednosti za tovar. Materiálový aj informačný tok interkontinentálnej dopravy je zobrazený na Obr. 1.

Z Obr. 1 je jasná vzájomná závislosť oboch tokov. Ani jeden z tokov nemôže existovať bez toho druhého. V rámci týchto dvoch tokov je jednoznačne vidieť ich integráciu. Splývajú do jedného informačno-materiálového toku interkontinentálnej dopravy. Ich zlúčenie reprezentujú červené šípky v obrázku. Integrovaný tok v skratke začína výrobou tovaru a pokračuje informačnými činnosťami zadania a prípravy prepravy tovaru. Po zabezpečení potrebných tretích strán, informácií a dokumentov začína fyzická doprava. Presúvanie tovaru medzi výrobcom, skladmi a prístavmi sa deje súčasne s identifikáciou zásielky, jej triedením, colnými konaniami a sledovaním zásielky. Teda integrovaný tok môže tieto činnosti zobrazovať v algoritme formou jednotnej činnosti bez diverzifikácie medzi informačnou a fyzickou činnosťou. Celý integrovaný informačno-materiálový tok končí fyzickým odovzdaním tovaru a dokumentov zákazníkovi a súčasne podpisom preberacieho listu zákaznikom.

Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení



Obr. 1 Algoritmus materiálového a informačného toku interkontinentálnej dopravy
Zdroj: autor



Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment
Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

Interkontinentálna doprava je spravidla multimodálna. Aj v prípade pevninou spojených kontinentov Európy a Ázie je využívaná námorná doprava. A je využívaná dokonca aj fyzickou osobou, ktorá nie je súčasťou združení dopravcov alebo obchodníkov. To svedčí najmä o nízkych nákladoch, vysokej prepravnej kapacite a bezpečnosti námornej dopravy. Podľa algoritmu a systémovej analýzy sa definuje iba pozemná doprava a nerozdeľuje sa na železničnú a cestnú. Je to spôsobené špecifickými situáciami konkrétnych zákaziek a prispôbovaním druhu dopravy infraštruktúre odosielajúcej a prijímajúcej lokality. V prípade ázijskej časti sa v drvivej väčšine vyskytuje cestná doprava, čo zachytáva aj algoritmus.

V algoritme nie je zachytený tretí a nemenej dôležitý finančný tok. Na základe systémovej analýzy finančný tok prúdi opačným smerom ako integrovaný informačno-materiálový tok. Na základe identifikovaných a analyzovaných údajov je možné zhrnúť finančný tok do činností v Tab. 1.

Tab. 1 Identifikované činnosti finančného toku interkontinentálnej dopravy

Fáza dopravy a platca	Činnosť finančného toku
Pred dopravou, zákazník	Platba za tovar
	Úhrada zálohy na okamžité výdavky
Počas dopravy, špeditér	Úhrada colných konaní
	Zaplatenie neočakávaných a okamžitých nákladov
Po ukončení dopravy, zákazník	Platba faktúry špeditérovi za sprostredkovanie dopravy
Po ukončení dopravy, špeditér	Platba za prenájom priestorov
	Úhrada faktúr od zmluvných dopravcov
	Zaplatenie nájomného za manipulačnú jednotku

Zdroj: autor

3 Závery

Cieľom tohto príspevku bola analýza a demonštrácia integrácie logistických tokov v interkontinentálnej doprave. Príspevok sa zameriaval na euro-ázijskú dopravu tovaru fyzickým a právnym subjektom. V rámci systémovej analýzy boli identifikované logistické toky so zameraním na tri hlavné – materiálový, informačný a finančný. Systémová analýza podrobne opísala materiálový a informačný tok od zakúpenia tovaru v Ázii až po jeho prevzatie v Európe. Systémová analýza jednoznačne deklaruje používanie multimodálnej dopravy, pričom námorná doprava je vždy súčasťou dopravného procesu vďaka jej nízkym nákladom, bezpečnosti a kapacite. V prípade rozhodovania medzi cestnou a železničnou dopravou rozhoduje najmä infraštruktúra lokality.

Aplikáciou algoritmického myslenia a štrukturalizácie vznikol algoritmický diagram, ktorý vizualizuje materiálový a informačný tok formou jednotlivých činností a dokumentov. Algoritmus priamo ukazuje závislosť oboch tokov a demonštruje základ pre jeden integrovaný informačno-materiálový tok interkontinentálnej dopravy. Na základe algoritmu a identifikovaných väzieb je možné pokračovať vo vytvorení aj vizuálnej reprezentácie integrovaného toku.



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

Tretí hlavný finančný tok bol analyzovaný pomerne obmedzene oproti materiálovému a informačnému. Zo systémovej analýzy jednoznačne vzišli činnosti finančného toku spracované v Tab. 1 a definovanie opačného smeru finančného toku oproti zvyšným dvom. Predmetom budúceho výskumu bude teda hlavne integrácia tohto opačného finančného toku k zvyšným dvom a kompletná vizualizácia logistických tokov v interkontinentálnej doprave.

Pod'akovanie

Príspevok bol vypracovaný v rámci projektu APVV-23-0342: Nové konštrukčné a materiálové prvky pre udržateľnú prepravu hromadných materiálov; KEGA č. 013TUKE-4/2023: Tvorba a inovácia vysokoškolského a celoživotného vzdelávania v odbore doprava na báze rozvoja digitálnych a praktických zručností.

Literatúra

- Amaro-Martínez, D., Acevedo-Suárez, J.A., Amaro-Martínez, D., 2019. The integration of finance to logistic flow, Application: feeding process. *Ingeniería Industrial*, 40(1), pp. 97-108.
- Corbett, J.J., Winebrake, J.J., 2007. Sustainable goods movement: Environmental implications of trucks, trains, ships, and planes. *EM Magazine*, November 2007, pp. 8-12.
- Daganzo, C.F., 1991. *Logistics Systems Analysis*. [online] Available at: <<http://ndl.ethernet.edu.et/bitstream/123456789/80942/1/83%20.%20Carlos%20F.%20Daganzo.pdf>> [Accessed 22 Jul. 2025].
- Dubey, S., Jain, S., 2014. Logistics information system and cloud computing. *International Journal of Operations and Logistics Management*, 3(1), pp. 42-47.
- Eldhose, S., Babu, S.S., 2021. Material flow in construction sites – a case study. *Sustainability, Agri, Food and Environmental Research*, 10(1), pp. 1-9.
- Foo, L.L., Zailani, S., 2012. Effects of information, material and financial flows on supply chain performance: A Study of manufacturing companies in Malaysia. *The International Journal of Management*, 29(1), p. 293.
- Grozdanovska, V., Jankulovski, N., Bojkovska, K., 2017. International business and trade. *International Journal of Sciences: Basic and Applied Research*, 31(3), pp.105-114.
- Jonák, R., Smutný, Z., Šimůnek, M., Doležel, M., 2020. Optimalizácia trasy a dojezdových časů v zásilných a obslužných službách: Pohled praxe. *Acta Informatica Pragensia*, 9 (2), pp. 200-209.
- Perez, H., Harshbarger, K.C., Wassick, J.M., Grossmann, I.E., 2023. Integrating information, financial, and material flows in a chemical supply chain. *Computers & Chemical Engineering*, 178, 108363.
- Popadynets, N., Kormushyn, Y.K., 2024. Financial flows in enterprise logistics. *Regional*



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

Economy, 112 (2), pp. 148-154.

Romeo, A., Nautwima, J.P., 2024. Intermodalism. *Advances In Logistics, Operations, and Management Science Book Series*, IGI Global, Hershey, pp. 459-484.

Sumets, O.M., Kyzym, M.O., Syromyatnikov, P.S., Kozureva, O.V., Tsvirko, O.O., 2019. Financial flows in logistics systems of production enterprises. *Financial and credit activity problems of theory and practice*, 3(30), pp. 165-175.



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

**Synergia PDM, APS, MES v kontexte podpory digitalizácie
podnikových procesov**

Miriám Pekarčíková ^{1*}, Peter Trebuňa ², Jana Kronová ³, Marek Kliment ⁴

¹ Katedra priemyselného a digitálneho inžinierstva, SjF TUKE, Park Komenského 9, 04001
Košice, Slovenská republika, e-mail: miriam.pekarcikova@tuke.sk

² Katedra priemyselného a digitálneho inžinierstva, SjF TUKE, Park Komenského 9, 04001
Košice, Slovenská republika, e-mail: peter.trebuna@tuke.sk

³ Katedra priemyselného a digitálneho inžinierstva, SjF TUKE, Park Komenského 9, 04001
Košice, Slovenská republika, e-mail: jana.kronova@tuke.sk

⁴ Katedra priemyselného a digitálneho inžinierstva, SjF TUKE, Park Komenského 9, 04001
Košice, Slovenská republika, e-mail: marek.kliment@tuke.sk

* Korešpondenčný autor

Abstract:

The transition from isolated systems to an integrated digital enterprise is a key trend in Industry 4.0. Growing demands for flexibility, quality and speed of product development in industry have led to the introduction of advanced digital tools such as manufacturing data management (PDM) systems, MES systems and the digital twin (DT) concept. The synergy of PDM, MES and digital twin enables intelligent decision-making, flexible response to changes and building a learning organization. This is a strategy that leads not only to cost optimization, but especially to increasing quality and innovation potential. This article presents an overview of key concepts and technologies for supporting the digital transformation of production with an emphasis on the product life cycle, data integration and simulation of production processes.

Key words:

digitalization, data, decision-making, production

Úvod

Digitálna transformácia je nevyhnutná pre udržanie konkurencieschopnosti moderných podnikov. Jedným z jej pilierov je efektívna správa výrobných a produktových dát pomocou PDM a MES systémov a zavádzanie konceptu digitálneho dvojča. Tieto nástroje umožňujú optimalizáciu vývoja a prevádzky produktov, zlepšenie procesnej transparentnosti a podporu rozhodovania na základe aktuálnych dát. Veľká variácia informačných systémov na trhu vyžaduje určité poradie, tak aby umožnila užívateľom poznať samotné produkty a aj vzájomné interakcie. V neposlednej rade, dodávatelia informačných systémov sa snažia o štandardizáciu, tak aby ich systém bol čo najpraktickejší. Štandardizácia daných systémov funguje na základe smerov: Systémová štruktúra reportov, dátové a informačné metódy.

V poslednej dobe sa nové štandardizácie sa stali značne populárne – napríklad ISA-95. Predchodcom ISA-95 bol ISA-88 vyvinutý v roku 1995 slúžiaci na regulovanie dávok v



Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment
Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

procesnom priemysle. Štandard klasifikoval pravidlá popisujúce základne technické štruktúry podniku a výrobného procesu. Používaním daného štandardu bolo možné unifikovať proces výroby na rozdielnych miestach. Z pohľadu pokročilého plánovania a rozvrhovania výroby, najviac zaujímavý je štandard ISA-95. Tento štandard považuje ERP (Enterprise Resource Planning) systémy ako základný zdroj informácií v obchodných procesoch a tento štandard zadáva pravidlá integrácie s inými systémami. Tento štandard poskytuje 5 vrstiev spracovania informácií, od výrobných aktivít po podnik. Nulová vrstva reprezentuje zber dát pomocou senzorov.

Prvá vrstva sú zariadenia s PLC kontrolérmi (napríklad CNC). Druhá vrstva sú automatizované systémy SCADA. Druhá vrstva taktiež zahŕňa laboratórny informačný systém LIMS, ktorý poskytuje kontrolu v reálnom čase. SCADA a LIMS poskytuje informácie pre MES systém nachádzajúci sa na 3 vrstve. MES riešenie poskytuje spracované dáta pre ERP systém (Tab. 1). (Mauergauz, 2016; Mauergauz, 2012).

Tab. 1 Jednotlivé vrstvy ISA-95 s časovým horizontom

Úroveň	Systémový typ	Hlavná funkcia	Časový rozsah
4	ERP	Technicko-ekonomické plánovanie, prerozdeľovanie zdrojov	Dni, týždne, mesiace
3	MES	Výrobné plánovanie a manažment	Minúty, hodiny
2	SCADA, LIMS	Procesné štúdie a manažment	Sekundy, minúty
1	Základné kontroléry (napr. CNC)	Nastavovanie pracovného programu	Milisekundy
0	Senzory	Zber dát	Kontinuálny zber dát

Zdroj: Mauergauz, 2016; Mauergauz, 2012

1 Metódy a metodika

Zavedenie akéhokoľvek informačného systému v rámci spoločnosti prináša so sebou množstvo výhod, ale na druhej strane treba uvažovať aj s nevýhodami. Jedným z možných problémov pri zavedení je to, ak nemá podnik dobre nastavené samotné procesy, ktoré sa v ňom nachádzajú. To môže spôsobiť, že systém nebude zobrazovať stav, ktorý zodpovedá realite. Taktiež so zavedením IS musia byť stotožnení aj všetci zamestnanci spoločnosti spolu s jeho vedením.

1.1 PDM systémy a správa technickej dokumentácie

PDM umožňujú systematickú správu vývojovej a technologickej dokumentácie. Významne skracujú čas potrebný na zmenové konania a podporujú kolaboratívne projektovanie. Jedná sa o sadu nástrojov pre správu dát o produkte, ktoré poskytujú samostatné alebo integrované prostriedky pre archiváciu, výmenu a analýzu digitálneho obsahu. Prepájajú



Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

medzi sebou dátové výstupy z jednotlivých aplikácií a umožňujú verifikáciu ich variantov, ľahké upravovanie existujúcich dokumentov a dát v kontexte životného cyklu. Súčasťou PDM systémov sú nástroje pre podporu schvaľovacieho a posudzovacieho konania.

Dáta sú v PDM systémoch analyzované a klasifikované najčastejšie pomocou užívateľsky definovaných atribútov na úrovni návrhu alebo použitých technológií. Tieto systémy uľahčujú a zefektívňujú prácu s rozpismi, kusovníkmi a ďalšími technickými dokumentmi. PDM nástroje podporujú často celý rad dátových formátov a sú priamo určené pre podporu tímových projektov CSCW (Computer Supported Cooperative Work).

1.2 MES a výhody implementácie vo výrobe

Skutočný prínos MES systému je v integrácii dát. Plánovači i pracovníci výroby profitujú z ucelenej dokumentácie každého procesu a jednoznačnej identifikácie materiálu, stavebných dielov alebo väčších produkčných jednotiek. Rôzne podnikové úrovne výroby a automatizácie, ako aj rozličné manažérske stupne vrátane vedenia podniku dostávajú od MES systému informácie z iných úrovní – optimálne vyladené vzhľadom na požiadavky v časovom a plánovacom horizonte. Zavedenie MES riešenia prináša široké spektrum výhod:

- dostupnosť aktuálnych a správnych údajov,
- zlepšenie transparentnosti operácií a činností,
- efektívne riadenie výrobných procesov,
- zrýchlenie reakcie na vzniknuté nezhody,
- eliminácia neproduktívnych činností a off-line prenosu informácií.

Medzi riziká patrí predovšetkým zavedenie do zle nastavených procesov, čo môže spôsobiť skreslenie reality, a nedostatok akceptácie zo strany zamestnancov.

1.3 APS ako podpora digitálneho dvojča výroby

Rozvrhovanie výroby (Production Scheduling) môžeme na výrobnej úrovni považovať za zvyčajne náročnú disciplínu z dôvodu možnosti rôznych kombinácií aj v prípade len niekoľkých výrobkov, ktoré výroba produkuje. Rozvrhovanie taktiež môžeme považovať za jeden z najdôležitejších procesov pre každú výrobnú spoločnosť.

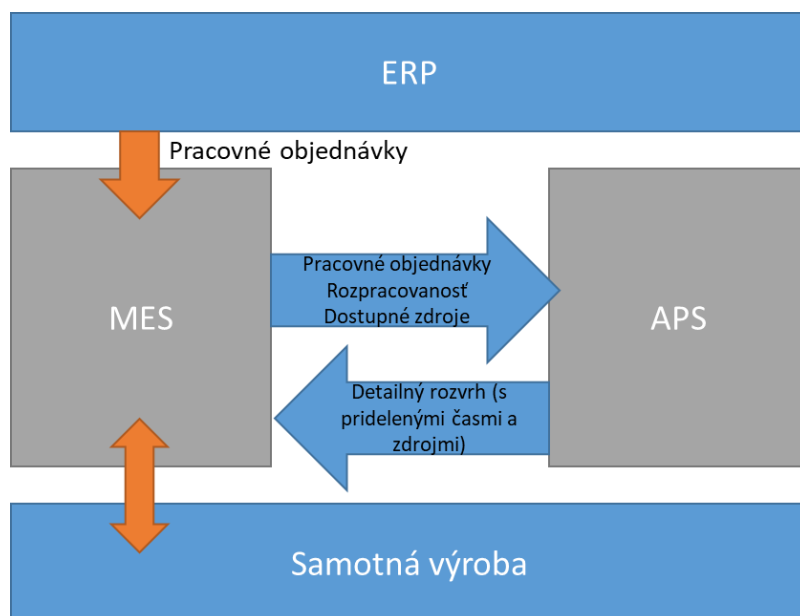
Softvérové nástroje ako Advanced Planning and Scheduling tools (APS) môžeme zadefinovať ako výrobný systém, ktorý v spolupráci s Enterprise Resource Planning (ERP) a Manufacturing Execution system (MES) optimálne alokuje výrobné kapacity tak aby sa splnili zákaznicke (interné alebo externé) požiadavky. APS nástroje sa hodia do prostredí, kde jednoduché plánovacie a rozvrhovacie metodológie sú už nedostatočné z dôvodu komplexnosti výroby alebo požiadaviek zákazníkov. Presné rozvrhovanie zabezpečuje dodanie správnych dielov/častí výrobku v čase kedy je potrebný. Rozvrhovacie nástroje umožňujú nie len presné krátkodobé plánovanie ale taktiež zobrazenie využívania jednotlivých zdrojov/zariadení v čase.

Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

Advanced Planning and Scheduling (APS) je dôležitou súčasťou MOM riešení. Na rozdiel od klasického MRP II, APS integruje plánovanie materiálu a kapacít do realistických scenárov. Jedná sa o softvér pre strategické rozhodovanie v prípade dlhodobého alebo strednodobého plánovania. Podporuje rozhodovanie o výrobných kapacitách, dostupnosti zdrojov a pod. Taktiež umožňuje určiť čo, koľko a kde sa vyrobí, aký materiál sa použije a aké zdroje budú na to potrebné. Tento plánovací nástroj umožňuje plánovanie do obmedzených alebo neobmedzených kapacít v časovom horizonte mesiacov, týždňov alebo dní. Je vhodný pre prostredia s výrobou na objednávku, resp. pre výrobu s obmedzenými kapacitami, komplexnými kusovníkmi, a častými zmenami v rámci plánovania.

Samotné APS riešenie obojstranne celopodnikovo komunikuje medzi ERP Systémom a výrobou. Takmer 95% dát tečie z ERP systému do APS ale dáta ktoré tečú späť do ERP riešenia musia byť správne integrované s ERP riešením tak aby každý mal prehľad o výrobných objednávkach. Na každý nový rozvrh potrebuje získať stav nových objednávk z ERP systému a stav výrobných zariadení a rozpracovanosti priamo z výroby. Túto horizontálnu komunikáciu mu umožňuje vo väčšine prípadov práve MES riešenie tak ako je to popísané aj na Obr. 1.



Obr. 1 Základné prepojenie medzi ERP – MES – APS
Zdroj: autor

1.4 Koncept digitálneho dvojča

Digitálne dvojča zhromažďuje informácie priamo z výrobných a logistických procesov. Dáta neustále zbiera a vyhodnocuje. Prispieva k optimalizácii a zvyšovaniu efektívnosti logistických procesov. Význam má v rámci budovania inteligentných výrobných systémov, kde produkt bude autonómnou inteligentnou entitou schopnou komunikácie a interakcie so svojim



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

okolím. Ambíciou je aplikovať tento technologický koncept do podstatnej časti priemyselných podnikov na Slovensku. Priemysel by mal reagovať na dynamický vývoj a inovácie v jeho jednotlivých odboroch. Umožňuje:

- simuláciu a optimalizáciu procesov,
- prediktívnu údržbu,
- interakciu medzi fázami životného cyklu,
- evolúciu modelu na základe aktuálnych dát.

2 Výsledky

Je mnoho technologických a softvérových možností ktoré môžu výrobné podniky pri plánovaní a rozvrhovaní využiť. Mnoho softvérových dodávateľov ERP riešení priamo implementujú APS do robustného ERP riešenia. Základným problémom tohto modulu stavaného do ERP riešenia je neúčinný algoritmus rozvrhovacieho modulu, ktorý obmedzuje použitie. Samotná implementácia APS riešení je komplexná problematika vyžadujúca nie len zmenu systému ale aj zmenu samotných procesov. V praxi sú bežné úspešné implementácie, ktoré v niektorých prípadoch trvajú viac než 12 mesiacov, to je spôsobené celopodnikovým nastavením procesov a nutnosti integrácie APS riešenia do prostredia už existujúceho ERP a MES systému, obr. 2. V rámci Industry 4.0 iniciatív/ digitalizačných iniciatív je ale práve implementácia APS riešenia technológiou ktorá dokáže v krátkej dobe preukázať merateľné výsledky a štandardná doba návratnosti investície do APS riešenia sa počíta v 24-36 mesiacov. Výzvy integrácie:

- vysoká počiatočná investícia,
- nároky na interoperabilitu s existujúcimi systémami,
- zmeny v organizačnej kultúre.

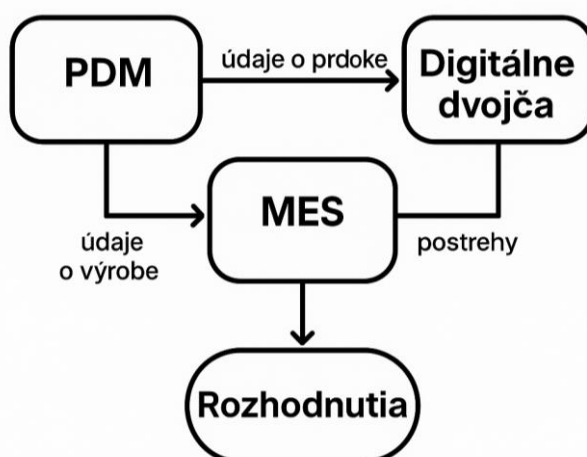
Kombináciou PDM, APS, MES a digitálneho dvojčata vzniká prostredie, v ktorom možno prijímať rozhodnutia na základe presných, aktuálnych a kontextovo prepojených dát. Z PDM sa čerpajú štruktúrované informácie o produktoch, MES zabezpečuje reálne údaje z výroby a digitálne dvojča umožňuje ich simuláciu, analýzu a optimalizáciu. Výhody integrácie:

- zjednotený pohľad na produkt a proces v celom životnom cykle,
- rýchle a presné rozhodovanie vďaka vizualizácii dát,
- možnosť testovať zmeny ešte pred ich fyzickou realizáciou,
- vyššia transparentnosť a auditovateľnosť výrobných operácií.

Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

Priemysel 4.0



Obr. 2 Prepojenie PDM, MES a digitálne dvojča
Zdroj: autor

3 Závery

Text Integrácia MES, APS, PDM systémov v kontexte digitalizácie predstavuje kľúčový pilier modernej inteligentnej výroby. Tieto nástroje umožňujú systematickú optimalizáciu výrobných procesov, zvyšujú transparentnosť, znižujú chybovosť a skracujú čas potrebný na uvedenie nových produktov do výroby. V prostredí Priemyslu 4.0 umožňujú prepojenie digitálneho a fyzického sveta prostredníctvom integrácie systémov na správu dát (PDM), riadenie výroby (MES) a modelovanie v reálnom čase (digitálne dvojča – DT). Tieto technológie nepracujú izolovane. Ich synergia vedie k vzniku inteligentných a adaptabilných výrobných systémov. S pokračujúcim rozvojom technológií a implementáciou umelej inteligencie možno očakávať ďalšie zefektívnenie výroby, podporu prediktívnych analýz a vznik nových obchodných modelov typu „as-a-service“.

Pod'akovanie

Článok bol vypracovaný s podporou projektov: APVV-17-0258 Aplikácia prvkov digitálneho inžinierstva pri inovácii a optimalizácii produkčných tokov. APVV-19-0418 Inteligentné riešenia pre zvýšenie inovačnej schopnosti podnikov v procese ich transformácie na inteligentné podniky. VEGA 1/0508/22 „Inovatívne a digitálne technológie vo výrobných a logistických procesoch a systémoch. VEGA 1/0383/25 Optimalizácia činností výrobných podnikov a ich digitalizácia pomocou vyspelých virtuálnych prostriedkov a nástrojov. KEGA 020TUKE-4/2023 Systematický rozvoj kompetenčného profilu študentov priemyselného a digitálneho inžinierstva v procese vysokoškolského vzdelávania. KEGA 003TUKE-4/2024 Inovácia profilu absolventov priemyselného inžinierstva v kontexte požadovaných znalostí a



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

špecifických spôsobilostí pre výskum a implementáciu inteligentných výrobných systémov budúcnosti.

Literatúra

- APS, 2025. *A key element to digital transformation*. [online] Available at: <https://resources.sw.siemens.com/en-US/infographic-advanced-planning-and-scheduling-for-discrete-manufacturing/> [Accessed 27 Jun. 2025].
- Gdowska, K.Z., Książek, R., 2015. Cyclic delivery-scheduling problem with synchronization of vehicles' arrivals at logistic centers. *LogForum*, 11(4), pp. 341-350.
- Grznar, P., Gregor, M., Mozol, S., Krajcovic, M., Dulina, L., Gaso, M., Major, M., 2019. A system to determine the optimal work-in-progress inventory stored in interoperation manufacturing buffers. *Sustainability*, 11(14), pp. 1-36.
- Khareat, R., Bavane, V., Jadhao, S., Morode, R., 2018. Digital twin: Manufacturing excellence through virtual factory replication. *Global Journal of Engineering Science and Researches*, 18, pp. 6-15.
- Knapcikova, L., Behunova, A., Behun, M., 2020. Using a discrete event simulation as an effective method applied in the production of recycled material. *Advances in Production Engineering & Management*, 15, pp. 431-440.
- Mauergauz, Y., 2012. Objectives and constraints in advanced planning problems with regard to scale of production output and plan hierarchical level. *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, 12, pp. 369-393.
- Mauergauz, Y., 2016. *Advanced planning and scheduling in manufacturing and supply chains*. Springer, Cham.
- Stark, J., 2015. *Product lifecycle management*. Springer. Cham.
- Straka, M., Sofranko, M., Glova, J., Vegsoova, O., Kovalcik, J., 2022. Simulation of homogeneous production processes. *International Journal of Simulation Modelling*, 21(2), pp. 214-225.
- Tao, F., Zhang, H., Liu, A., Nee, A.Y.C., 2019. Digital twin in industry: State-of-the-art. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 15(4), pp. 2405-2415.
- Wozniak, W., Sasiadek, M., Stryjski, R., Mielniczuk, J., Wojnarowski, T., 2016. An algorithmic concept for optimising the number of handling operations in an intermodal terminal node. In: *28th International Business-Information-Management-Association Conference, VISION 2020: Innovation management, development, sustainability and competitive economic growth*. Seville, Spain, pp. 1490-1500.



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

Zmena v kvalite oceľových lán po zavedení noriem rady EN 12385

Pavel Peterka^{1*}, Marcela Malindžáková²

¹ *Technická univerzita v Košiciach, Fakulta BERG, Park Komenského 14, 04200 Košice, Slovenská republika, e-mail: pavel.peterka@tuke.sk*

² *Technická univerzita v Košiciach, Fakulta BERG, Park Komenského 14, 04200 Košice, Slovenská republika, e-mail: marcela.malindzakova@tuke.sk*

** Korešpondenčný autor*

Abstract:

A steel wire rope as a machine element must meet the customer's needs with its quality. The most important attribute of a steel wire rope is its operational reliability and optimal service life. There are many ways to declare the quality of a steel rope. In this article, we discuss the parameter of the tensile dispersion of steel rope wires as a qualitative parameter affecting the service life of the rope. The ideal situation would be if all the wires of the rope were of the same tensile value. In reality, this situation cannot occur from a technological point of view, therefore manufacturers should ensure that the selection of wires woven into the rope structure has the narrowest possible tensile dispersion. In terms of wire tensile dispersion, 112 steel ropes tested in the period 2000 - 2025 were evaluated. The outputs of the article point to a change in the quality of steel wire ropes in terms of the strength dispersion of individual wires after the introduction of the EN 12385 series of standards.

Keywords:

steel wire rope, steel wire, quality, service life, wire tensile dispersion, standards

Úvod

Skúsenosti z praxe pri výkone nedeštruktívnych kontrol oceľových lán a množstvo lán podrobených mechanickému skúšaniu nás viedlo k potvrdeniu vzťahu medzi kvalitou oceľového lana a kvalitou vstupného materiálu, oceľových drôtov do konštrukcie oceľového lana. V minulosti sa danej problematike venovali Živkov a Prospechov, ktorí sa zamerali na strednú hodnotu pevnosti drôtov oceľového lana a kvalitatívne rozdelili laná do troch tried (Živkov and Prospechov, 1953). Na prácu Živkova a Prospechova nadviazali Boroška a Molnár, (Boroška, 1997; Molnár, 2010; Malindžáková and Peterka, 2025), ktorí vyhodnocovali mieru rozptylu pevnosti drôtov. Miera rozptylu pevnosti drôtov je kvalitatívny parameter pomocou, ktorého sa vyhodnocujú laná pri skúšaní jednotlivých drôtov vyplatených z lán. Normy používané v minulosti STN/ČSN 02 4301 alebo norma DIN 21 254 predpisovali maximálny rozptyl pevnosti skúšaných drôtov vyplatených z lana v intervale $\pm 10\%$ okolo priemernej hodnoty pevnosti všetkých skúšaných drôtov (DIN 21 254, STN/ČSN 02 4301). V súčasnosti sú platné normy rady EN 12385, ktoré v norme EN 12385-1 dovoľujú rozptyl v pevnosti drôtov na intervale $-50\text{MPa}/+15\%$ (EN 12385-1) z dôvodu predpokladaného



Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

zoslabenia drôtov ich vpletením do konštrukcie oceľového lana. Na základe v článku uvedených výsledkov vykonaných analýz skúšania oceľových lán v rozpätí rokov 2000 – 2025 je zrejmé, že výrobcovia pomocou riadeného výberu vstupného materiálu drôtov vpletaných do oceľových lán vedia ovplyvniť výslednú kvalitu oceľového lana.

1 Metódy a metodika

Kvalita oceľových lán sa kontroluje v zmysle noriem rady EN 12385 skúšaním lana vcelku a skúšaním lana po drôtoch. Skutočná trhacia sila lana pri trhu vcelku sa pri vyhodnocovaní porovnáva s minimálnou trhacou silou určenou výpočtom v zmysle vzťahu (1) uvedenom v norme EN 12385-2 odstavce 3.10.10.

$$F_{min} = \frac{d^2 \cdot R \cdot K}{1000} [kN] \quad (\text{EN 12385-2}) \quad (1)$$

kde: d – priemer lana [mm],

R – nominálna trieda pevnosti drôtov lana [MPa],

K – faktor minimálnej trhacej sily.

Faktor minimálnej trhacej sily sa určí pomocou faktora, ktorý zohľadňuje poníženie nosnosti drôtu lana spôsobené jeho vpletaním do konštrukcie lana k a výplňového faktora ktorý vyjadruje mieru vyplnenia obvodu oceľového lana kovom tvoreným jednotlivými drôtmí f.

$$K = \frac{\pi \cdot f \cdot k}{4} \quad (\text{EN 12385-1}) \quad (2)$$

Za kvalitné lano sa potom považuje to, u ktorého skutočná trhacia sila neklesne pod hodnotu vypočítanej minimálnej trhacej sily podľa vzťahu (1).

Pri trhu lana po jednotlivých drôtoch sa kvalita oceľového lana hodnotí podľa normy EN 12385-1 Annex B odstavce B.3.1.1, B.3.3, B.3.4.1 a B.3.5.1. V jednotlivých odstavcoch normy sú uvedené kritériá poníženia stanovenej minimálnej hodnoty ohybov a krutov určených v normách EN 10264-2 a EN 10264-3. Poníženie hodnôt pre minimálne ohyby a kruty uvedené v normách zohľadňuje poníženie nosnosti drôtov z dôvodu ich vpletenia do konštrukcie lana. Hodnoty uvedené v normách EN 10264-2 a EN 10264-3 platia len pre drôty skúšané pred ich vpletením do konštrukcie lana. Pred rokom 2008, kedy oceľové laná sa hodnotili podľa slovenských resp. českých technických noriem prípadne nemeckých DIN noriem pojem poníženia nosnosti drôtu nebol v norme uvádzaný. Vyššie uvedené normy STN/ČSN 024301 a norma DIN 21 254 v článku 4.1.3 zhodne považovali za prípustný rozptyl skutočnej triedy pevnosti jednotlivých drôtov za rovnaký pre drôty pred vpletením aj po vpletení do konštrukcie lana. Rozptyl skutočnej triedy pevnosti skúšaných drôtov zhodne obe normy stanovovali na +/- 10% od strednej hodnoty pevnosti skúšaných drôtov (DIN 21 254, STN/ČSN 024301). Po roku 2008 zavedením noriem rady EN 12385 došlo k zavedeniu faktora poníženia nosnosti drôtu



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

z dôvodu jeho vpletenia do konštrukcie lana. Pre skutočnú triedu pevnosti získanú pri trhacej skúške jednotlivých drôtov vypletených z oceľového lana stanovuje norma EN 12385-1 v Annexe B 3.3 toleranciu $-50\text{MPa}/+15\%$ (EN 12385-1). Pre drôty pred vpletením do konštrukcie oceľového lana norma EN 12385-1 predpisuje interval skutočnej triedy pevnosti na $0/+15\%$. Pre určenie kvality drôtov lana má podľa prác (Molnár, 2010; Boroška, 1997; Živkov and Prospechov, 1953) význam sledovanie rozptylu triedy pevnosti drôtov. Hodnoty ohybov a krutov nie sú smerodajné a nie je podľa týchto hodnôt možné sledovať trend kvality materiálu drôtu oceľového lana. V minulosti sa sledovaniu kvality oceľového lana z hľadiska rozptylu skutočne nameranej triedy pevnosti venovali (Molnár, 2010; Boroška, 1997; Živkov and Prospechov, 1953).

2 Výsledky

V Skúšobni oceľových lán bolo v rokoch 2000 – 2025 vyskúšaných metodikou po drôtoch 112 lán. Pri vyhodnotení všetkých skúšaných lán je viditeľná zmena v kvalite skúšaných oceľových lán po roku 2008 (rok zavedenia rady noriem EN 12385).

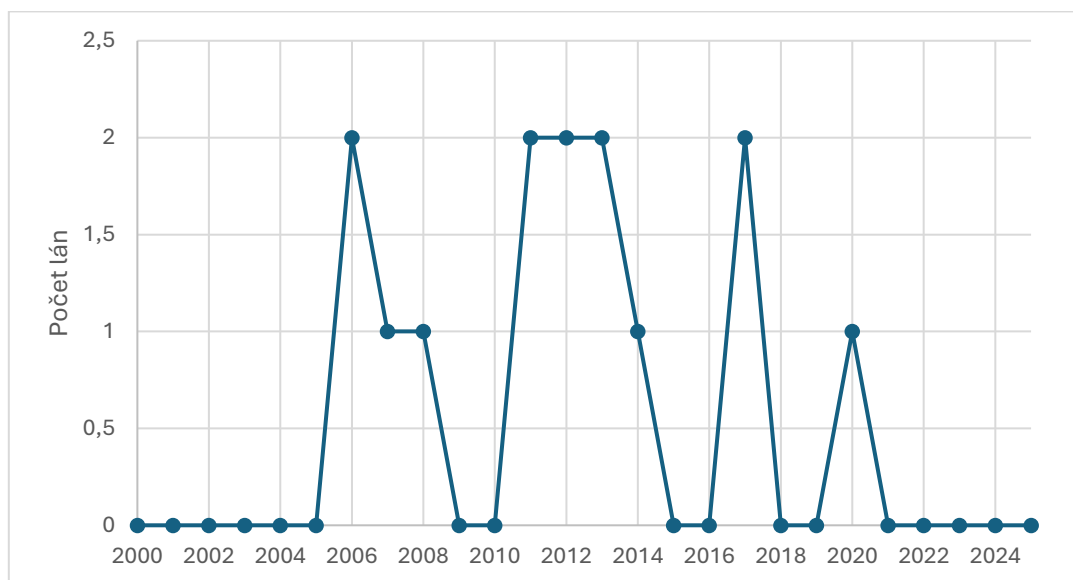
Obr. 1 zobrazuje početnosť nevyhovujúcich oceľových lán, ktoré nevyhovujú intervalu skutočnej triedy pevnosti jednotlivých drôtov vyhodnocovaných podľa kritérií stanovených normou EN 12385-1 annex B 3.3. $-50\text{MPa}/+15\%$.

Z priebehu zobrazenom na Obr. 1 je zrejмый nárast počtu vyradených lán z dôvodu nevyhovujúcich mechanických vlastností vzhľadom ku kritériám stanovených normou EN 12385-1.

Na Obr. 2 je zobrazený priebeh prezentujúci početnosť lán s úzkym rozptylom pevnosti drôtov, ktorý bol stanovený na interval $-5/+5\%$. Z analýzy je zrejmý pokles početnosti lán po roku 2008. Rovnako je vidieť pokles početnosti lán po roku 2008, ak by boli laná vyhodnocované kritériami stanovenými normami DIN 21 254 alebo STN/ČSN 02 4301 (Obr. 3). Tu bolo stanovené kritérium rozptylu pevnosti na intervale $-10/+10\%$ od priemernej hodnoty pevnosti skúšaných drôtov.

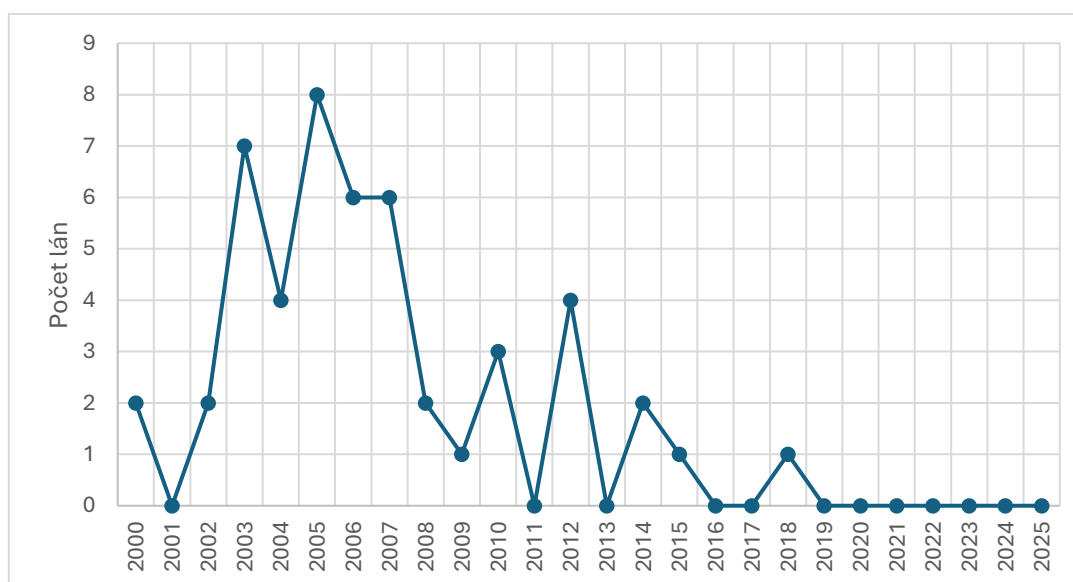


**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie ocelových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**



Obr. 1 Priebeh počtu nevyhovujúcich lán v rokoch 2000 – 2025

Zdroj: autori

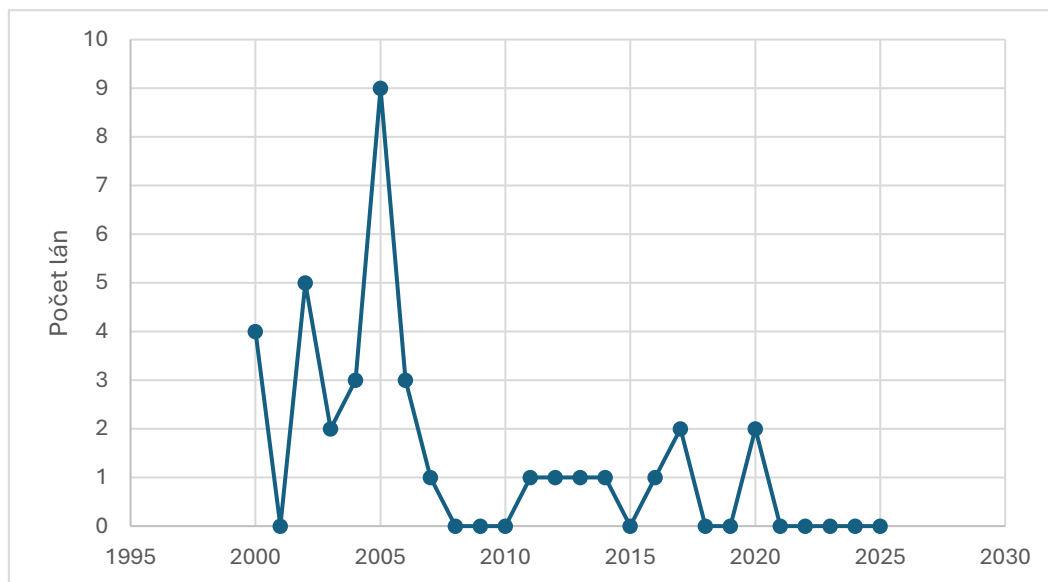


Obr. 2 Priebeh počtu skúšaných ocelových lán v rokoch 2000 -2025 spĺňajúce kritérium rozptylu triedy pevnosti -5%/+5%

Zdroj: autori



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

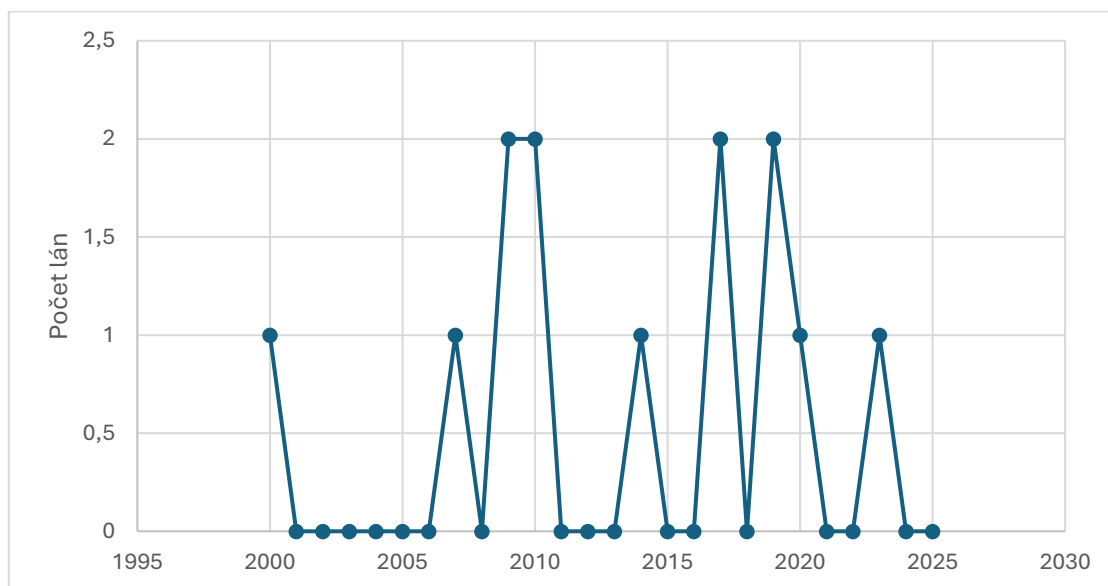


Obr. 3 *Priebeh počtu skúšaných oceľových lán v rokoch 2000 -2025 spĺňajúce kritérium rozptylu triedy pevnosti -10%/+10%*
Zdroj: autori

Porovnaním Obr. 3 a 4 je vidieť ako rok 2008 ovplyvnil kvalitu oceľových lán zavedením širokého interval rozptylu skutočnej pevnosti drôtov lán. Do roku 2008 výrobcovia dosahovali rozptyl v intervale -10%/10%. Po roku 2008 sa početnosť oceľových lán zvýšila v intervale - 50MPa/+15% čo prezentuje Obr. 4.



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**



Obr. 4 Priebeh počtu skúšaných oceľových lán v rokoch 2000 -2025 spĺňajúce kritérium rozptylu triedy pevnosti -50MPa/+15%.

Zdroj: autori

3 Závery

Na základe vyššie uvedených analýz je možné konštatovať, že výrobcovia sú schopní vyrobiť lano s malým rozptylom pevnosti drôtov. Analýza dokázala, že je možné vyrábať laná s rozptylom -5/+5% a v tejto kvalite boli schopní vyrábať aj menej renomovaní výrobcovia. Z vyššie uvedených priebehov a analýz je zrejmé ako zavedenie rady noriem EN 12385 ovplyvnili výrobu lán a ako zavedenie koeficientu zohľadňujúceho vplet drôtu do konštrukcie lana posunul kvalitu lán mimo obvyklé intervaly kvality materiálu drôtov. V poslednej dobe je pozorovateľný zlepšujúci sa trend v oblasti kvality lán, kedy sa výrobcovia postupne na tlak užívateľov a trhu vracajú späť do intervalov rozptylu pevnosti drôtov -5%/+5%.

Pod'akovanie

Publikácia bola spracovaná v rámci projektu VEGA 1/0114/25.

Literatúra

Boroška, J., Krešák, J., Peterka, P., 1997. Estimation of quality for steel wire ropes according to their mechanical properties. *Acta Montanistica Slovaca* 1, (2), pp. 37-42.



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

Costello, G. A., et al., 1997. Theory of wire rope. 2nd ed., Springer Sciences and Business Media New York, ISBN 978-1-4612-7361-5.

DIN 21 254, 1969. Förderseile, Technische Lieferbedingungen, Neplatné norma.

EN 12385, 2008. Steel wire ropes – Safety - Part 1: General requirements.

Malindžaková, M., Peterka, P., 2025, Operational reliability of steel ropes in terms of mechanical properties of wires using control charts, *Applied Sciences*, 15(14), 7875.

Molnár, V., Boroška, J., Dečmanová1, J., 2010. Mechanical properties of steel rope wires -- quality test assurance, *Acta Montanistica Slovaca*. 1(15), pp. 23-30.

STN 02 4301, 1974, Oceľové laná, Technické dodacie predpisy, Neplatná norma.

Žitkov, E.I., Pospechov, F.P., 1953, Staľnyje konaty dlja podzemnotransportnyh mašin. Metalurgizdet, Moskva.



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

Possibilities of using artificial intelligence for logistics needs

Martin Straka ^{1*}, Kristína Kleinová ², Jakub Kovalčík ³, Peter Kačmár ⁴

¹ Faculty of Mining, Ecology, Process Control and Geotechnologies, Technical University of Košice, Park Komenského 14, 04001 Košice, Slovakia, e-mail: martin.straka@tuke.sk

² Faculty of Mining, Ecology, Process Control and Geotechnologies, Technical University of Košice, Park Komenského 14, 040 01 Košice, Slovakia, e-mail: kristina.kleinova@tuke.sk

³ Faculty of Mining, Ecology, Process Control and Geotechnologies, Technical University of Košice, Park Komenského 14, 040 01 Košice, Slovakia, e-mail: jakub.kovalcik@tuke.sk

⁴ Faculty of Mining, Ecology, Process Control and Geotechnologies, Technical University of Košice, Park Komenského 14, 040 01 Košice, Slovakia, e-mail: peter.kacmary@tuke.sk

* Corresponding author

Abstract:

This scientific article explores the possibilities of using artificial intelligence (AI) in the field of logistics. It presents an overview of AI technologies and their potential applications in various logistics processes, such as cost optimization, distribution planning, route generation, and inventory management. The article focuses on comparing traditional methods with AI-driven approaches, highlighting differences in efficiency, accuracy, and adaptability of solutions. The aim is to demonstrate the potential of artificial intelligence to streamline logistics operations and to identify opportunities for further research and development in this rapidly evolving area.

Key words:

logistics, artificial intelligence, optimization

Introduction

In the continuously evolving global trade environment, the logistics sector plays a crucial role, facing complex challenges related to efficiency, costs, and customer satisfaction. Intelligent solutions based on artificial intelligence (AI) impact many aspects of these processes — from route planning and predictive inventory management to warehouse automation (Hendriksen, 2023; Shahzadi et al., 2024).

A comprehensive overview shows that technological, organizational, and environmental factors significantly influence the adoption of AI in supply chain management, with implementations affecting operational, economic, and sustainable performance of organizations (Shahzadi et al., 2024). Further research indicates that AI supports the emergence of intelligent and adaptive logistics networks, especially in the context of growing needs for resilience against disruptions (Allahham et al., 2024). In the area of prediction and sustainability, it has been demonstrated that AI helps small and medium-sized enterprises (SMEs) utilize resources more efficiently,



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

reduce energy consumption, and improve environmental performance (Paul et al., 2024). Simultaneously, combining Transformer architectures with graph neural networks (GNN) enables route optimization that reduces overall transportation load (Luo).

In logistics, ant colony heuristics have proven effective for complex route planning of autonomous logistics robots (Zhao et al., 2025). Significant progress has also been made by combining reinforcement learning with genetic algorithms, achieving substantial computational speedups in solving Vehicle Routing Problems (Greenberg et al., 2025).

AI also plays a key role in risk management within supply chains — models such as Random Forest and XGBoost significantly improve predictive accuracy and help managers anticipate potential threats in real time (Jahin et al., 2023). The benefits of AI in transparency and decision-making are evident in highly dynamic environments, helping reduce errors and improve data access (Ahmed, 2023).

Finally, literature reviews emphasize the need for interdisciplinary approaches when implementing AI in practice, as well as the importance of adapting organizational processes and investing in digital competencies (Gomes and Morais, 2023). These findings provide a solid scientific framework for further research and effective implementation of AI in logistics practice.

1 Methods and methodology

Logistics, as a crucial component of economic processes, ensures that goods are delivered to the right place, at the right time, and in the required condition. In the environment of the modern digital economy—characterized by extensive use of the internet and data platforms—favorable conditions have emerged for the implementation of artificial intelligence (AI) in logistics processes. AI enables the automation of supply chain management without the need for constant human intervention, fundamentally transforming logistics operations. Organizations that fail to adapt to these technological changes risk losing their long-term competitiveness.

The rapid development of artificial intelligence and its interdisciplinary nature—connecting mathematics, computer science, linguistics, psychology, and other fields—has led to a broad spectrum of applications in logistics. Algorithms and data flows, which are the foundation of AI, vary in complexity depending on the specific level of implementation. AI is becoming a key element of the digital transformation of supply chains, increasing their transparency and ability to respond to dynamically changing market conditions. Supply chains generate vast amounts of structured and unstructured data, which AI can process efficiently and convert into actionable insights.

The use of artificial intelligence in logistics can be identified in the following areas:



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

- Route optimization: AI analyzes historical and current traffic data to determine the most suitable delivery routes, aiming to reduce transportation costs, fuel consumption, and delivery times.
- Demand forecasting: Based on data analysis, AI enables more efficient inventory planning, helping to prevent stockouts and overstocking.
- Warehouse automation: Intelligent robotic systems can perform sorting, packing, and inventory management, leading to cost reductions and faster order processing.
- Supply chain monitoring: AI allows real-time tracking of shipments, identification of issues, and quick response to disruptions.
- Predictive maintenance: AI predicts technical failures, reducing downtime and improving the reliability of equipment and vehicles.
- Natural language processing (NLP): Enhances communication with customers and partners through chatbots and automated responses.
- Risk management: AI evaluates external factors (e.g., political or climatic risks) and suggests alternative solutions.
- Autonomous vehicles: Self-driving trucks have the potential to radically transform transportation by reducing labor requirements and transport costs.
- Dynamic pricing: AI can adjust prices in real time based on demand, market changes, and competitive behavior.
- Procurement and sourcing: Supports effective supplier selection and strategic procurement planning.
- Production management: In emergency situations, AI enables quick responses and flexible production management based on data inputs.
- Warehouse management: AI-integrated WMS systems optimize product placement and order fulfillment accuracy.
- Smart packaging: Automated systems supported by AI ensure efficient packaging, product identification, and reverse logistics management.
- Distribution: AI gathers and analyzes data to optimize physical distribution and improve operational performance.
- CRM and customer analytics: AI supports demand planning, collaborative forecasting, inventory replenishment (CPFR), customer service personalization, retention, and behavioral analysis.
- Other applications: These include peak load prediction in logistics centers, decision support, healthcare logistics, and cybersecurity.



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

- It follows that artificial intelligence is not merely a supplementary tool but is becoming an integral part of modern logistics, with the potential to significantly influence its future development (Dilmegani, 2025).

1.1 Application of artificial intelligence in logistics process optimization: comparative approaches

In the context of the growing importance of digitalization and automation in logistics, increasing attention is being given to the effective use of artificial intelligence (AI) as a tool for enhancing the performance and adaptability of supply chains. This section focuses on the analysis of selected logistics-related problems and compares traditional solution methods with approaches based on AI principles (Pamilerin and Lorriane, 2024).

The focus is placed on key areas such as distribution planning, route optimization, inventory management, and resource allocation processes. By comparing the outcomes of both approaches, it is possible to observe differences in efficiency, cost-effectiveness, and adaptability. In this context, AI emerges as a significant tool for increasing decision-making accuracy, reducing response times, and lowering operational costs in dynamic environments (Sharma et al., 2024).

The analytical evaluation of these approaches also provides a foundation for further research aimed at a systematic comparison of traditional allocation methods based on quadratic distance and modern algorithmic solutions powered by AI. Such a comparison will enable a more in-depth assessment of performance differences between deterministic and intelligent systems in the spatial distribution and allocation of resources within the logistics network (Chen et al., 2025).

2 Results

2.1 Recalculation using manual math

The quadratic distance allocation method represents an effective computational approach for determining the spatial location of a logistics facility, considering the square of the Euclidean distance between the distribution centre and individual delivery points. This method is particularly suitable in scenarios where transportation costs increase non-linearly with distance, thus penalizing more distant locations more heavily.

In this case, the task was to identify the optimal location of a distribution centre (DC) serving seven existing customer locations within the Košice and Prešov regions of Slovakia (Fig. 1). Each city was assigned Cartesian coordinates (X, Y) along with specific values for cargo volume and unit transport cost (Tab. 1).

Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

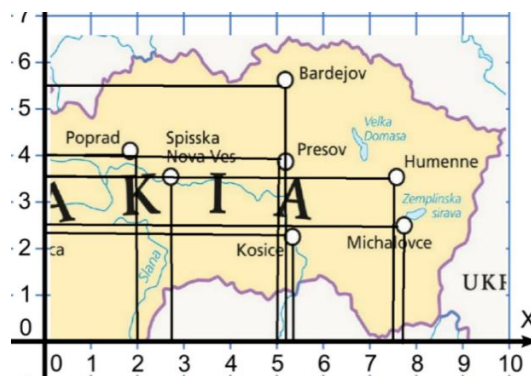


Fig. 1 Map of distribution points
Source: author

Tab. 1 Input data

Customer	Quantity	Price [€]	X	Y
Košice	200	20	5.2	2.4
Prešov	170	15	5	4
Bardejov	150	17	5.1	5.5
Humenné	100	10	7.5	3.6
Michalovce	120	16	7.7	2.5
SNV	145	13	2.8	3.6
Poprad	155	17	2	4

Source: author

The optimization was carried out using the weighted centre of quadratic distance formulas:

$$XDc = \frac{\sum(M_i \cdot C_i \cdot X_i)}{\sum(M_i \cdot C_i)} \quad (1)$$

$$YDc = \frac{\sum(M_i \cdot C_i \cdot Y_i)}{\sum(M_i \cdot C_i)} \quad (2)$$

Where M_i represents the quantity transported, C_i the unit transportation cost, and (X_i, Y_i) the coordinates of the respective location.

After inserting the input values, the optimal location of the distribution centre was calculated to be at point [4.8;3.6]. This point was visualized on a map, revealing that its position does not coincide with any specific city, which demonstrates the method's capability to generate new locations (Fig. 2) outside the existing network nodes (Drezner and Hamacher, 2002).

Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

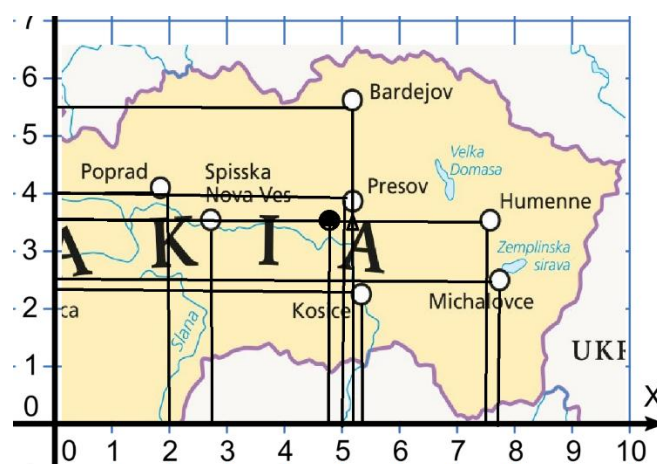


Fig. 2 Distribution centre location on the map

Source: author

This computational approach forms a foundational component for further comparative analysis in subsequent sections, where it will be evaluated alongside alternative methods, such as rectilinear distance allocation and Cooper's iterative method. As part of the broader scientific investigation, the results will also be contrasted with AI-driven solutions, providing a comprehensive understanding of the suitability of various approaches for supporting decision-making in distribution logistics (Pamilerin and Lorriane, 2024).

2.2 Solving the allocation problem using artificial intelligence (ChatGPT)

The growing capabilities of generative artificial intelligence open new perspectives for solving classical logistics problems through human-language-based interfaces. In this context, transformer-based models such as ChatGPT offer not only the ability to communicate in natural language but also to execute symbolic reasoning, perform numerical calculations, and interpret optimization tasks without the need for custom software development (Pamilerin and Lorriane, 2024).

To demonstrate this, the same allocation problem described in Section 2.1 was reformulated as a language-based query. The goal was to determine the optimal location of a distribution centre using the method of quadratic distance, considering the transport volume, unit cost, and coordinates of seven delivery points.

Input prompt to ChatGPT model:

The AI model was presented with a semi-structured query:

Prompt:



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

“We have seven customer locations with coordinates (X, Y), transport volumes M, and unit costs C. Use the weighted quadratic distance formula to calculate the optimal coordinates (X_{DC}; Y_{DC})

The formulas are:

$$XDc = \frac{\sum(Mi \cdot Ci \cdot Xi)}{\sum(Mi \cdot Ci)} \quad (3)$$

$$YDc = \frac{\sum(Mi \cdot Ci \cdot Yi)}{\sum(Mi \cdot Ci)} \quad (4)$$

The values are:

- City 1: X=2, Y=3, M=120, C=0.5
- City 2: X=4, Y=2, M=95, C=0.4
- ...
[full dataset entered]”

The AI model processed the input and returned the calculated result:

Output:

“The optimal location of the distribution centre is approximately at coordinates X = 4.8, Y = 3.6.”

This output matched the result from the manual computation using the same data (see Tab. 1). The automated processing of symbolic equations, correct summation logic, and accurate numerical rounding confirm the AI model's capacity to handle complex mathematical procedures with minimal user intervention (Chen et al., 2025).

3 Conclusions

The analysis conducted in the previous chapters demonstrates that artificial intelligence (AI), exemplified by models such as ChatGPT, is capable of effectively solving optimization problems in logistics that have traditionally been approached through mathematical methods. Using the example of distribution centre allocation based on quadratic distance, it was shown that a language model can interpret input data, apply the correct formulas, and provide results that are comparable with manual computations (Pamilerin and Lorriane, 2024; Chen et al., 2025).

A key advantage of this approach lies in its accessibility and ease of use. The user does not require advanced knowledge of mathematics or programming—only a well-structured natural language input. This creates the potential for broader application of AI tools in decision-making processes in small and medium-sized enterprises, as well as in educational environments (Sharma et al., 2024).



Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

The results obtained through traditional and AI-based methods are compared in the Tab. 2.

Tab. 2 *Comparison of allocation by traditional method vs. AI-based approach*

Parameter	Traditional Method	ChatGPT (AI Model)
Input Format	Numeric / Tabular	Natural language / Structured prompt
Output Coordinates	[4.8; 3.6]	[4.8; 3.6]
Calculation Time	Manual (2–5 min)	Instantaneous
Programming Required	Optional	None
Interpretability of Result	High	High
Required Expertise	Medium to High	Low to Medium
Output Coordinates	[4.8; 3.6]	[4.8; 3.6]
Calculation Time	Manual (2–5 min)	Instantaneous

Source: author

Although the AI-based solution does not perform real-world constraint validation and lacks transparency in intermediate calculation steps, its strengths lie in speed, flexibility, and low user input. In the future, such models may be used as prototyping and decision-support tools integrated into enterprise environments—for example, through linkage with ERP or WMS systems (Sharma et al., 2024).

This chapter highlights the transformative potential of AI tools in logistics decision-making and lays the groundwork for further research focused on the systematic comparison of classical optimization methods with AI-generated solutions, taking into account accuracy, computational time, and real-time adaptability.

Acknowledgement

This research was funded by the project KEGA 010TUKE-4/2023 Application of educational robots in the teaching process of the industrial logistics study program.

References

- Ahmed, A. 2023. Artificial intelligence's integration in supply chain management: A comprehensive review. *European Economics Letters*, 13(3), pp. 1512-1527.
- Allahham, M., et al. 2024. Intelligent Supply Chain Management: A Systematic Literature Review on Artificial Intelligence Contributions. *Information*, 16(5), 399.
- Chen, Y., et al. 2025. Designing and deploying AI models for sustainable logistics optimization: A case study on eco-efficient supply chains in the USA. *arXiv preprint*,



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

arXiv:2503.14556.

- Dilmegani, C. 2025. *Top 15 logistics AI use cases and examples in 2025: Supply chain and logistics*. [online] Available at: <<https://research.aimultiple.com/logistics-ai/>> [Accessed 30 Jun 2025]
- Drezner, Z., Hamacher, H.W. 2002. *Facility Location: Applications and Theory*. Springer, Berlin.
- Gomes, R., Morais, W. 2023. The use of artificial intelligence in supply chain management: A bibliographic review. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 18(02), pp. 28-33.
- Greenberg, I., Sielski, P., Linsenmaier, H., et al. 2025. Accelerating vehicle routing via AI-initialized genetic algorithms. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2504.06126>
- Hendriksen, C. 2023. Artificial intelligence for supply chain management: Disruptive innovation or innovative disruption. *Journal of Supply Chain Management*, 59, pp. 65-76.
- Jahin, M.A., Naife, S.A., Saha, A.K., Mridha, M.F. 2023. AI in Supply chain risk assessment: A systematic literature review and bibliometric analysis. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2401.10895>
- Luo, H., Wei, J., Zhao, S., et al. 2025. Enhancing robot route optimization in smart logistics with transformer and GNN integration. *arXiv*. <https://arxiv.org/pdf/2501.02749?>
- Pamilerin, B., Lorriane, S. 2024. The role of artificial intelligence and machine learning in optimizing supply chain management: A comparative study of developed and developing countries. *EasyChair Preprint*, 12902.
- Paul, P.O., Aderoju, A.V., Shitu, K., et al. 2024. Predictive analytics and AI in sustainable logistics: A review of applications and impact on SMEs. *Magna Scientia Advanced Research and Reviews*, 12(01), pp. 231-251.
- Shahzadi, G., Jia, F., Chen, L., & John, A. 2024. AI adoption in supply chain management: a systematic literature review. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 1125, pp. 1-26.
- Sharma, S., et al. 2024. Artificial intelligence in logistics optimization with sustainable criteria: A review. *Sustainability*, 16(21), 9145.
- Zhao, H., Ma, Z., Liu, L., et al. 2025. Optimized path planning for logistics robots using ant colony algorithm under multiple constraints. *arXiv*. <https://arxiv.org/pdf/2504.05339>



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

Inspekce závěsných lan rypadla metodou magnetické paměti kovů (MPK)

Václav Svoboda ^{1*}, Kamil Molnár ²

¹ Preditest s.r.o., Pod Višňovkou 1662/23, 14000 Praha 4, Česká republika,
e-mail: svoboda@preditest.cz

² Preditest s.r.o., Pod Višňovkou 1662/23, 14000 Praha 4, Česká republika,
e-mail: preditest@preditest.cz

* Korešpondenční autor

Abstract:

The inspection program, including the design and manufacture of a mobile fixture for using a multi-channel metal magnetic memory (MMM) measuring device on a hanging rope along its entire length, was designed based on a request from Severočeské doly a.s. to perform an inspection of the hanging ropes of the SchRs 1320 excavator. The subject of the inspection was 4 pieces of the excavator's hanging ropes. Two ropes for the suspension of the wheel boom and two ropes for the suspension of the counterweight.

Key words:

inspection, hanging ropes, excavator, MMM method

Úvod

Na základě požadavku společnosti Severočeské doly a.s. na provedení inspekční prohlídky závěsných lan rypadla SchRs 1320 (viz Obr. 1), byl navržen inspekční program zahrnující návrh a výrobu pojízdného přípravku pro použití vícekanálové měřicí aparatury magnetické paměti kovů (MPK) na závěsném lanu v celé jeho délce (viz Obr. 2). Předmětem inspekce jsou 4 ks závěsných lan rypadla (Protokol č. 02-5-1356/22-MPK, 2025). Dvě lana zavěšení kolesového výložníku a dvě lana zavěšení protizávaží. Označení jednotlivých závěsných lan je patrné z Obr. 1.

**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**



***Obr. 1** Rypadlo SchRs 1320 a schéma měřených závěsných lan
Zdroj: autor*



***Obr. 2** Pojízdný přípravek pro použití vícekanálové měřicí aparatury
Zdroj: autor*



Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

1 Metódy a metodika

1.1 Použitá metodika měření

Metoda MPK (Magnetická Paměť Kovů) je NDT metoda založená na snímání intenzity magnetického pole H_p ve formě zbytkové magnetizace na povrchu materiálu pomocí jedné nebo více sond (v našem případě šest), z nichž každá snímá magnetické pole ve dvou na sebe kolmých rovinách. Zbytková magnetizace materiálu je ovlivňována procesem výroby, obráběním, dělením, svařováním, ohýbáním, tepelným zpracováním, ochlazováním, provozním namáháním, korozi materiálu atd.

Velmi důležitým faktorem ovlivňujícím magnetickou paměť kovů jsou degradační procesy vyvolané provozním namáháním a podmínkami, kterým je kovová konstrukce vystavena.

V případě nosných lan dále přistupují k degradačním procesům pochody koroze, koroze pod napětím a případné negativní vlivy z průběhu montáže. Tyto vlivy, které snižují ve svém důsledku životnost, lze zachytit aplikovanou metodou MPK ve formě magnetogramu, tj. závislosti intenzity magnetického pole na vzdálenosti sondy L_x od počátku měření.

Speciálním snímačem (viz Obr. 4), na kterém jsou umístěny sondy, se přejíždí na povrchu nad lanem v jeho ose a enkodér snímacího zařízení odměřuje vzdálenost. Signál z jednotlivých kanálů se spolu se vzdáleností zaznamenává v digitální podobě do paměti přístroje (viz Obr. 3) a zobrazuje se na displeji v grafické podobě buď přímo jako H_p , nebo v podobě gradientu dH_p/dx v závislosti na ujeté dráze L_x .

Data uložená v paměti lze pomocí příslušného softwaru přenést do PC a zde pomocí speciálního softwaru analyzovat, případně vytisknout v podobě grafu (tzv. magnetogram). Na základě vyhodnocení pak můžeme určit zóny se zvýšenou koncentrací napětí SCZ (Stress Concentration Zones), kde je zvýšená pravděpodobnost výskytu defektů v materiálu. Koncentrace napětí je úměrná naměřené velikosti gradientu intenzity magnetického pole v okolí daného místa. Podstatnou výhodou této NDT metody je rychlost měření a také vysoká citlivost.

1.2 Použitá měřicí technika

Pro provedení inspekce metodou MPK v celé délce lana byl navržen a vyroben speciální nosný vozík pro měřicí vícekanálovou aparaturu MPK (viz Obr. 2). Jeho pohyb podél dráhy lana byl zajištěn navíjecím lankem umožňující rovnoměrný pohyb měřicích senzorů a odpovídajícího enkodéru zaznamenávajícího měření délky podél lana. Správná funkce systému byla ověřena zkušebním provozem. Pro inspekci lan MPK byla použita měřicí aparatura v sestavě:

- Vícekanálový snímač MPK typ No.6-12M-214 - Obr. 4
- Vícekanálový snímač MPK typ No.1-8э-003
- Tester of Stress Concentration – TSC-7M-16 vyhodnocovací jednotka - Obr. 3
- SW MMM-Systém 4 (4.3.14.492)

**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie ocelových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

- Vícekanálová aparatura vířivých proudů TSC-8M-4 - Obr. 5
- Snímač vířivých proudů 1-MEC-4-012



Obr. 3 Vyhodnocovací jednotka TSC-7M-16
Zdroj: autor



Obr. 4 Vícekanálový snímač No.6-12M-214
Zdroj: autor

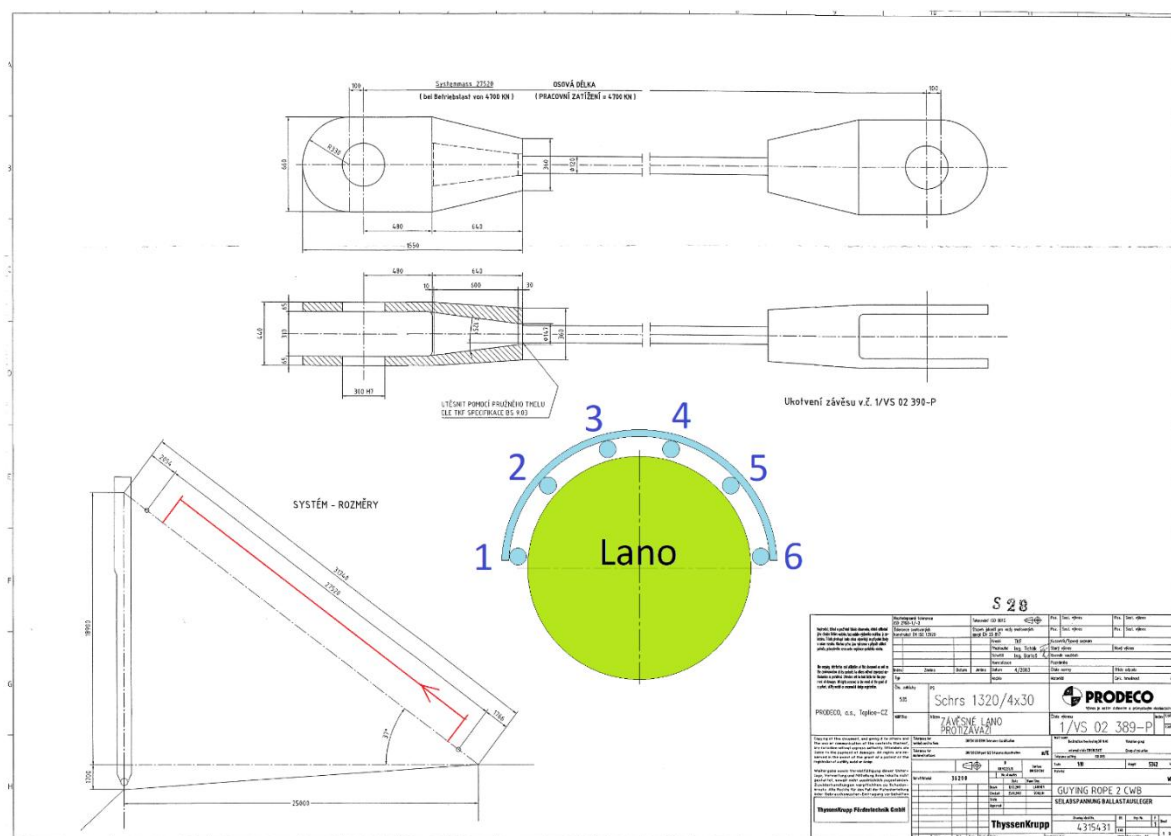


Obr. 5 Měřicí souprava vířivých proudů
Zdroj: autor

Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment
Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

1.3 Postup inspekce

Vlastní inspekce jednotlivých lan byla realizována postupně opakovaným měřením na jednotlivých lanech. Postup měření je zřejmý z Obr. 6.



Obr. 6 Postup měření a rozmístění jednotlivých sond na laně

Zdroj: autor

2. Výsledky

Zaznamenané výsledky z měření MPK jsou uloženy v elektronické podobě v datových souborech a archivovány pro porovnání s budoucím měřením. Z těchto údajů byly zpracovány magnetogramy napětí. V těchto magnetogramech je vynesena závislost H_p a gradientu intenzity magnetického pole dH_p/dx na dráze sond Lx . Všechny získané datové soubory byly vyhodnoceny. Pozornost byla věnována těm magnetogramům, kde se vyskytly SCZ a kde mohlo dojít ke vzniku defektu materiálu vlivem provozních podmínek, namáhání materiálu, koroze apod.



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

Základní parametr hodnocení je dále ovlivněn charakterem vlastních magnetogramů, které korigují tento základní parametr. Z tohoto důvodu jsou některé amplitudy gradientů překračující stanovenou hodnotu hodnoceny jako rušivé. Ovlivněné z důvodu zastavení, nerovnosti lana, blízkosti kovových předmětů nebo křížení elektrické instalace.

Na základě postupné inspekce jednotlivých lan metodou MPK bylo provedeno vyhodnocení opakovaně naměřených souborů dat dle speciálního programového vybavení MMM Systém 4.

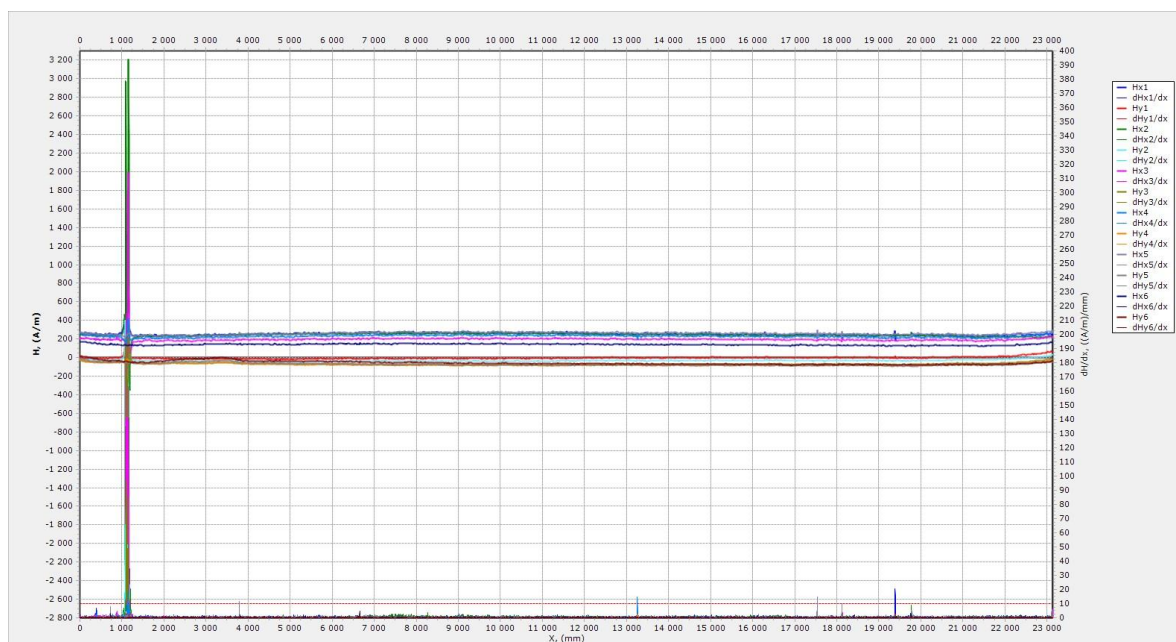
2.1 Vyhodnocení výsledků lana 1

Výsledky měření na laně 1 jsou přehledně uvedeny v Obr. 7. Intenzita jednotlivých magnetogramů vykazuje v celé měřené délce rovnoměrnost s výjimkou oblasti v dolní části lana cca 1,7 m od jeho ukotvení. Detailní zobrazení tohoto místa je zaznamenáno na Obr. 8. V této oblasti byly opakovaným měřením zjištěny výrazně zvýšené gradienty (zóny se zvýšenou koncentrací napětí SCZ) v délce cca 10 cm, jak je zřejmé z Obr. 9 (změna intenzity magnetického pole). A Obr. 10 (výrazný gradient zóny koncentrace namáhání). V této oblasti zvýšených koncentrací namáhání byla aplikována metoda vířivých proudů přístrojem TSC-8M-4 s měřicí sondou 1-MEC-4-012 používaná na zjišťování povrchových a podpovrchových defektů typu trhlin. Maximální citlivost sondy je 0,2 mm ve směru hloubky defektu. V dané oblasti nebyl zjištěn výskyt povrchových trhlin na vnějších vláknech nosného lana. Tato skutečnost potvrdila i detailní vizuální inspekce dané oblasti.

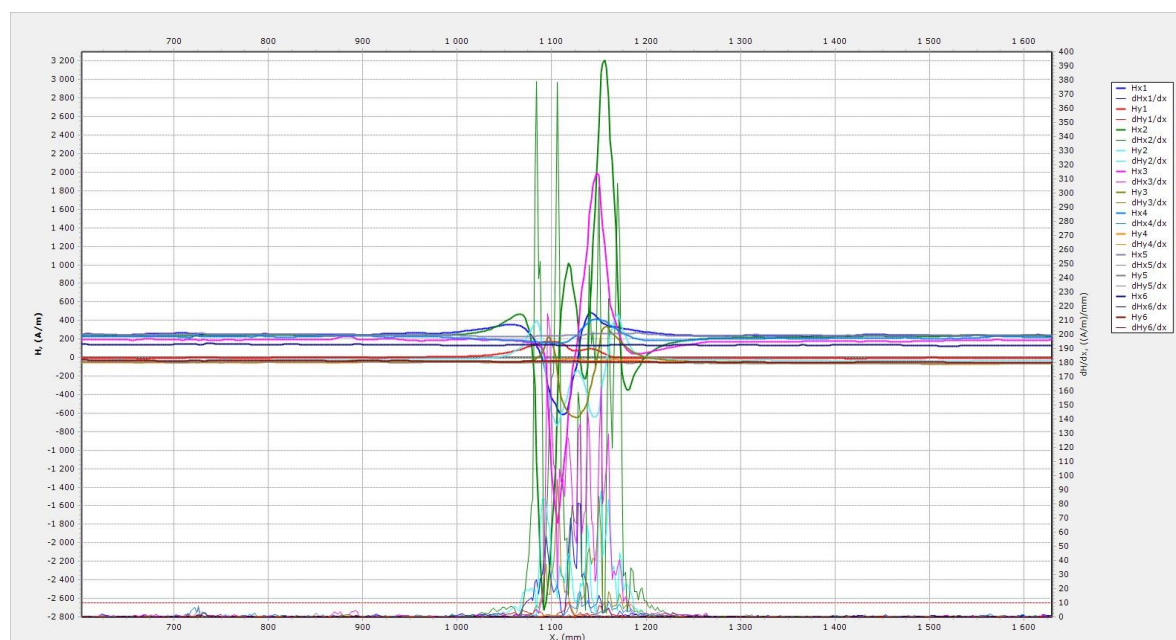
Je zřejmé že další změny průběhu magnetogramu v tomto místě jsou vyvolány změnami vlastností materiálu v dané oblasti. Tyto změny s velmi výraznými gradienty zón se zvýšenou koncentrací napětí SCZ mohou být způsobeny uvnitř nosného lana lokální korozi vnitřních vláken lana spolu s korozi nebo výraznou deformací vnitřních drátů, která může vést k jejich přetržení (lomu) vlivem únavového zatížení při provozu. Tyto skutečnosti byly potvrzeny z řady experimentálních prací zkorodovaných lan. Ostatní části nosného lana nevykazují výrazné změny v chování materiálu lana.



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie ocelových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**



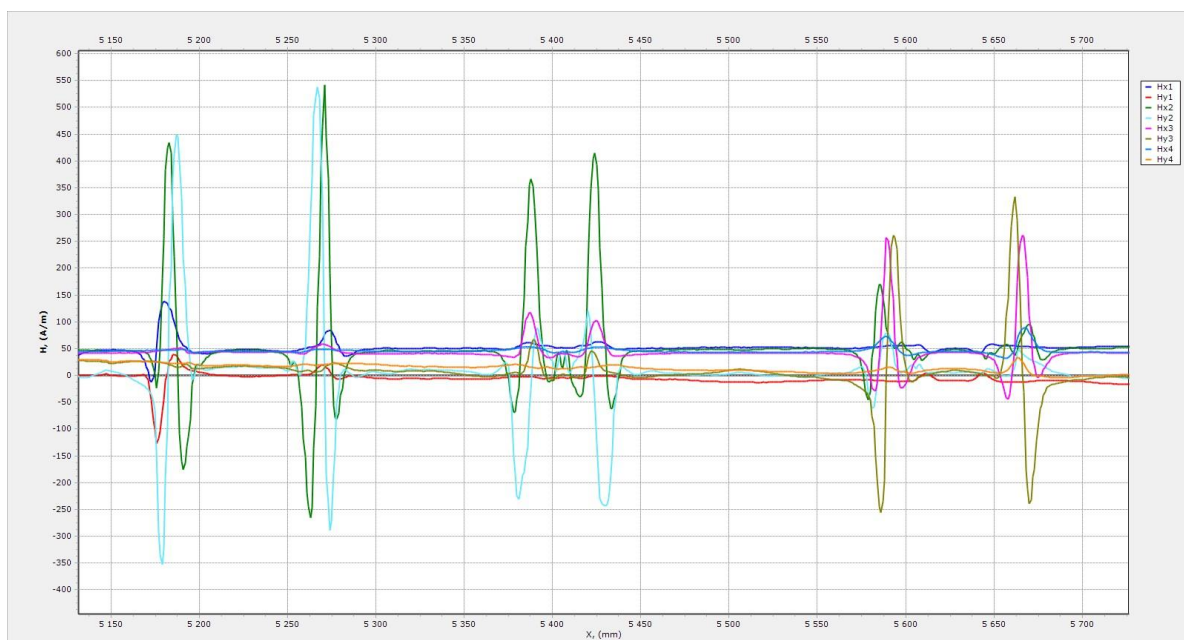
Obr. 7 Magnetogram lano 1
Zdroj: autor



Obr. 8 Magnetogram lano 1 - detail oblasti zóny se zvýšenou koncentrací napětí
Zdroj: autor

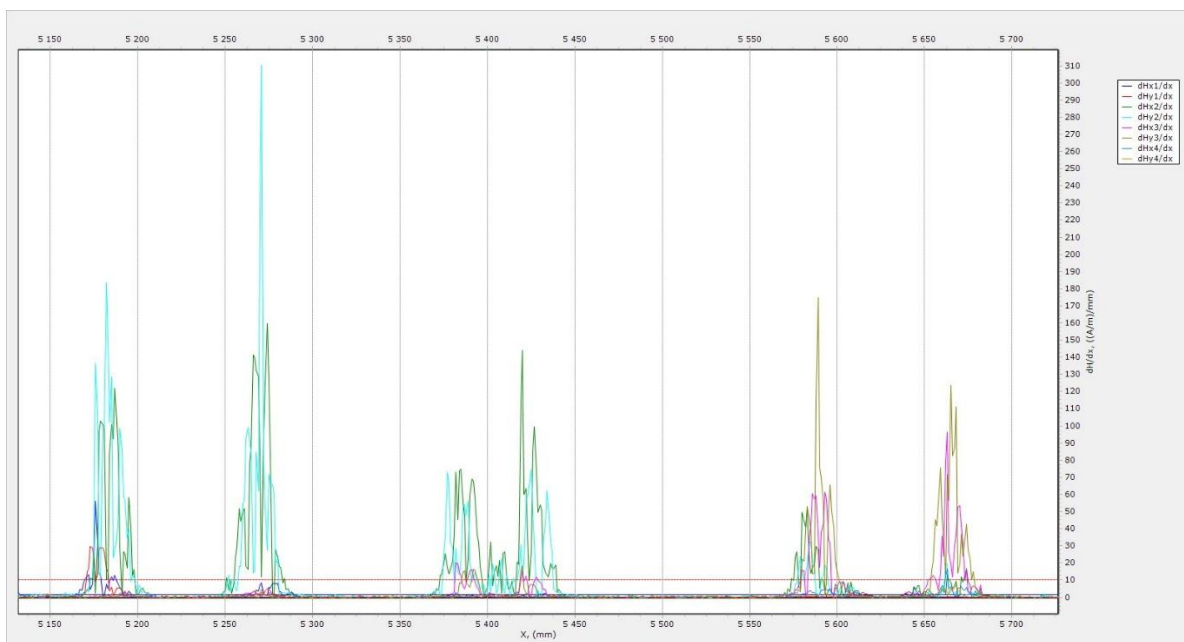


**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**



Obr. 9 Magnetogram lano 1 (změna intenzity magnetického pole při přeježdění po vadě vozíkem)

Zdroj: autor

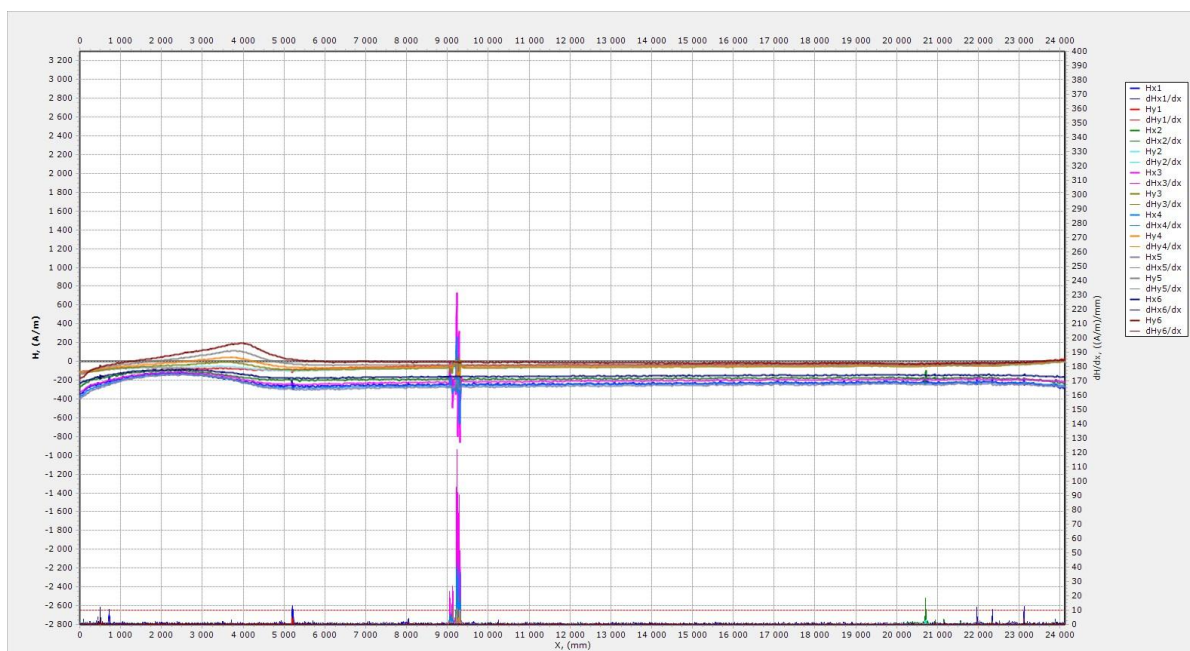


Obr. 10 Magnetogram lano 1 (výrazný gradient zóny koncentrace namáhání při přeježdění po vadě vozíkem)

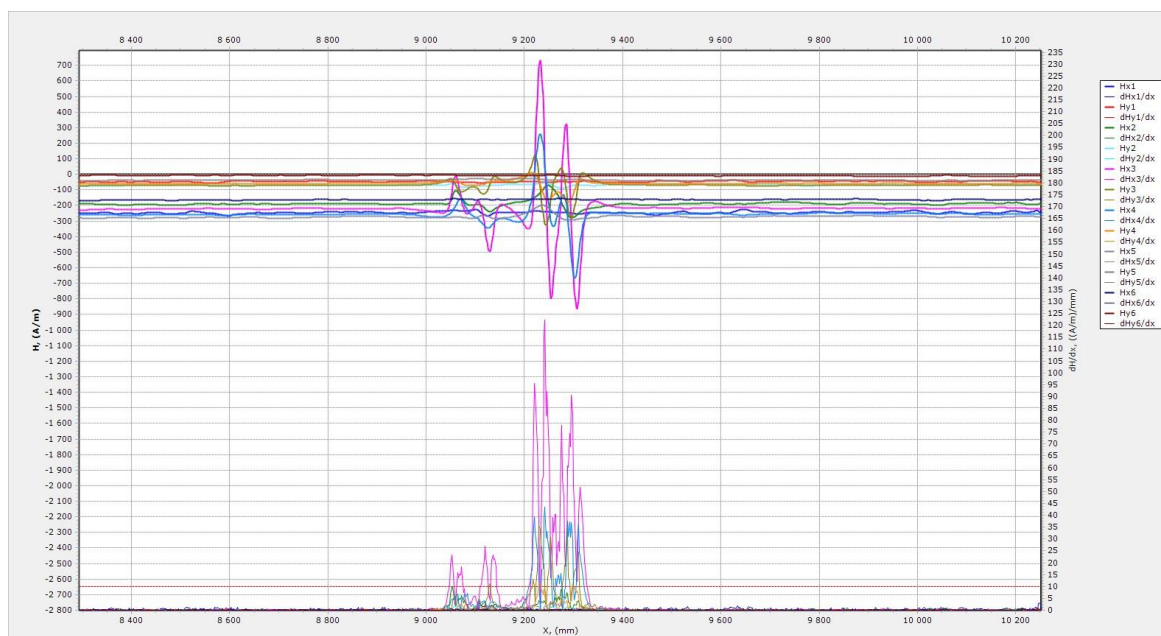
Zdroj: autor

2.2 Vyhodnocení výsledků lana 2

Výsledky měření na laně 2 jsou přehledně uvedeny na Obr. 11. Z výsledku je zřejmé, že intenzita magnetického pole v dolní části vykazuje mírné změny v napjatosti (cca 0 m až 6 m délky) a v oblasti 9,3 m vykazuje zvýšené gradienty podobně jako u lana 1, ale v menším rozsahu. Tato detailní oblast je zobrazena na Obr. 12. V ostatní měřené délce lana se vyskytují pouze velmi nízké gradienty koncentrací namáhání.



Obr. 11 Magnetogram lana 2
Zdroj: autor



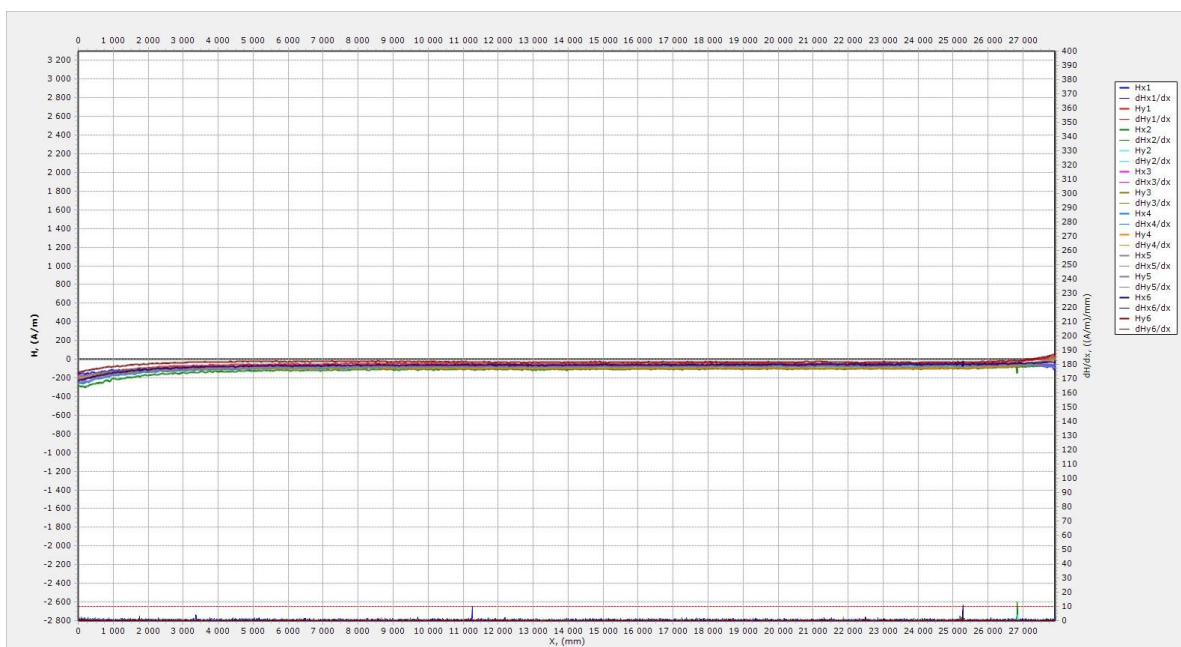
*Obr. 12 Magnetogram lano 2 - detail oblasti zóny se zvýšenou koncentrací napětí
Zdroj: autor*

2.3 Vyhodnocení výsledků lana 3

Výsledky měření na laně 3 jsou přehledně uvedeny na Obr. 13. Intenzita magnetického pole vykazuje v celé měřené délce rovnoměrnou napjatost s velmi nízkými gradienty zón se zvýšenou koncentrací napětí SCZ.



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie ocelových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**



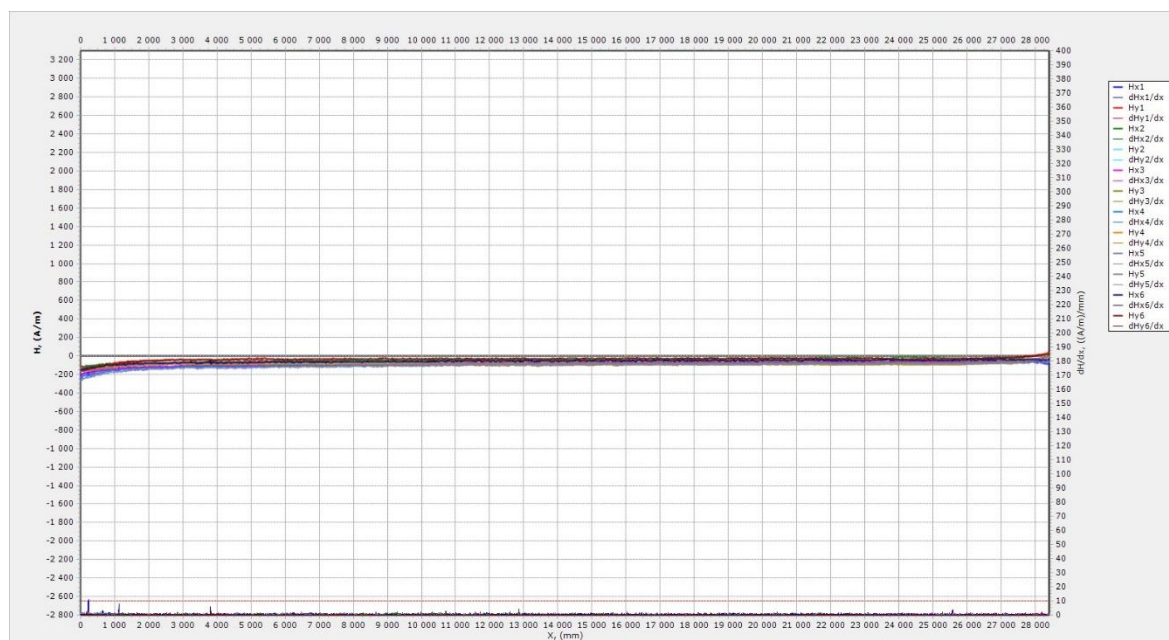
Obr. 13 Magnetogram lano 3
Zdroj: autor

2.4 Vyhodnocení výsledků lana 4

Výsledky měření na laně 4 jsou přehledně uvedeny na Obr. 14. Intenzita magnetického pole vykazuje v celé měřené délce rovnoměrnou napjatost s velmi nízkými gradienty zón se zvýšenou koncentrací napětí SCZ.



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**



*Obr. 14 Magnetogram lano 4
Zdroj: autor*

3. Závěry

Na základě provedené inspekce čtyř kusů nosných lan rypadla SchRs 1320 lze konstatovat:

1. Nosné lano 1 vykazuje v oblasti 1,7 m od spodního uchycení výrazné zóny koncentrace namáhání, které mohou být vyvolány dílčím porušením jednotlivých vláken uvnitř lana nebo degradací vnitřních prutů (koroze, únavové poškození, vodíková křehkost).
2. Vizuální povrchovou kontrolou v místech výskytu zón koncentrace namáhání nebyly zjištěny defekty typu trhlin na vnějších vláknech lana.
3. V dolní části lana 2 je dílčí změna v napjatosti lana cca (0 m až 6 m).
4. Nosné lano 2 vykazuje v oblasti 9,5 m od spodního uchycení výrazné zóny koncentrace namáhání. Tato oblast vykazuje ve srovnání s lanem 1 nižší zóny koncentrace namáhání.
5. Nepřítomnost povrchových trhlin na vnějších vláknech lana potvrdilo měření metodou vířivých proudů a vizuální inspekce.
6. U nosného lana 3 nebyly zjištěny zóny koncentrace namáhání, které by odpovídaly defektům typu trhlin.
7. U nosného lana 4 nebyly zjištěny zóny koncentrace namáhání, které by odpovídaly defektům typu trhlin.



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie ocelových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

Vzhľadom ke zjištěným anomáliím na nosném lanu 1 a lanu 2 po cca patnáctiletém provozu rypadla jednoznačně doporučujeme prověřit celistvost (integritu) lana 1. Celistvost lana ověřit tenzometrickým měřením lana 1 v místě zvýšené koncentrace namáhání a paralelním měřením v blízkém místě bez koncentrovaného namáhání při provozních podmínkách rypadla. Cílem tohoto měření bude zjištění změny napjatosti v místě anomálie (zóna koncentrace namáhání) a přilehlé celistvé oblasti. Toto zjištění změny napjatosti potvrdí snížení pevnostní únosnosti lana vzhledem k deformačním procesům v daném místě. Potvrzení tohoto stavu doplnit měřením signálů akustické emise v místě zvýšené koncentrace namáhání. Dále na základě zjištění deformačních změn při chodu rypadla bude stanoven vliv těchto změn na únavové chování napjatosti nosného lana zahrnující tahové a ohybové účinky zatížení a tím určení dalšího bezpečného provozu rypadla.

Literatúra

Protokol č. 02-5-1356/22-MPK, 2025. Inspekce závěsných lan rypadla, PREDITEST, Praha, 11 s.



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

**Modelovanie dopravného cyklu obratu vlakovej súpravy v
podzemí**

Janka Šaderová ^{1*}, Marianna Tomašková ²

¹ TUKE, FBERG, Ústav logistiky a dopravy, Park Komenského 14, 04200 Košice, email:
janka.saderova@tuke.sk

² TUKE, Strojnícka fakulta, Katedra kvality, bezpečnosti a environmentu, Letná 9,
04200 Košice, email: marianna.tomaskova@tuke.sk

* Korešpondenčný autor

Abstract:

The subject of research in this paper is the modelling of mining rail transport. Simulation is used as a modelling method. The ExtendSim8 software product was used to simulate the transport cycle of a train set. The paper presents and describes a simulation model of the selected transport system. The system is characterized by the fact that the transport of raw materials is provided from two loading points, while the unloading of these train sets is carried out at one common unloading point. The simulation results in several parameters: the number of loadings, the number of unloading, the number of trains set cycles, downtime at the loading and unloading points, time usage for the simulated time (hour, shift, day) and others.

Key words:

modelling, transportation, simulation, model

Úvod

Technologické procesy v ťažobnom priemysle zahŕňajú rôzne operácie a jedným z nich je doprava surovín v podzemí a na povrchu, ktorá spotrebúva značné množstvo energie a vytvára podstatnú časť celkových nákladov na ťažbu. Doprava je najdôležitejším obslužným procesom v hlbokých aj povrchových baniach. Doprave sa pri ťažbe a spracovaní surovín venuje veľká pozornosť, pretože technicky nemôže zaostávať za banskou technikou aby sa nestala brzdou celého technologického procesu ťažby. Hlavnou úlohou a cieľom dopravy je zabezpečiť nakládku, vykládku a prepravu požadovaného množstva suroviny z miesta ťažby na miesto jej ďalšieho spracovania v požadovanom množstve, včas a s minimálnymi nákladmi (Šaderová et al., 2018).

Predmetom výskumu v tomto článku je banská koľajová doprava. Banská koľajová doprava je jedným z kľúčových dopravných systémov používaných v rudných a nerudných banských podnikoch. Koľajová doprava sa používa na prepravu vyťažených materiálov, osôb a materiálov v podzemných baniach a na povrchu. Medzi hlavné prvky banskej koľajovej dopravy patria: banská železničná trať, banské vozy a banské lokomotívy (Marasová et al., 2009). Systémy banskej koľajovej dopravy sa môžu v jednotlivých prevádzkach líšiť nielen typom použitých lokomotív a banských vozov, ale aj ich spôsobom nakladania a vykladania.

Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

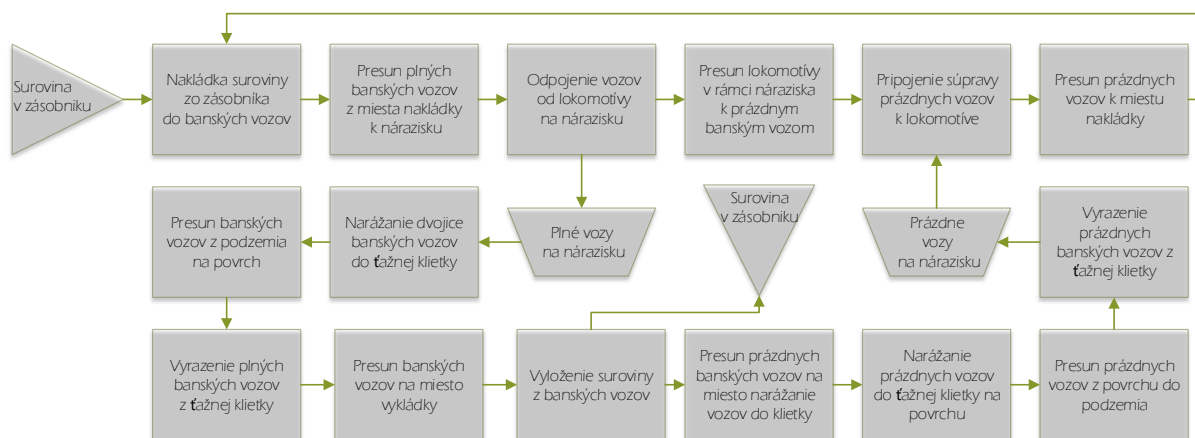
Vykládanie nerastných materiálov z banských vozov sa vykonáva dvoma základnými metódami: vykládanie vozov na povrchu alebo vykládanie vozov v podzemí.

Na Obr. 1, je zobrazená schéma dopravného cyklu pri vykladaní nerastnej suroviny priamo v podzemí. Vyprázdňovanie vozov v tomto prípade je vykonané najčastejšie odklopením dna voza prechodom vlakovéj súpravy cez výsypnú rampu. Prázdna súprava sa následne vracia na miesto nakládky.



Obr. 1 Schéma dopravného cyklu pri vykladaní nerastnej suroviny v podzemí
Zdroj: autor

Na Obr. 2 je znázornená príklad dopravného cyklu, keď sa vykládanie banských vozov realizuje na povrchu. Doprava nerastnej suroviny je v podzemí realizovaná v banských vozoch, ktoré sú následne pomocou zvislej dopravy premiestnené na povrch. Na povrchu je nerastná surovina z banských vozov vysypaná do zásobníka napr. pomocou banského výklopníka.



Obr. 2 Schéma dopravného cyklu pri vykladaní vozov na povrchu
Zdroj: autor



Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

Tieto dva príklady sú najčastejšie realizované, ale samozrejme v praxi sa môžeme stretnúť aj ďalšími možnosťami realizácie koľajovej dopravy (Šaderová et al., 2017).

Hlavným cieľom modelovania v tomto príspevku je modelovanie obratu vlakovkej súpravy pre prípad, keď dochádza k vyprázdňovaniu banských vozov v podzemí. Základným výsledkom modelu je parameter - počet dopravných cyklov, ktorý môže byť podkladom na stanovenie kapacity dopravného systému. Ďalšími výsledkami modelovania sú napr.: stanovenie počtu vlakových súprav, ktoré je potrebné nasadiť do prevádzky pre splnenie požadovanej kapacity, kapacitné limity dopravného systému, využitie lokomotív počas prevádzky, stratové časy pri doprave a iné.

1 Metódy a metodika

V tomto príspevku je pre potreby modelovania využitá simulácia. Počítačová simulácia je v súčasnosti využívaná pri riešení rôznych úloh a problémov v podnikoch (Straka et al., 2022; Ondov et al., 2022). Simulácia je metóda v ktorej je reálny systém nahradený počítačovým modelom. Na simulačnom modeli je možné vykonať množstvo experimentov, vyhodnotiť ich popr. optimalizovať a výsledky aplikovať na reálny systém. Výstup so simulačného modelu sa môže využiť na overenie výsledkov, ktoré je možné získať výpočtom podľa známych matematických vzťahov alebo pozorovaní priamo v prevádzke.

Modelovanie dopravného cyklu obratu vlakovkej súpravy pozostáva z 3 krokov:

A: Identifikácia systému. V tomto kroku sa identifikuje reálny dopravný systém, prvky systému, jeho okolie a základné charakteristiky systému.

B: Vytvorenie simulačného modelu zvoleným simulačným nástroji. V súčasnosti sa využívajú pre simuláciu simulačné balíky, ktoré uľahčujú prácu pri tvorbe modelu. Ich výhodou je grafická symbolika, tvorba štatistík, 2D resp. 3D animácia a flexibilita ako pri samotnej zmene modelu, tak aj zmene vstupných dát.

C: Simulácia a analýza výsledkov simulácie pre konkrétne podmienky.

Výsledky získané zo simulácie je možné aplikovať na reálny systém a môžu byť použité ako na hodnotenie súčasného stavu systému, zistenie úzkeho miesta v systéme a pod. Výhodou simulácie je aj vizuálne stránka - zobrazenie ako systému tak aj výsledkov získaných z experimentov.

2 Výsledky

Uvedená metodika sa aplikovala pre modelovanie dopravného cyklu vlakovkej súpravy pre dopravu nerastnej suroviny v prípade uvedenom na Obr. 1. Dopravný systém vykonáva prepravu nerastnej suroviny len v podzemí. Avšak nakládka je realizovaná v modelovom prípade z dvoch rôznych zásobníkov a vykládka je realizovaná do jedného spoločného zásobníka. Hlavné prvky systému sú – 2 nakladacie stanice, koľajové trate, vlakové súpravy tvorené z banskej lokomotívy a banských vozov a 1 vykladacia stanica. Systém je tvorený z dvoch častí, každá časť predstavuje prepravu suroviny od miesta nakládky po miesto vykládky,

Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

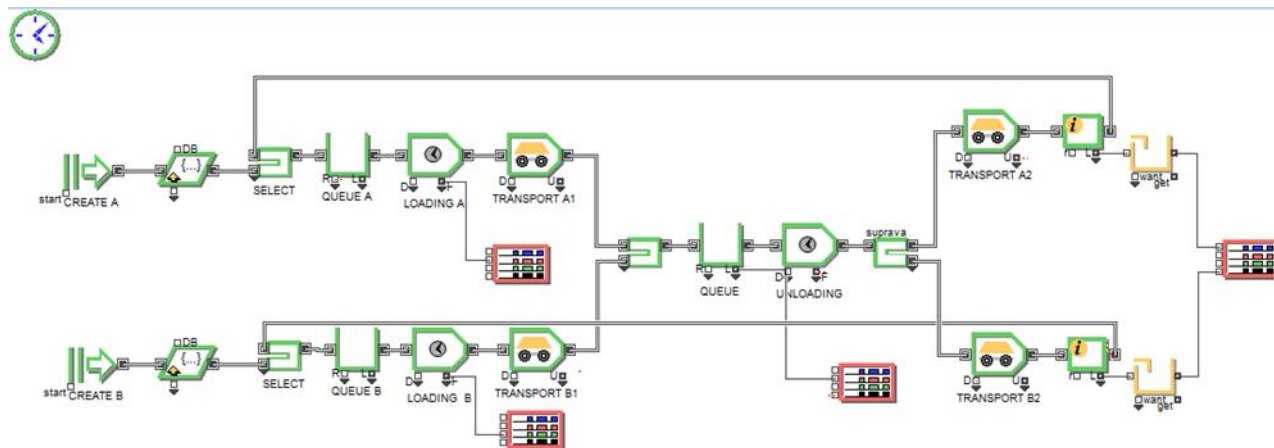
kde sa tieto dve časti stretávajú v jednom bode. Po vyložení suroviny sa prázdne súpravy vracajú na miesto nakládky. Obmedzenia sú ako na strane nakládky tak aj vykládky:

- v danom čase len jedna vlaková súprava môže byť nakladaná, na každom mieste nakládky,
- v danom čase len jedna vlaková súprava môže byť vykladaná na mieste vykládky.

Pre simuláciu dopravného cyklu vlakovej súpravy sa použil softvérový produkt ExtendSim, ktorý je produktom firmy Imagine That, Inc. USA. Simulačný model je model diskretnej simulácie, vytvorený z blokov knižnice „Discreet Event“ a „Plotter“. Na Obr. 3 je Print screen vytvoreného simulačného modelu. V Tab. 1 je uvedený popis použitých blokov.

Výsledkom simulácie sú viaceré parametre: počet nakládok, počet vykládok, počet obehov vlakových súprav (pracovných cyklov p_c), prestoje na mieste nakládky a vykládky, časové využitie za simulovaný čas (hodina, zmena, deň) a iné.

Po vytvorení simulačného modelu a jeho verifikácií, bol vykonaný experiment pre vstupné parametre v Tab. 2 (Šaderová, 2009). Experiment predstavuje simuláciu dopravných cyklov (obehov) pre dve vozové súpravy, ktoré vykonávajú dopravu nerastnej suroviny z miesta nakládky A a súčasne pre štyri vozové súpravy, ktoré vykonávajú dopravu nerastnej suroviny z miesta nakládky B. Po vyložení nerastnej suroviny sa každá vozová súprava vracia na miesto pôvodnej nakládky, kde je opäť pristavená na nakládku. Simulovaný čas pre tento experiment bol 390 minút (6,5 hodiny). Pre tento modelový príklad boli generované vstupy (vlakové súpravy) v intervaloch aby bolo dodržaná podmienka, že v danom čase len jedna vlaková súprava môže byť nakladaná, na každom mieste nakládky.



Obr. 3 Print screen simulačného modelu v EXTENDSIm

Zdroj: autor

Na mieste A začalo nakladanie prvej vlakovej súpravy po jej vygenerovaní na vstupe (*Create A*), druhá vlaková súprava bola generovaná po 20 minútach.

Na mieste B začalo nakladanie prvej vlakovej súpravy tiež po jej vygenerovaní na vstupe (*Create B*), druhá, tretia a štvrtá vlaková súprava boli generované v časovom intervale 20 minútach po generovaní predchádzajúcej vlakovkej súpravy.



Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

Tab. 1 Popis použitých blokov

Bloky	Popis blokov
	Create A a Create B predstavujú generovanie vstupov (počet vlakových súprav) do simulačného modelu.
	Get plní funkciu čítačky nastavených atribútov prechádzajúcich požiadaviek (súprava 1 a súprava 2)
	Select item in rozdvojí prepojenie tak aby sa prázdna vracajúca súprava vozov mohla postaviť do frontu pred nakladacou stanicou a následne mohla prejsť ďalším cyklom.
	Select item out zvolí, ktorý výstup, získa prvky zo vstupu podľa určitého rozhodnutia. Priradí súpravu na výstupe tak, aby sa vrátila na pôvodne miesto nakládky.
	Queue A predstavuje rad vlakových súprav ktoré čakajú na naloženie, Queue B predstavuje rad vlakových súprav ktoré čakajú na vyloženie.
	Activity (Loading A a Loading B) predstavuje nakládku vlakovej súpravy – čas nakladania vlakovej súpravy. Activity (Unloading) predstavuje vykládku vlakovej súpravy – čas vykladania vlakovej súpravy.
	Transport A1 a Transport B1 pohyb - presun plnej vlakovej súpravy od miesta nakládky po miesto vykládky – čas jazdy plnej vlakovej súpravy. Transport A2 a Transport B2 pohyb -presun prázdnej vlakovej súpravy od miesta vykládky na miesto nakládky – čas jazdy prázdnej vlakovej súpravy.
	Information udáva informáciu koľko cyklov vykonala vlaková súprava a posiela ju do bloku Holding Tank.
	Holding Tank započíta koľko cyklov p _c vykonala vlaková súprava cez blok Information.
	Discrete Event zo vstupných hodnôt vykresliť grafy priebehov simulácie a hodnoty sledovaných vstupov zapíše do tabuľky.

Zdroj: autor

Tab. 2 Vstupné parametre do simulácie

Parameter	Miesto nakladania A	Miesto nakladania B
Počet vozov v súprave n [ks]	30	40
Čas nakladania súpravy vozov [min]	9	12
Čas vykladania súpravy vozov prechodom cez výsypnú rampu [min]	3	5
Čas jazdy – presun od miesta nakládky po miesto vykládky (jazda späť) [min]	12	30
Počet nasadených súprav do prevádzky	2	4

Zdroj: autor

Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

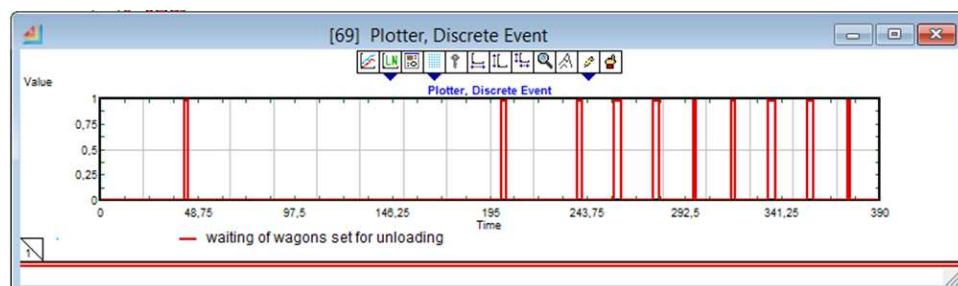
Výsledkom simulácie obehu vlakových súprav sú viaceré parametre. Parametre týkajúce sa počtu vykonaných nakládkov vlakových súprav pre jednotlivé miesta nakladania, obr. 4:

- na mieste nakládky A bolo naložených 21 celých vlakových súprav a 22. súprava bola pristavená na nakládku, miesto nakladania bolo počas simulovaného času využité na 48%, je možné predpokladať, že každá súprava bola naložená minimálne 10 krát;
- na mieste nakládky B bolo naložených 20 celých vlakových súprav a časť 21. súpravy, miesto nakladania bolo počas simulovaného času využité na 62%, je možné predpokladať, že každá súprava bola naložená minimálne 5 krát.



Obr. 3 Priebeh procesu nakladania na miestach nakládky A a B

Zdroj: autor



Obr. 4 Priebeh čakania vlakovej súpravy na vykládku

Zdroj: autor

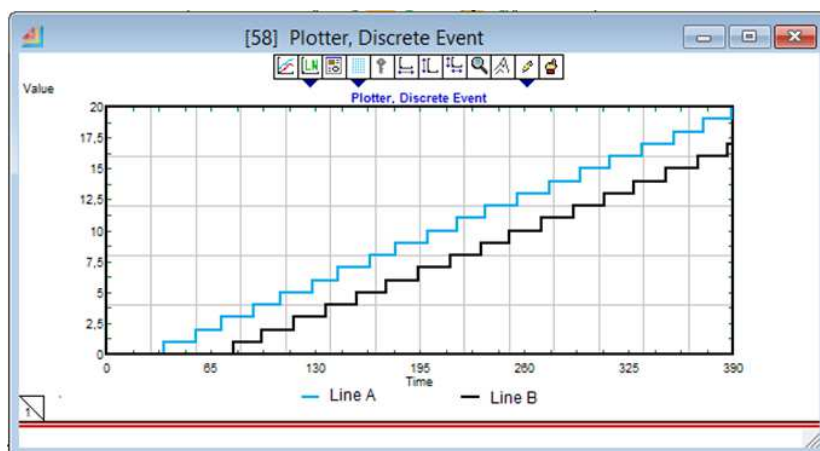
Miestom vykládky prešlo 38 celých vlakových súprav. Počas simulovaného času 10 krát musela 1 vlaková súprava čakať v rade na vykládku, Obr. 4. Počas simulovaného času vlakové súpravy

Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

vykonali spolu 37 celých obrátov (20 obrátov vykonali lokomotívy na trase A a 17 obrátov na trase B), Obr. 5.

Po ukončení simulácie bola 1 vlaková súprava na nakladacej stanici A, 1 vlaková súprava na trase Transport A1, 1 vlaková súprava na nakladacej stanici B, 1 vlaková súprava na trase Transport B1, 1 vlaková súprava na mieste vykládky a 1 vlaková súprava na trase Transport B2.



Obr. 5 Počet obrátov súprav
Zdroj: autor

3 Závery

V príspevku je prezentovaný simulačný model banskej koľajovej dopravy. Systém je charakteristický tým, že preprava suroviny je zabezpečovaná z dvoch miest nakládky, pričom vykládka týchto vlakových súprav je vykonávaná na jednom spoločnom mieste vykládky. Uvedený simulačný model je možné rozšíriť o ďalšie aktivity, je možné ho upraviť aj pre iný dopravný systém koľajovej dopravy. Prezentovaný simulačný model banskej koľajovej dopravy môže byť časťou simulačného modelu komplexného dopravného systému v banskej prevádzke.

Tak isto je tento model uplatniteľný aj pre iný druh cyklickej dopravy. Treba si však uvedomiť, že pre potreby simulácie musia byť k dispozícii relevantné dáta, či už získané výpočtom alebo priamo z meraní v praxi.

Výsledky simulácie môžu byť jedným z podkladov pre hodnotenie súčasného dopravného systému v praxi (alebo podkladom pre hodnotenie nového dopravného systému).

PodĎakovanie

Príspevok bol vypracovaný v rámci projektu APVV-23-0342: Nové konštrukčné a materiálové prvky pre udržateľnú prepravu hromadných materiálov; KEĎA č. 013TUKE-4/2023: Tvorba a inovácia vysokoškolského a celoživotného vzdelávania v odbore doprava na báze rozvoja digitálnych a praktických zručností.



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

Literatúra

- Marasová, D. et al., 2009. Vnútropodniková doprava v ťažobnom priemysle. TU, Košice, 201 s.
- Ondov, M., Rosová, A., Šofranko, M., Fehér, J., Čambál, J., Fecková Škrabuľáková, E., 2022. Redesigning the production process using simulation for sustainable development of the enterprise. *Sustainability*, 14(3), pp.1-21.
- Straka, M. et al., 2022. Simulation of homogeneous production processes. *International Journal of Simulation Modelling*, 21(2), pp. 214-225.
- Šaderová, J., Marasová, D., Galliková, J., 2018. Simulation as logistic support to handling in the warehouse: case study. *TEM Journal*, 7(1), pp. 112-117.
- Šaderová, J., Šubaranović, T., 2017. Analysis and performance assessment of energy raw materials in mining rail transport. *Transport & Logistics: the International Journal*, 17(43), pp. 76-81.
- Šaderová, J., 2009. Doprava uhlia v banskej prevádzke. *Doprava a logistika*, Mimoriadne č. 6, s. 442-446.



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

**Automatizácia vybraných procesov v priemyselnej výrobe a jej
prínos pre podnik**

***Peter Trebuňa^{1*}, Marek Kliment², Miriam Pekarčíková³, Jana Kronová⁴,
Anton Hovana⁵***

¹ Katedra priemyselného a digitálneho inžinierstva, Strojnícka fakulta, Technická univerzita
v Košiciach, Park Komenského 9, 04 00 Košice, SR, e-mail: peter.trebuna@tuke.sk

² Katedra priemyselného a digitálneho inžinierstva, Strojnícka fakulta, Technická univerzita
v Košiciach, Park Komenského 9, 04200 Košice, SR, e-mail: marek.kliment@tuke.sk

³ Katedra priemyselného a digitálneho inžinierstva, Strojnícka fakulta, Technická univerzita
v Košiciach, Park Komenského 9, 04200 Košice, SR, e-mail: miriam.pekarcikova@tuke.sk

⁴ Katedra priemyselného a digitálneho inžinierstva, Strojnícka fakulta, Technická univerzita
v Košiciach, Park Komenského 9, 04200 Košice, SR, e-mail: jana.kronova@tuke.sk

⁵ Katedra aplikovanej matematiky a informatiky, Strojnícka fakulta, Technická univerzita
v Košiciach, Letná 9, 04200 Košice, SR, e-mail: anton.hovan@tuke.sk

* Korešpondenčný autor

Abstract:

The paper focuses primarily on the design and practical implementation of an automated system solution with the aim of improving production processes in a company focused on the production of products for the automotive industry. The focus of the work lies in identifying a specific problem in production and subsequently designing an effective technical solution using elements of automation and production optimization. The core of the work is dedicated to the solution design itself - from the technical analysis of the current state and description of individual parts of the production system, through the design of the automated system, to its specific implementation and evaluation of its benefits, together with the evaluation of the cost side of the implementation of the proposed solution.

Key words:

automation, production, optimization, Kuka robot

Úvod

Prvé známky automatizácie sa objavili už v 18. storočí počas priemyselnej revolúcie, keď boli zavádzané mechanické zariadenia do textilnej výroby. S rozvojom elektrotechniky v 20. storočí prišlo k zavedeniu elektrických pohonov, reléových riadiacich systémov a neskôr programovateľných logických automatov (PLC) (Trebuňa et al., 2017).

Od konca 20. storočia zaznamenávame nástup tzv. inteligentnej automatizácie – využívanie robotov, senzoriky, dátových sietí a umelej inteligencie (Trebuňa et al., 2020).



Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

Dnes, v ére Priemyslu 4.0, sa automatizácia stáva základným pilierom výrobných závodov, ktoré využívajú digitálne dvojčatá, cloudové riadenie, prediktívnu údržbu a autonómne logistické systémy (Saderova et al., 2022).

Automatizácia je jedným z najvýznamnejších trendov, ktorý formuje moderný priemysel a výrobu. V kontexte dynamicky sa meniaceho trhu, globalizácie a rastúcich nárokov na kvalitu a flexibilitu výroby sa podniky čoraz častejšie obracajú k technológiám, ktoré umožňujú automatické riadenie výrobných procesov bez potreby neustáleho zásahu človeka. Cieľom automatizácie je dosiahnuť vyššiu efektivitu, zníženie výrobných nákladov, zvýšenie spoľahlivosti procesov a skrátenie času výroby (Grznar et al., 2020).

1 Metódy a metodika

Spoločnosť sa zameriava na výrobu dielov pre automobilový priemysel, najmä komponentov do prevodoviek a motorových častí, s dôrazom na efektivitu a udržateľnosť. Podnik je navrhnutý ako "zelená zlievareň", čo znamená, že sa kladie dôraz na ekologické a energeticky efektívne procesy. Okrem toho sa spoločnosť angažuje v inováciách a neustálom zlepšovaní svojich výrobných postupov, čo jej umožňuje udržiavať konkurencieschopnosť na globálnom trhu. Spoločnosť kladie dôraz na odbornú prípravu a školenie svojich zamestnancov. V závode v Kechneci plánuje zamestnať až 160 odborných pracovníkov, pričom sa zameriava na zaškolenie na najmodernejších strojoch a technológiách. Aj samotná tematika príspevku je orientovaná do oblasti inovácií a optimalizácie procesov za pomoci modernizácie a automatizácie.

1.1 Popis výrobného procesu v podniku Plus

Výroba sa zameriava hlavne na plne automatizovaný proces tlakového liatia umožňuje vysokú hospodárnosť a flexibilitu pri výrobe dielov z hliníka. Tento proces je kľúčový pre výrobu precíznych a kvalitných komponentov. Po odliatí nasleduje mechanické obrábanie a montáž, kde sa zabezpečuje maximálna zodpovednosť za výrobky počas celého výrobného procesu. To zahŕňa testovanie kvality a prípravu dielov na ďalšie fázy výroby. Podnik používa metódy na kontrolu kvality, vrátane kontroly tesnosti a kontroly rozdielového tlaku. Tieto technológie umožňujú detekciu aj najmenších defektov a zabezpečujú vysokú úroveň spoľahlivosti výrobkov (Straka et al., 2020).

Výrobný proces pozostáva z nasledujúcich činností:

- **Príjem materiálu:** Oddelenie nákupu objedná materiál od dodávateľa, ktorý je distribuovaný dopravným prostriedkom. Materiál – hliníkové ingoty – je zabalený v oceľových boxoch a je odvázaný na sklad príjmu materiálu a do zóny, kde sa manipuluje s materiálom. Z každej dodávky sa kotúčovou pílou odreže vzorka na chemickú analýzu na oddelenie kvality. Pracovník oddelenia kvality vykoná chemickú analýzu vstupného materiálu a porovná tento výsledok chemického



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

zloženia s certifikátom prijímaného materiálu. Ak materiál zodpovedá kvalite, prijme sa do skladu vstupného materiálu do produkcie. Zásoba materiálu do produkcie musí byť na minimálne 48 hodín, aby sa zabezpečila prevádzka pracoviska v prípade neočakávaných výpadkov dodávateľa. V prípade nedostatku materiálu, produkcia musí byť odstavená, čo narúša proces výroby a to znamená obrovské straty pre spoločnosť a zákazníka.

- Tavenie hliníka: Oddelenie internej logistiky vyzdvihne zo skladu vstupného materiálu požadovaný materiál podľa objednaného množstva a privezie ho k taviacej peci. Pracovníci zlievalne spustia predohrev pece na 860 °C, kde po signalizácii dosiahnutej teploty postupne vkladajú vopred pripravený materiál – hliníkové ingoty – do pece na tavenie. Pracovníci kontrolujú pravidelne stav topenia hliníka. Po roztopení hliníka odstraňujú nežiaduci materiál vzniknutý na povrchu roztopeného hliníka. Otvorí sa spodná časť pece, kde do vopred pripravenej kokily sa vypustí požadované množstvo tekutého hliníka. Potom pracovník vyzdvihne kokilu s hliníkom a prevezie do udržiavacej pece na stroji, ktorú naplní tekutým hliníkom. Udržiavacia pec udržiava hliník v tekutom stave.
- Odlievanie hliníka: Operátor spustí stroj, ktorý sa nahrieva na požadovanú teplotu okolo 300 °C. Po nahriatí cez ovládací panel otvorí vopred pripravenú formu podľa požiadaviek zákazníka. Po otvorení formy nastrieka separačnú hmotu, ktorá zabezpečí oddelenie materiálu od nástroja. Operátor ovládacím panelom opakovane uzatvorí formu a spustí strekovanie hliníka pod tlakom. Po naplnení formy sa spustí proces chladenia pre zabezpečenie tuhého stavu produktu. Forma sa otvorí a robotické rameno vyberie odliatok z formy. Robotické rameno vloží odliatok do odstrihovadla, kde sa odstráni drobný prebytočný materiál. Robotické rameno vyzdvihne odliatok z odstrihovadla a prenesie do rezačky, kde sa odstránia hrubostenné nadliatky. Rameno odliatok položí na dopravníkový pás, ktorý vstupuje do ďalšieho procesu. Na Obr. 1 sú formy do odlievacieho zariadenia, ktoré sa inštalujú za pomoci portálového žeriavu do stroja pred spustením produkcie.

Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení



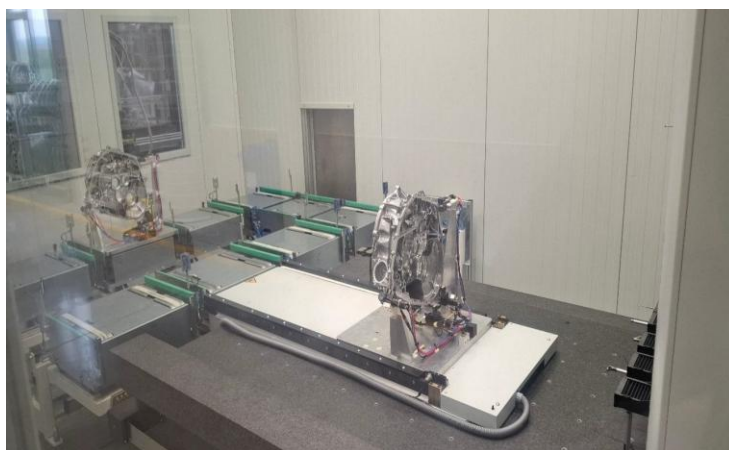
Obr. 1 Formy do odlievacej pece
Zdroj: autor

- Pieskovanie: Produkt po dopravníkovom páse putuje do pieskovačky. V pieskovačke je produkt opieskovaný hliníkovými guľôčkami o priemere 1 mm, čím sa zabezpečí odstránenie prebytočného materiálu, ako sú špony, otrepy a podobne. Produkt vystúpi do otáčacieho zariadenia, kde sa rotáciou o 360° vysypú prebytočné guľôčky, ktoré ostali v otvoroch produktu. Dopravníkový pás vyloží hotový produkt, kde ho vyzdvihne operátor a uloží na drevenú paletu pre ďalšie spracovanie. Na Obr. 2 je pieskovací stroj, ktorý sa skladá z troch častí: dopravníkové pásy, hlavná tryskacia komora a filtračná komora s médiom pre zabránenie prašnosti v prostredí. Pieskovanie je posledný krok odlievacieho procesu pred vstupom na mechanické opracovanie. Stroj sa nachádza v medzi-sklade z dôvodu vysokej hlučnosti. Pri pieskovanom stroji sa nachádzajú piati pracovníci, ktorí zabezpečujú plynulý chod produktu ručne začisťujú prebytočný materiál vzniknutý procesom odlievania, čo zariadenie nebolo schopné odstrániť.
- Kontrola kvality - Pracovník kvality každé 4 hodiny zoberie vzorku 1 produktu z pieskovačky na kontrolu. Daný produkt sa röntgenuje, kde sa zisťujú nežiaduce chyby tlakového odlievania, ako sú praskliny, studené spoje a vzduchové bubliny. Ak produkt spĺňa požiadavky kvality, tak sa presunie na 3D skenovanie. Operátor kvality oskenuje produkt a porovná ho s referenčnou vzorkou. Ak daný produkt vyhovuje požiadavkám je uvoľnený na mechanické opracovanie. Každý vyrobený diel alebo výrobná dávka musí byť jednoznačne identifikovateľná. To umožňuje v prípade zistenia problému dohľadať všetky potenciálne chybné kusy, zistiť, kedy a za akých podmienok boli vyrobené, a analyzovať príčinu chyby. Systém kvality musí zabezpečiť túto spätnú väzbu.

**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**



Obr. 2 Pieskovací stroj
Zdroj: autor



Obr. 3 Analýza rizík pri obsluhu zariadení v sw. Ergo-Plus – 3. fáza
Zdroj: autor

Na Obr. 3 je zariadenie na meranie opracovaných produktov, kde každé 4 hodiny vstupuje vzorka na meranie z dôvodu overenia správneho opracovania. V prípade nevyhovujúceho produktu je zablokovaná celá produkcia. Ak je meraný diel nesprávny stanica vyšle signál pracovníkovi, ktorý zablokuje celú produkciu a upozorní oddelenie kvality.

Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

- Mechanické opracovanie - Na základe požiadavky systému sa z interného skladu vyzdvihnú produkty, ktoré vstupujú na mechanické opracovanie. Pracovník najprv navolí požadovanú referenciu na linke, a potom na oddelení mechanického opracovania vezme z drevenej europalety produkt a vloží do fixtúry na stroji. Po zatlačení tlačidla fixtúra s hotovým odliatkom vstupuje do stroja. Druhý krok je označenie produktu, ktorý symbolizuje vstup produktu na mechanické opracovanie. Ďalej nám vytvorí laserom DMC kód pre zabezpečenie spätnej sledovanosti produktu. Najprv sa ofrézujú plochy a vyvrtávajú diery, do ktorých sa vyrežú závit. Robot vezme opracovaný produkt a vloží do čistiaceho zariadenia. Pod vysokým tlakom čistiaceho zariadenia tzv. pračka odstraňuje prebytočné otrepy a kontamináciu z opracovania. Každé 4 hodiny sa odoberie 1 vzorka na kontrolu kritických charakteristík produktu 3D meracím systémom. Produkt ďalej vstupuje na montážnu linku, kde sa montujú hotové komponenty. Produkt vstupuje na ďalšiu stanicu – impregnácia produktov, kde sa médium uzatvárajú mikropóry. Ďalší krok je vstup na tlakovú stanicu, na ktorej sa uzatvorí otvory a do produktu sa natlačí vzduch a na manometri sa sleduje možný pokles tlaku. V prípade, ak tlak neklesá, produkt je dostatočne hermeticky uzatvorený a vyhovuje požiadavkám zákazníka. Na konci linky sa produkt vizuálne skontroluje podľa požiadaviek zákazníka. Hotový diel sa položí na paletu o objednanom množstve a označí sa príslušným štítkom. Takto hotová paleta sa prenesie pracovníkom logistiky do skladu hotových produktov. V sklade sú uložené produkty, ktoré čakajú na objednávku zákazníka – expedíciu, čo si môžeme všimnúť na Obr. 4.



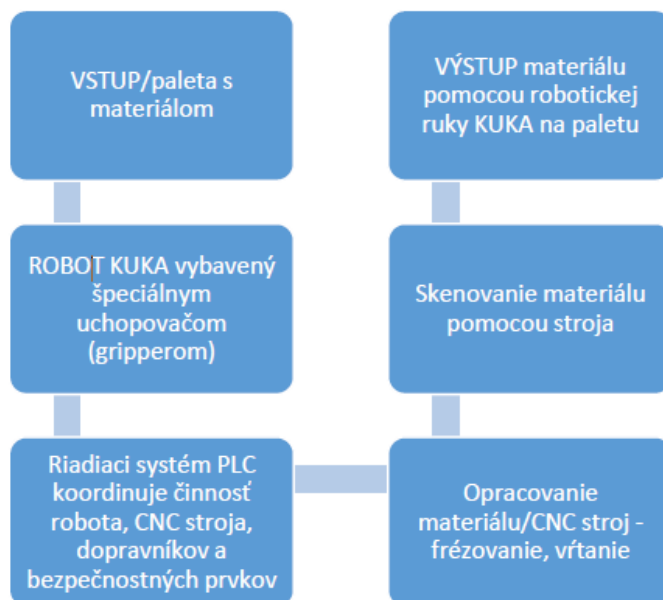
Obr. 4 Hotové hliníkové produkty pre zákazníka
Zdroj: autor

Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

2 Výsledky

Hlavným výstupom výskumu je návrh implementácie robotického systému do výrobného procesu. Na automatizáciu bude použitý robot KUKA. KUKA KR 10 R1100-2. Je to robotický manipulátor s uchopovačom, ktorý zabezpečuje presun dielov v rámci pracoviska. Robot premiestňuje diely z vozíka do gravírovacieho hniezda, následne do kontrolnej pozície k čítačke DMC kódu a potom buď späť na vozík (ak je kód OK) alebo do sklzu pre NOK diely. Pri aktivácii núdzového zastavenia sa aktivuje bezpečnostná funkcia robota "External emergency stop". Pri otvorení bezpečnostných dverí sa aktivuje funkcia "Operator safety". Podporuje manuálny režim T1 pre úpravu a skúšky trajektórií a automatický režim EXT pre bežnú prevádzku.



Obr. 5 Schéma pracovného cyklu pomocou robotického ramena KUKA
Zdroj: autor

Robot KUKA resp. robotické rameno nám vie zabezpečiť (Knapcikova et al., 2020):

- Pohyby robota sú naprogramované tak, aby boli čo najrýchlejšie a najplynulejšie a aby celkový čas manipulácie bol kratší alebo rovnaký ako čas obrábania v CNC, čím sa maximalizuje využitie stroja.
- Neustála výmena signálov medzi robotom, PLC a CNC strojom je kľúčová pre synchronizáciu a bezpečnosť.
- Systém musí zabezpečiť, že robot nemôže vstúpiť do stroja počas obrábania a stroj nemôže spustiť cyklus, kým je robot v jeho pracovnom priestore alebo dvere nie sú bezpečne zatvorené.

Na Obr. 6 je navrhovaný typ robotického ramena, ktorý bude spĺňať funkciu automatického nakladania produktov. Ide o viac osí robot, ktorý má viac ako 3 rotačné kĺby. Tieto kĺby mu

**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

umožňujú vykonávať zložité pohyby a dosiahnuť do ťažko prístupných miest s menším počtom osí. Každá pridaná os mu umožňuje otáčať sa a nakláňať v rôznych smeroch, čím sa dokáže lepšie prispôsobiť pracovnému priestoru prípadne obchádzať prekážky.



***Obr. 6** Robotické rameno
Zdroj: autor*

Robot KUKA, hoci len prenáša odliatky, hrá rolu v celom výrobnom reťazci, kde je kvalita štruktúry kľúčová. Presná manipulácia robota pomáha predísť poškodeniu odliatku (čo by mohlo ovplyvniť jeho štruktúru alebo integritu, napr. spôsobiť praskliny) pri prenose medzi jednotlivými procesnými krokmi. V niektorých automatizovaných linkách môžu byť roboty dokonca integrované s kontrolnými systémami, ktoré na základe vizuálnej kontroly alebo iných senzorov detekujú zjavné povrchové vady súvisiace s makroštruktúrou (napr. veľké zmrašťovacie kazy) a vyradia chybný diel.

3 Závery

V záverečnom zhodnotení sú v Tab. 1 porovnané možnosti človeka a robota, ich výhody a nevýhody v pracovnej činnosti vo výrobnom procese.



Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling Equipment

Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných a manipulačných zariadení

Tab. 1 Porovnanie výhod a nevýhod robota a ľudského faktoru vo výrobnom procese

Kritérium	Robot KUKA	Človek
Rýchlosť	Veľmi vysoká pri opakovaných, presne definovaných úlohách.	Nižšia rýchlosť pri monotónnych úlohách.
Presnosť a opakovateľnosť	Extrémne vysoká presnosť (často na úrovni desiatín či stotín milimetra), takmer dokonalá opakovateľnosť pohybov.	Nižšia presnosť a opakovateľnosť, ovplyvnená únavou, sústredením a ľudským faktorom.
Vytrvalosť a pracovný čas	Môže pracovať nepretržite 24 hodín denne, 7 dní v týždni, bez prestávok.	Potrebuje pravidelné prestávky, odpočinok, spánok; limitovaný pracovný čas.
Sila a nosnosť	Dokáže manipulovať s veľmi ťažkými bremenami (stovky až tisíce kg) bez námahy a rizika zranenia.	Obmedzená fyzická sila, riziko zranenia pri zdvíhaní ťažkých alebo nesprávne uchopených bremien.
Práca v nebezpečnom prostredí	Ideálny pre prácu v prostredí nebezpečnom pre človeka (vysoké/nízke teploty, toxické výpary, prašnosť, žiarenie, hluk).	Vyžaduje bezpečné, čisté a ergonomické prostredie; v nebezpečnom prostredí potrebuje drahé a obmedzujúce ochranné prostriedky (OOPP).
Konzistentnosť kvality	Vykonáva úlohy vždy rovnako, čo vedie k stabilnej a predvídateľnej kvalite výrobkov/procesov.	Kvalita práce môže kolísať vplyvom únavy, nepozornosti, nálady, zdravotného stavu.
Únava a chyby	Nepociťuje únavu, emócie ani stratu koncentrácie; chybovosť je minimálna (ak je správne naprogramovaný a udržiavaný).	Náchylný na únavu, ktorá znižuje výkon, presnosť a zvyšuje pravdepodobnosť chýb.
Náklady (prevádzkové)	Po vysokej počiatkovej investícii má nižšie prevádzkové náklady (elektrina, údržba, žiadna mzda, odvody, benefity).	Vyžaduje pravidelnú mzdu, odvody, školenia, benefity, náklady na zabezpečenie pracovných podmienok.
Flexibilita a adaptabilita	Nízka flexibilita pri nečakaných zmenách alebo nových úlohách; vyžaduje zastavenie a preprogramovanie.	Vysoká flexibilita, schopnosť rýchlo sa adaptovať na nové situácie, úlohy a zmeny v procese.
Riešenie problémov a rozhodovanie	Dokáže vykonávať len naprogramované sekvencie; nemá schopnosť kreatívneho riešenia problémov, učenia sa zo skúseností alebo komplexného rozhodovania.	Schopnosť učiť sa, riešiť neočakávané problémy, improvizovať, robiť zložité rozhodnutia na základe neúplných informácií.

Zdroj: autor



**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

Pod'akovanie

Tento článok vznikol realizáciou grantových projektov APVV-17-0258 „Aplikácia prvkov digitálneho inžinierstva pri inovácii a optimalizácii výrobných tokov“, APVV-19-0418 „Inteligentné riešenia na zvýšenie inovačnej schopnosti podnikov v procese ich transformácie na inteligentné podniky“, VEGA 1/0508/22 „Inovatívne a digitálne technológie vo výrobných a logistických procesoch a systémoch“, VEGA 1/0383/25 „Optimalizácia činností výrobných podnikov a ich digitalizácia s využitím pokročilých virtuálnych prostriedkov a nástrojov“, KEGA 020TUKE-4/2023 „Systematický rozvoj kompetenčného profilu študentov priemyselného a digitálneho inžinierstva v procese vysokoškolského vzdelávania“, KEGA 003TUKE-4/2024 „Inovácia profilu absolventa priemyselného inžinierstva v kontexte požadovaných znalostí a špecifických schopností pre výskum a implementáciu inteligentných systémov budúcnosti“.

Literatúra

- ErgoPlus, 2025. Briotix Health. [online] Available at: <<https://ergo-plus.com/>> [Accessed 10 Jul. 2025].
- Grznar, P., Gregor, M., Krajcovic, M., Mozol, S., Schickerle, M., Vavrik, V., Durica, L., Marschall, M., Bielik, T., 2020. Modeling and simulation of processes in a factory of future. *Applied Sciences*, 10(13), 4503.
- Knapcikova, L., Behunova, A., Behun, M., 2020. Using a discrete event simulation as an effective method applied in the production of recycled material. *Advances in Production Engineering & Management*, 15, pp. 431-440.
- Makysova, H., Galgoci, F., Gyurak Babelova, Z., Starecek, A., 2024. The improvement of the production process performance through material flow and storage efficiency increases serial production. *Acta Logistica*, 11(1), pp. 57-65.
- Marasova, D., Saderova, J., Ambrisko, L., 2020. Simulation of the use of the material handling equipment in the operation process. *Open Engineering*, 10(1), pp. 216-222.
- Saderova, J., Ondov, M., Kovac, J., Szucs, M., Betus, M., 2022. Simulation of material flow using vertical transport by a double-action mine hoist. *Acta Simulatio*, 8(4), pp. 47-50.
- Straka, M., Khouri, S., Lenort, R., Besta, P., 2020. Improvement of logistics in manufacturing system by the use of simulation modelling: A real industrial case study. *Advances in Production Engineering & Management*, 15(1), pp. 18-30.
- Takala, E.P., Pehkonen, I., Forsman, M., Hansson, G.Å., Mathiassen, S.E., Neumann, W.P., Winkel, J., 2009. Systematic evaluation of observational methods assessing biomechanical exposures at work. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 47(5), pp. 329-347.



22nd International Conference
XXII. medzinárodná konferencia

23 – 26 September 2025
23. – 26. september 2025

**Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport
and Handling Equipment**
**Výskum, výroba a použitie oceľových lán, dopravných
a manipulačných zariadení**

Trebuňa, P., 2017. Application of selected modelling and simulation methods in industrial engineering. Technical University of Košice, Faculty of Mechanical Engineering, Košice.

Trebuňa, P., Mizerák, M., Trojan, J., Kliment, M., 2020. Digitalization of manufacturing processes and systems; Technical University of Košice, Košice.

**NÁZOV: Research, Production and Use of Steel Ropes, Transport and Handling
Equipment VVaPOL 2025**

PODNÁZOV: Zborník príspevkov z konferencie

EDITORI: Ľubomír Ambriško, Daniela Marasová

VYDAVATEĽ: Technická univerzita v Košiciach

ROK: 2025

VYDANIE: prvé

NÁKLAD: 90 ks

ROZSAH: 222 strán

TLAČ: EQUILIBRIA, s.r.o.

ISBN: 978-80-553-4792-9

Texty neprešli jazykovou úpravou, za vecnú správnosť zodpovedajú autori príspevkov.

ISBN 978-80-553-4792-9