



ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE
Strojnícka
fakulta

AUTOREFERÁT DIZERTAČNEJ PRÁCE

Žilina, 2026

Ing. Kristína Kozáková



ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE
Strojnícka
fakulta

Ing. Kristína Kozáková

AUTOREFERÁT DIZERTAČNEJ PRÁCE

**Aplikácia metód komplexného riadenia kvality a vedeckého výskumu v Ťažkom laboratóriu
koľajových vozidiel**

Na získanie akademického titulu **doktor**
(„**philosophiae doctor**“, v skratke „**PhD.**“)
v študijnom odbore Strojárstvo
v študijnom programe Koľajové vozidlá

Žilina 2026

Dizertačná práca bola vypracovaná v dennej forme doktorandského štúdia na Žilinskej univerzite v Žiline, Strojníckej fakulte, Katedre dopravnej a manipulačnej techniky.

Predkladateľ: Ing. Kristína Kozáková
Žilinská univerzita v Žiline
Strojnícka fakulta
Katedra dopravnej a manipulačnej techniky

Školiteľ: prof. Dr. Ing. Juraj Gerlici, prof. h. c.
Žilinská univerzita v Žiline
Strojnícka fakulta
Katedra dopravnej a manipulačnej techniky

Oponenti:

1. prof. Ing. Alona Lovska, Dr.Sc. Tech.
Žilinská univerzita v Žiline, Strojnícka fakulta
Katedra dopravnej a manipulačnej techniky
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina
2. doc. Ing. Bohuš Leitner, PhD.
Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta bezpečnostného inžinierstva
Katedra požiarneho inžinierstva
ul. 1. mája 32, 010 026 Žilina
3. doc. Ing. Ján Podhorský, PhD.
Ústav súdneho inžinierstva Žilinskej univerzity v Žiline
Ul. 1. mája 32, 01001 Žilina
4. Ing. Severín Skotnický, CSc.
Mateja Bela 8756/1B, 010 15 Žilina

Autoreferát bol rozoslaný dňa:

Obhajoba dizertačnej práce sa koná dňa 25.08.2026 o 10:00 hod. v miestnosti BA105 na SjF, Univerzitná 8215/1, 010 26, Žilina, pred komisiou pre obhajobu dizertačnej práce schválenou odborovou komisiou v študijnom odbore Strojárstvo, v študijnom programe Koľajové vozidlá, vymenovanou dekanom Strojníckej fakulty, Žilinskej univerzity v Žiline.

S dizertačnou prácou je možné sa oboznámiť na referáte pre vedu a výskum dekanátu SjF, UNIZA, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina.

prof. Dr. Ing. Juraj Gerlici, prof. h. c.
predseda komisie pre obhajobu dizertačnej práce

ÚVOD

Skúšanie brzdových komponentov koľajových vozidiel predstavuje odbornú činnosť, pri ktorej sa spájajú požiadavky na technické vybavenie skúšobného pracoviska, presnosť merania, správne nastavenie skúšobných podmienok a následné spracovanie nameraných údajov. V prostredí skúšobného laboratória je preto potrebné venovať pozornosť nielen samotnému skúšobnému zariadeniu, ale aj postupnosti jednotlivých pracovných úkonov, spôsobu ich kontroly a dokumentácii procesov, ktoré sa pri skúške vykonávajú.

Dizertačná práca je zameraná na procesy súvisiace s prípravou, konfiguráciou, prevádzkou a vyhodnotením skúšok realizovaných na zotrvačníkovom brzdovom stave UIC v Ťažkom laboratóriu koľajových vozidiel. Toto pracovisko slúži na skúšanie a analýzu brzdových komponentov koľajových vozidiel v simulovaných prevádzkových podmienkach. Pri skúškach sa uplatňuje mechanický, pneumatický, merací a riadiaci systém skúšobného zariadenia, pričom ich správna funkcia a vzájomná nadväznosť ovplyvňujú priebeh skúšky, záznam údajov a vyhodnotenie výsledkov.

V práci sú spracované laboratórne procesy, ktoré zahŕňajú manipuláciu s komponentmi, montáž a demontáž vybraných častí skúšobného zariadenia, pripojenie a odpojenie meracích a pneumatických prvkov, kalibráciu snímačov, realizáciu skúšobnej procedúry a následné spracovanie nameraných údajov. Z uvedeného dôvodu bola vytvorená procesná štruktúra laboratórných činností, ktorá tvorí podklad pre hodnotenie možných poruchových stavov.

Na hodnotenie rizík bola použitá metóda PFMEA, ktorá umožňuje systematicky posudzovať možné poruchy v jednotlivých krokoch procesu, ich príčiny, následky, existujúce preventívne a detekčné opatrenia a následne určiť číslo priority rizika RPN. Hodnotenie bolo prispôbené podmienkam laboratórných procesov a zamerané na poruchové stavy, ktoré môžu ovplyvniť bezpečnosť pracovníkov, technický stav zariadenia, správnosť merania, priebeh skúšky alebo spracovanie výsledkov.

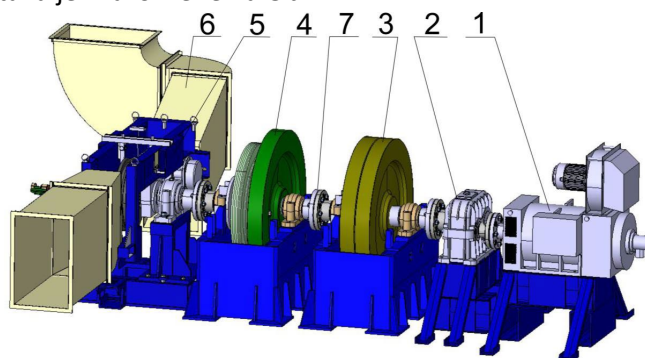
Súčasťou dizertačnej práce je aj väzba na experimentálny výskum realizovaný na zotrvačníkovom brzdovom stave. Tento výskum bol zameraný na posúdenie vplyvu objemu venca železničného kolesa na trecie vlastnosti brzdových komponentov. Poznatky získané počas experimentálnych skúšok boli využité pri identifikácii reálnych laboratórných činností, tvorbe procesnej mapy, hodnotení možných poruchových stavov a návrhu aktualizácie dokumentácie.

Cieľom dizertačnej práce bolo spracovať procesy Ťažkého laboratória koľajových vozidiel do prehľadnej štruktúry, aplikovať metódu PFMEA na vybrané laboratórne činnosti a navrhnúť opatrenia, ktoré môžu prispieť k spresneniu pracovných postupov, doplneniu kontrolných miest a aktualizácii dokumentácie využívanej pri obsluhu zotrvačníkového brzdového stavu. Práca tak prepája experimentálnu činnosť, procesný prístup a systematické hodnotenie rizík v podmienkach skúšobného laboratória.

ANALÝZA PROBLEMATIKY – SÚČASNÝ STAV

Skúšanie brzdových komponentov koľajových vozidiel predstavuje oblasť, v ktorej sa spájajú požiadavky na technickú spôsobilosť skúšobného zariadenia, presnosť merania, opakovateľnosť skúšobných podmienok a dôveryhodnosť získaných výsledkov. Brzdové komponenty sú počas skúšok vystavené rôznym režimom brzdenia, pri ktorých sa sledujú najmä trecie vlastnosti, teplotné namáhanie a správanie skúšaných prvkov v simulovaných prevádzkových podmienkach. Z tohto dôvodu je potrebné, aby boli skúšky realizované podľa presne stanovených technických a metodických postupov.

Ťažké laboratórium koľajových vozidiel je špecializované pracovisko určené na skúšanie a analýzu brzdových komponentov koľajových vozidiel. Hlavným zariadením laboratória je zotrvačnický brzdový stav UIC, ktorý umožňuje skúšanie brzdových komponentov v skutočnej veľkosti. Z technického hľadiska je zariadenie tvorené mechanickým, meracím a riadiacim. Mechanická časť zabezpečuje simuláciu pohybu a brzdenej hmotnosti, merací systém slúži na zaznamenávanie rozhodujúcich veličín a riadiaci systém umožňuje nastavenie a priebeh skúšobnej procedúry. Z technického hľadiska je zariadenie tvorené pohonom, prevodovkou, sústavou zotrvačníkov, brzdovým stanovištom, vzduchotechnikou, pružnou čapovou spojkou, meracím a riadiacim systémom. Základné usporiadanie skúšobného stavu je znázornené na Obr. 1.



Obr. 1 Usporiadanie skúšobného stavu: 1 – elektromotor, 2 – prevodovka, 3 a 4 – zotrvačníky, 5 – brzdové stanovište, 6 – vzduchotechnika, 7 – pružná čapová spojka (BKN)

Pri skúšaní brzdových komponentov je dôležitá správna príprava skúšobného zariadenia, vhodné nastavenie vstupných parametrov, pripojenie meracích a pneumatických prvkov, kalibrácia snímačov, kontrola priebehu skúšky a následné spracovanie nameraných údajov. Každý z týchto krokov môže ovplyvniť výsledok skúšky, bezpečnosť pracovníkov alebo technický stav zariadenia. Z uvedeného dôvodu nie je možné hodnotiť skúšobný proces iba z hľadiska samotného merania, ale je potrebné posudzovať celý sled činností od prípravy skúšky až po vyhodnotenie výsledkov.

Prevádzka laboratória a skúšobného brzdového stavu súvisí aj s dodržiavaním technických a normatívnych požiadaviek. Významné sú najmä požiadavky noriem EN ISO/IEC 17025, ISO 9001, UIC IRS 50 548, UIC 541-3 a UIC 541-4. Tieto dokumenty vytvárajú rámec pre zabezpečenie kvality skúšobných procesov, technickej spôsobilosti laboratória, správnosti meraní, metrologickej nadväznosti a dôveryhodnosti výsledkov. V podmienkach skúšobného laboratória sa preto kladie dôraz nielen na technické vybavenie, ale aj na riadenie procesov, dokumentáciu, kvalifikáciu pracovníkov a kontrolu jednotlivých činností.

Súčasťou riešenej problematiky je aj oblasť analýzy rizík. V skúšobnom laboratóriu môžu poruchové stavy vzniknúť pri manipulácii so skúšanými komponentmi, pri montáži a demontáži častí skúšobného zariadenia, pri pripojení snímačov, pri nastavení softvérového prostredia, počas samotnej

skúšky alebo pri spracovaní nameraných údajov. Na systematické hodnotenie takýchto poruchových stavov je vhodné využiť metódu FMEA, konkrétne procesnú FMEA, ktorá umožňuje posúdiť možné poruchy v jednotlivých krokoch procesu, ich príčiny, následky a existujúce kontrolné opatrenia.

Laboratórne činnosti je preto potrebné vnímať ako nadväzujúci proces, v ktorom môže každý krok ovplyvniť priebeh skúšky, bezpečnosť pracovníkov alebo správnosť výsledkov. Ich spracovanie do prehľadnej procesnej štruktúry umožňuje lepšie určiť miesta, kde môžu vzniknúť poruchové stavy, a následne navrhnúť opatrenia na ich obmedzenie. Riešená problematika tak prepája technické skúšanie brzdových komponentov, požiadavky systému kvality a hodnotenie rizík v podmienkach skúšobného laboratória.

CIELE DIZERTAČNEJ PRÁCE

Cieľom práce je spracovať komplexný súbor informácií súvisiacich s výskumnou činnosťou v akreditovanom skúšobnom laboratóriu:

- v súlade s požiadavkami normy kvality pre skúšobné laboratóriá EN 17025,
- v súčinnosti so systémom riadenia kvality ISO 9001 na Strojníckej fakulte,
- vykonať vedeckú analýzu vybraného odborného problému.

Súčasťou plnenia hlavného cieľa je spracovať, aktualizovať existujúcu dokumentáciu.

- Spracovať systém evidencie a aktualizácie technickej dokumentácie.
- Na základe získaného poznania z činnosti skúšobného zariadenia a práce meracích inžinierov a technikov spracovať analýzu rizík pre činnosť zariadenia a dosahovania dôveryhodných výsledkov aplikovaného výskumu pri dodržaní požadovanej úrovne bezpečnosti pri práci.

Predpokladom pre spracovanie výsledkov, formulovanie hypotéz, ich potvrdzovanie a predikciu možných udalostí, ktoré môžu nastať pri prevádzke (resp. výskumnom procese) je informačné spracovanie údajov o vlastnostiach funkčných komponentov a ich vzájomnej interakcii.

Na základe poznania koncentrovaného do východiskového dokumentačného materiálu, **s využitím štandardných postupov FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) vytvoriť originálny postup, ktorý pomôže zabrániť, prípadne zmierniť riziká**, ktoré vznikajú pri:

- budovaní technickej základne skúšobného procesu,
- pri realizácii výskumnej činnosti,
- pri zabezpečovaní pre a post procesingu výskumného procesu.

Postup je zameraný na:

- **zber technických informácií, ich evidencia a triedenie,**
- **spôsob prípravy** experimentálneho procesu,
- **spôsob realizácie** experimentálneho procesu,
- zabezpečenie dokumentácie ku:
 - o oprávnenej účasti na pracovisku (na základe poučenia, školenia, výcviku),
 - o zabezpečeniu primeraných školiacich materiálov pre výskum činnosti,
- **zlepšovanie procesov:**
 - o **na základe FMEA** analýzy chýb, ich hodnotenia a optimalizácie konceptu
 - o **návrh a realizácie nových konceptov s dopadom na:**
 - konštrukčné riešenia skúšobného zariadenia,
 - zlepšenie, inovácia postupov pre zabezpečenie plynulosti, bezpečnosti a spoľahlivosti práce,
 - výskum vybratej problematiky realizovanej na skúšobnom stave: z hľadiska efektívnosti využitia skúšobných vzoriek,
 - **analýzu vplyvu veľkosti objemu venca železničného kolesa na výšku a priebeh súčiniteľa trenia** pri špecifickom a špecifikovanom zaťažení.

Vedecké metódy výskumu:

- Analýza požiadaviek noriem pre riadenie kvality ISO 9001, EN17025, Smernice systému riadenia kvality UNIZA, hľadanie prienikov, ich vzájomného súladu a jedinečných špecifik pre výslednú syntézu legislatívnej a pragmatickej realizačnej podoby
- Aplikácia konvergentného systému myslenia (celý myšlienkový postup je možné vopred algoritmizovať a postupovať určitým vopred známym smerom), predovšetkým:
 - o Heuristická metóda riadenej tvorivosti – pragmatická heuristika (cieľom je nájsť nové riešenie, objaviť a zdokonaľiť doterajší spôsob, postup, alebo systém riešenia)
 - o Gordonova heuristika (každý problém už niekto niekde riešil, ak nie úplne aspoň parciálne ho začal riešiť = cieľom je nájsť vhodnú analógiu riešenia problému a jej zdokonaleným postupom pokračovať ďalej v jeho riešení)

1. ANALÝZA RIZÍK A METÓDA FMEA

V technických a laboratórnych procesoch je riziko spojené s možnosťou vzniku nežiaducich dôsledkov, ktoré môžu ovplyvniť bezpečnosť, spoľahlivosť, kvalitu procesu alebo dosiahnutie požadovaných výsledkov. V podmienkach skúšobného laboratória môže ísť najmä o odchýlky od správneho priebehu skúšky, chyby pri príprave zariadenia, nesprávne meranie, poškodenie komponentov alebo neúplné spracovanie výsledkov.

Na systematické posúdenie takýchto rizík je v práci využitá metóda FMEA, teda analýza možných porúch a ich dôsledkov. Táto metóda umožňuje identifikovať možné poruchové stavy, určiť ich príčiny a následky a stanoviť priority pre návrh opatrení. V dizertačnej práci je dôraz kladený najmä na procesnú FMEA, ktorá je vhodná na hodnotenie jednotlivých činností vykonávaných pri príprave, realizácii a vyhodnotení skúšok na zotrvačníkovom brzdom stave.

Pri aplikácii FMEA sa jednotlivé poruchové stavy hodnotia pomocou troch kritérií:

- závažnosť následku poruchy (S – severity),
- pravdepodobnosť výskytu poruchy (O – occurrence) a
- odhaliteľnosť poruchy (D – detection).

Na základe týchto kritérií sa vypočíta číslo priority rizika RPN, ktoré slúži na porovnanie významnosti jednotlivých rizík. Vyššia hodnota RPN predstavuje vyššiu úroveň rizika a poukazuje na potrebu návrhu vhodných opatrení.

V práci je metóda PFMEA použitá ako nástroj na hodnotenie vybraných laboratórnych procesov. Jej cieľom je určiť kritické miesta skúšobného procesu, zhodnotiť existujúce preventívne a kontrolné opatrenia a navrhnúť úpravy, ktoré môžu prispieť k zvýšeniu bezpečnosti, spoľahlivosti skúšobného zariadenia a dôveryhodnosti nameraných výsledkov.

2. IDENTIFIKÁCIA A KLASIFIKÁCIA PROCESOV V LABORATÓRIU

Identifikácia a klasifikácia procesov v Ťažkom laboratóriu koľajových vozidiel bola spracovaná ako podklad pre následnú aplikáciu metódy PFMEA. Pri skúšaní brzdových komponentov na zotrvačníkovom brzdovom stave UIC nejde iba o samotné vykonanie brzdovej skúšky, ale aj o viacero činností, ktoré jej predchádzajú alebo na ňu nadväzujú. Tieto činnosti môžu ovplyvniť pripravenosť skúšobného zariadenia, bezpečnosť pracovníkov, správnosť merania, priebeh skúšky alebo následné spracovanie výsledkov.

V práci boli laboratórne procesy usporiadané podľa ich významu v rámci skúšobného procesu. Rozdelené boli na prípravné procesy a procesy konfigurácie brzdového stavu, procesy realizácie skúšky, doplňujúce procesy a postprocessing. Takéto členenie umožňuje prehľadne rozlíšiť činnosti súvisiace s prípravou skúšobného zariadenia, vlastným priebehom skúšky, doplnkovými úkonmi a vyhodnotením nameraných údajov. Členenie je zobrazené v Tab. 1.

Tab. 1 Členenie procesov prebiehajúcich v Ťažkom laboratóriu koľajových vozidiel

Skupina procesov	Charakteristika	Príklady činností
Prípravné procesy a konfigurácia brzdového stavu	Činnosti vykonávané pred samotnou skúškou, ktoré súvisia s prípravou skúšobného zariadenia a nastavením vstupných podmienok.	manipulácia so skúšanými komponentmi, montáž a demontáž častí skúšobného zariadenia, príprava novej vzorky, montáž a ustavenie rámu brzdy, montáž krúžkovej hlavy, pripojenie meracích vodičov, kalibrácia snímačov, montáž krytov
Procesy realizácie skúšky	Činnosti súvisiace s vlastným priebehom skúšky a jej riadením.	spustenie brzdového stavu, nastavenie skúšobnej procedúry v softvéri, kontrola vstupných údajov, sledovanie priebehu skúšky, zastavenie skúšobného zariadenia
Doplňujúce procesy	Činnosti vykonávané podľa typu skúšobného programu alebo skúšanej vzorky.	montáž a demontáž kropiaceho zariadenia, montáž parkovacej brzdy, špecifické kontrolné úkony, príprava pracoviska podľa typu skúšky
Postprocessing	Činnosti vykonávané po ukončení skúšky, zamerané na spracovanie a dokumentovanie výsledkov.	export nameraných údajov, spracovanie výsledkov, tvorba grafov a tabuliek, kontrola úplnosti výsledkov, vypracovanie správy o skúške

Takto spracované členenie slúžilo ako podklad pre výber reprezentatívnych procesov, ktoré boli následne hodnotené pomocou metódy PFMEA. Umožnilo určiť, ktoré činnosti majú priamy vplyv na prípravu skúšobného stavu, ktoré súvisia s realizáciou skúšky a ktoré ovplyvňujú následné spracovanie výsledkov.

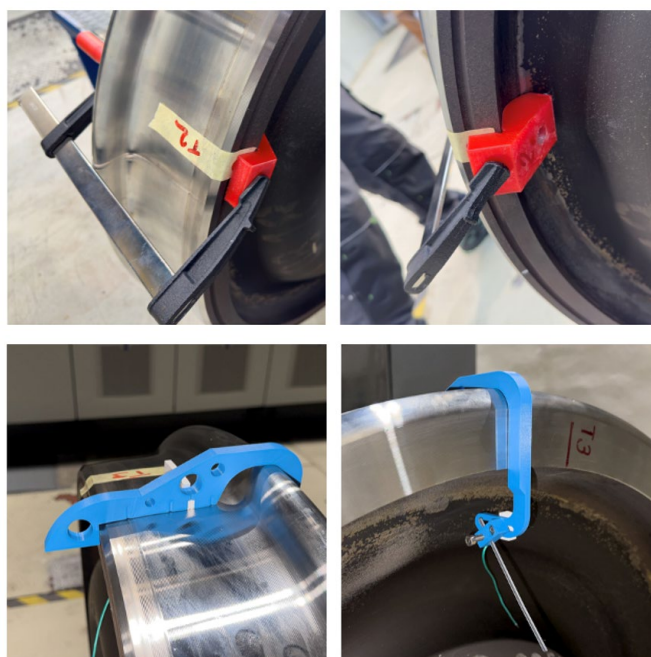
3. VÄZBA LABORATÓRNYCH PROCESOV NA EXPERIMENTÁLNY VÝSKUM

Súčasťou dizertačnej práce bolo aj prepojenie spracovaných laboratórnych procesov s referenčným experimentálnym výskumom realizovaným na zotrvačníkovom brzdovom stave UIC. Experimentálny výskum bol zameraný na posúdenie vplyvu objemu venca železničného kolesa na trecie vlastnosti brzdových komponentov koľajových vozidiel pri skúšaní klátikovej brzdy s kompozitnými brzdovými klátikmi. Tento výskum zároveň poskytol praktický podklad pre identifikáciu reálnych laboratórnych činností, ktoré vstupujú do prípravy, realizácie a vyhodnotenia skúšok.

Experimentálne merania boli rozdelené do dvoch skúšobných celkov podľa objemu venca brzdeného železničného kolesa. Prvý celok bol vykonaný na kolese s objemom venca $9,5 \text{ dm}^3$, druhý celok na kolese s objemom venca $12,3 \text{ dm}^3$. Obidva skúšobné celky boli zostavené tak, aby bolo možné porovnávať namerané údaje pri rovnakom poradí a charaktere brzdových skúšok. Skúšobný program zahŕňal brzdenia do zastavenia, brzdenia pri zvýšených počiatočných teplotách, dlhodobé brzdenia pri konštantnom výkone a normalizačné brzdenia určené na uvoľnenie zostatkových napätí v kolese.

Počas skúšok boli zaznamenávané najmä silové a teplotné veličiny. Zo silových veličín bola meraná normálová sila a trecia sila, pričom ich vzájomný pomer slúžil na výpočet koeficientu trenia μ . Teplota bola meraná vo venci železničného kolesa pomocou termočlánkov typu K, ktoré umožnili sledovať teplotnú odozvu kolesa počas jednotlivých režimov brzdenia. Presné umiestnenie termočlánkov bolo dôležité z hľadiska správnosti merania, opakovateľnosti skúšok a následnej interpretácie výsledkov.

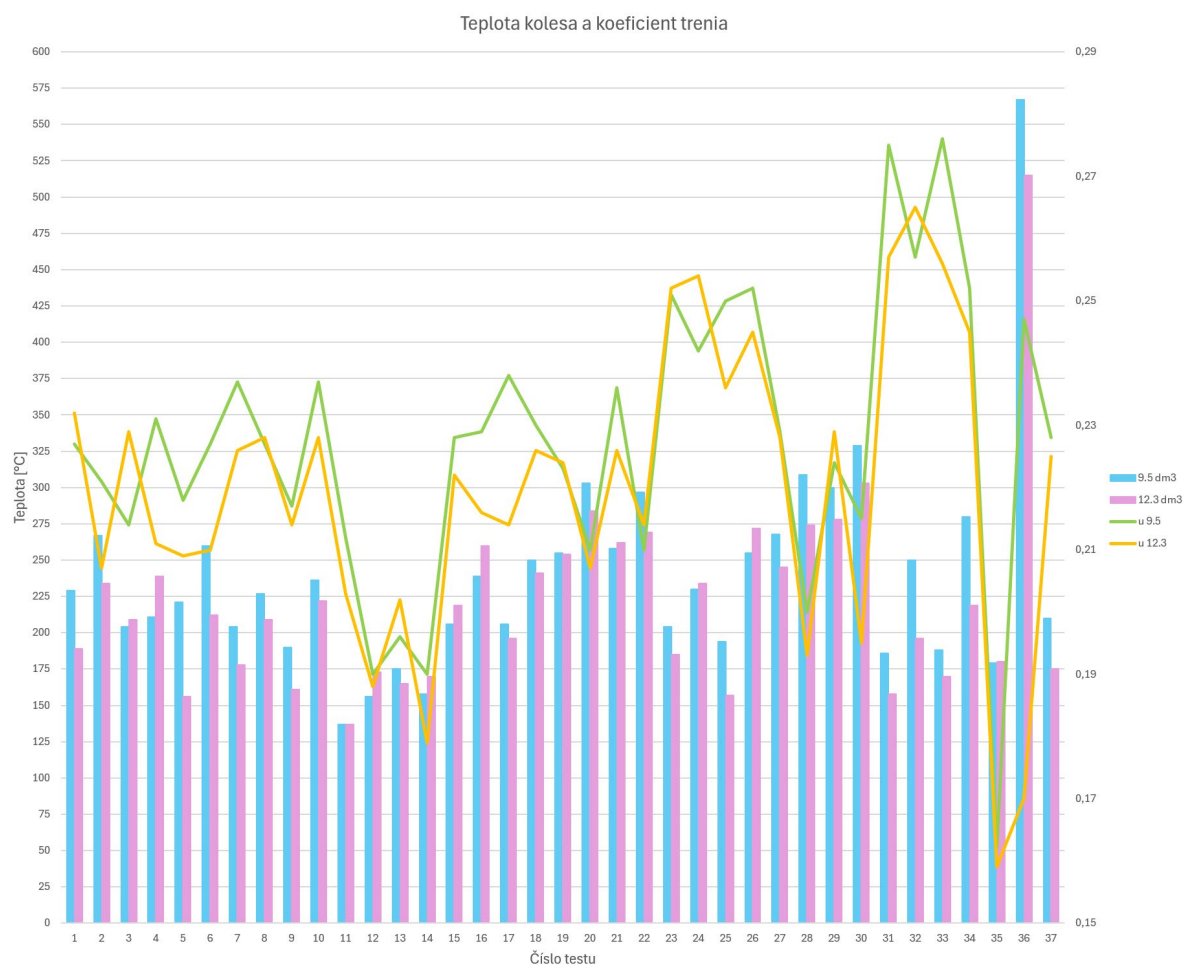
Pri príprave meracích miest boli využité 3D tlačené prípravky, ktoré sú na Obr. 2, určené na správne navrtanie otvorov pre termočlánky. Ich použitie bolo výhodné najmä preto, že geometria jednotlivých železničných kolies sa môže líšiť, a preto je možné prípravok prispôsobiť konkrétnej skúšobnej vzorke. Zároveň sa tým zvyšuje opakovateľnosť prípravy meracích miest a znižuje sa riziko nesprávneho uloženia termočlánkov.



Obr. 2 Prípravky pre správne navrtanie termočlánkov

Z procesného hľadiska možno prípravu termočlánkov zaradiť medzi kritické prípravné činnosti experimentálnej skúšky. Chyba v tejto fáze môže ovplyvniť nielen samotné meranie teploty, ale aj následné vyhodnotenie výsledkov a ich interpretáciu. Táto činnosť preto priamo súvisí s aplikáciou metódy PFMEA, keďže poukazuje na potrebu identifikácie procesov, ktoré môžu ovplyvniť presnosť, opakovateľnosť a dôveryhodnosť výsledkov skúšky.

Vyhodnotenie experimentálnych meraní bolo zamerané na porovnanie výsledkov získaných pri dvoch rozdielnych objemoch venca železničného kolesa. Sledovaný bol najmä priebeh koeficientu trenia a teploty počas vybraných režimov brzdenia. Porovnanie týchto priebehov umožnilo posúdiť, či rozdielny objem venca kolesa ovplyvňuje tepelnú odozvu brzdeného kolesa a priebeh trecích vlastností brzdových komponentov.



Obr. 3 Graf priebehu koeficientu trenia a teploty pre vykonané brzdenia železničného kolesa s rôznym objemom venca

Experimentálny výskum mal význam aj z hľadiska procesného prístupu uplatneného v dizertačnej práci. Realizácia skúšok zahŕňala viacero nadväzujúcich laboratórnych činností, hlavne prípravu skúšobnej vzorky, konfiguráciu brzdového stavu, prípravu meracích miest, osadenie termočlánkov, realizáciu brzdových skúšok a spracovanie nameraných údajov. Získané poznatky boli preto využité pri tvorbe procesnej štruktúry laboratória a pri následnom hodnotení vybraných procesov pomocou metódy PFMEA.

4. METODIKA APLIKÁCIE PFMEA V LABORATÓRNYCH PROCESOCH

Metodika aplikácie PFMEA bola v dizertačnej práci spracovaná pre potreby hodnotenia rizík v podmienkach Ťažkého laboratória koľajových vozidiel. Zameraná bola na procesy súvisiace s prípravou skúšky, konfiguráciou zotrvačnickového brzdomeriacu stavu, kalibráciou meracích prvkov, spustením skúšobného zariadenia, realizáciou skúšky a následným spracovaním nameraných údajov.

Pri aplikácii PFMEA bol najskôr vymedzený analyzovaný proces. Pre každý proces bol určený jeho začiatok a koniec, vstupy, výstupy, použité technické zariadenia, meracie prvky a väzba na pracovné postupy alebo dokumentáciu laboratória. Následne bol proces rozdelený na jednotlivé kroky podľa reálneho priebehu činností v laboratóriu.

Pre každý krok procesu boli určené možné poruchové stavy, ich príčiny a následky. Pri hodnotení sa sledovalo, či porucha môže ovplyvniť bezpečnosť pracovníkov, technický stav skúšobného zariadenia, správnosť merania, priebeh skúšky alebo následné spracovanie výsledkov. Súčasne boli zohľadnené existujúce preventívne a detekčné opatrenia.

Na hodnotenie jednotlivých poruchových stavov boli použité tri kritériá: závažnosť následku poruchy, pravdepodobnosť výskytu poruchy a odhaliteľnosť poruchy. Hodnotiace kritériá boli prispôbené podmienkam laboratórnych procesov a rozsahu vykonávaných skúšok. Použitá bola päťstupňová škála, kde hodnota 1 predstavuje najnižšiu úroveň rizika a hodnota 5 najvyššiu úroveň rizika. Skrátená verzia tabuľky na hodnotenie rizík je znázornená v Tab. 2.

Tab. 2 Skrátené hodnotenie kritérií S, O, D

Hodnota	S – závažnosť	O – pravdepodobnosť výskytu	D – odhaliteľnosť
1	zanedbateľná	veľmi nízka	veľmi dobrá
2	nízka	nízka	dobrá
3	stredná	stredná	stredná
4	vysoká	vysoká	nízka
5	kritická	veľmi vysoká	veľmi nízka

Číslo priority rizika RPN bolo vypočítané ako súčin hodnôt závažnosti, pravdepodobnosti výskytu a odhaliteľnosti poruchy:

$$RPN = S \times O \times D$$

Pri použitej päťstupňovej škále môže hodnota RPN nadobúdať hodnoty od 1 do 125, ako je v Tab. 3. Na základe výslednej hodnoty boli riziká zaradené do jednotlivých úrovní. Toto členenie slúžilo na porovnanie významnosti poruchových stavov a na určenie potreby návrhu opatrení.

Tab. 3 Klasifikácia rizika podľa hodnoty RPN

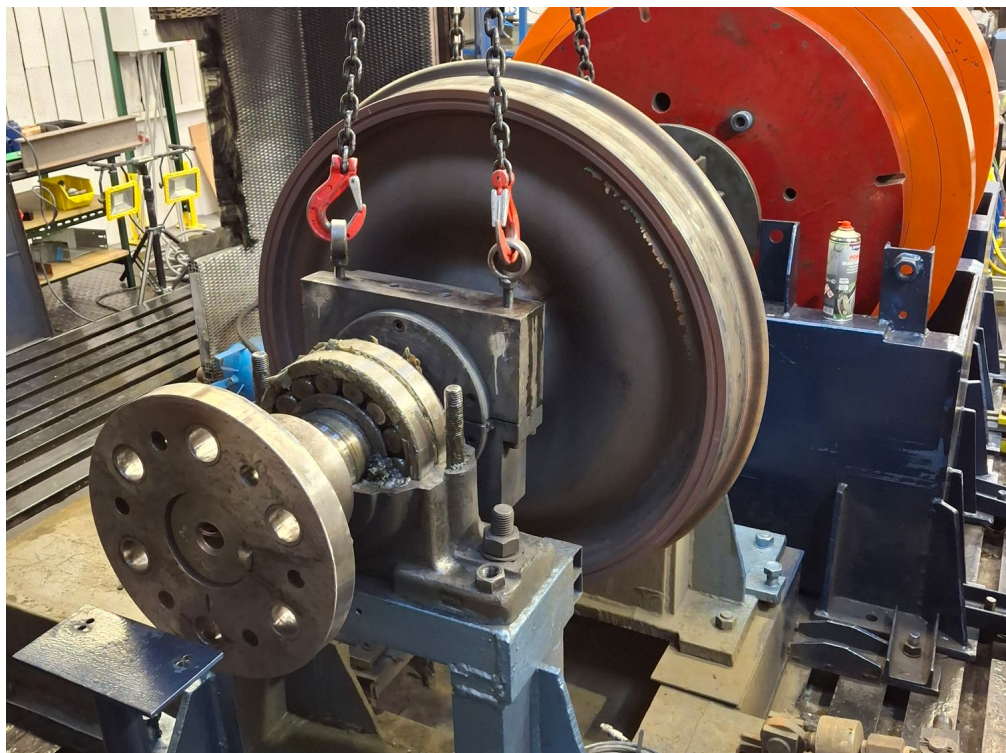
Hodnota RPN	Úroveň rizika	Význam
1 – 24	nízke riziko	riziko je prijateľné
25 – 59	stredné riziko	riziko je potrebné sledovať
60 – 99	vysoké riziko	je vhodné navrhnuť opatrenie
100 – 125	kritické riziko	je potrebné navrhnuť opatrenie

Na základe vypočítaných hodnôt RPN boli pri vybraných poruchových stavoch navrhnuté opatrenia. Tie boli zamerané najmä na spresnenie pracovných postupov, doplnenie kontrolných miest, označenie prvkov, kontrolu druhou osobou a zlepšenie dohľadateľnosti údajov. Po návrhu opatrení bolo vykonané opätovné hodnotenie rizika, ktoré umožnilo porovnať pôvodný stav a predpokladaný stav po prijatí opatrení.

5. APLIKÁCIA PFMEA NA VYBRANÝ PROCES LABORATÓRIA

V dizertačnej práci bola metóda PFMEA aplikovaná na vybrané procesy Ťažkého laboratória koľajových vozidiel. Ako príklad aplikácie PFMEA je v autoreferáte uvedený proces montáže a ustavenia rámu klátikovej brzdy. Tento proces patrí medzi prípravné procesy a procesy konfigurácie brzdového stavu, pretože sa vykonáva pred samotnou realizáciou brzdovej skúšky.

Proces montáže a ustavenia rámu klátikovej brzdy, ktorý je na Obr. 4, nadväzuje na prípravu skúšobnej vzorky a jej uloženie do brzdového stanovišťa. Jeho cieľom je správne premiestniť rám nad vzorku, uložiť ho na ložiskové skrine a ustaviť jeho polohu voči osi rotácie brzdového stavu. Správne vykonanie tohto procesu je dôležité z hľadiska bezpečnosti manipulácie, technického stavu zariadenia, správnej polohy brzdových jednotiek a následného priebehu skúšky.



Obr. 4 Rám klátikovej brzdy pri montáži na brzdový stav

Montáž rámu sa vykonáva pomocou žeriava. Pred montážou je potrebné skontrolovať, či v ráme nie sú nasadené brzdové klátiky a či je vzdialenosť medzi brzdovými jednotkami prispôbená priemeru skúšaného kolesa. V prípade potreby sa vzdialenosť medzi brzdovými jednotkami zväčší, aby bolo možné rám bezpečne premiestniť nad skúšobnú vzorku.

Po upnutí rámu na žeriav sa rám premiestni nad vzorku a uloží sa na ložiskové skrine. Následne sa vykoná kontrola jeho polohy a ustavenie kolmosti osi rámu voči osi rotácie brzdového stavu. Po správnom uložení rámu sa pokračuje montážou snímača, nastavením brzdových jednotiek a pripojením prívodu stlačeného vzduchu. Pri týchto úkonoch je potrebné dbať na správne mechanické uloženie, zaistenie častí rámu a ochranu meracích prvkov.

PFMEA tohto procesu bola zameraná na možné poruchové stavy, ktoré môžu vzniknúť pri manipulácii s rámom, jeho uložení, ustavení, nastavení brzdových jednotiek a pripojení pneumatického systému. Vzhľadom na rozsah pôvodnej PFMEA tabuľky je v autoreferáte uvedený iba skrátený výber najdôležitejších poruchových stavov v Tab. 4 až Tab. 6.

Tab. 4 Krok ochrany kabeláže

PFMEA položka	Hodnotenie
Krok procesu	Ochrana kabeláže snímača pri povoľovaní skrutky pri kryte
Požiadavka	Pri povoľovaní skrutky nesmie dôjsť k poškodeniu kabeláže snímača v jej blízkosti.
Možný poruchový stav	Račňa alebo ruka pracovníka poškodí kabeláž snímača.
Možný následok	Poškodenie kabeláže, strata alebo skreslenie signálu snímača, zdržanie skúšky alebo nutnosť opravy.
Pôvodné hodnotenie	S = 5, O = 2, D = 3, RPN = 30
Nástroje prevencie	Vizuálna kontrola polohy kabeláže pred použitím račne.
Navrhnuté opatrenie	Pred povoľovaním odsunúť alebo chrániť kabeláž; po úkone skontrolovať izoláciu a uchytenie kábla.
Hodnotenie po opatrení	S = 5, O = 1, D = 2, RPN = 10 – nízke, prijateľné riziko

Tab. 5 Krok premiestnenia rámu nad vzorku v blízkosti kamier

PFMEA položka	Hodnotenie
Krok procesu	Premiestnenie rámu nad vzorku v blízkosti kamier
Požiadavka	Rám sa musí premiestniť nad vzorku bez kolízie s kamerami a okolitými časťami.
Možný poruchový stav	Rám alebo brzdová jednotka narazí do kamery alebo jej držiaka.
Možný následok	Poškodenie kamery, potrubia, rámu alebo zdržanie skúšky.
Pôvodné hodnotenie	S = 5, O = 2, D = 3, RPN = 30
Nástroje prevencie	Pomalá manipulácia žeriavom a vizuálny dohľad pracovníkov, osoba s oprávnením obsluhovať žeriav, viazať bremená.
Navrhnuté opatrenie	Určiť osobu sledujúcu priestor kamier; rám premiestňovať pomaly a pri priblížení ku kamerám zastaviť a upraviť polohu.
Hodnotenie po opatrení	S = 5, O = 1, D = 2, RPN = 10 – nízke, prijateľné riziko

Tab. 6 Krok merania vzdialenosti medzi brzdovým držiakom a okrajom vodováhy v troch miestach

PFMEA položka	Hodnotenie
Krok procesu	Meranie vzdialenosti medzi brzdovým držiakom a okrajom vodováhy v troch miestach.
Požiadavka	Vzdialenosť sa musí merať na vrchnej strane držiaka, v strede a na spodnej strane.
Možný poruchový stav	Meranie sa vykoná iba v jednom mieste alebo sa odmeria nepresne.
Možný následok	Nesprávne vyhodnotenie kolmosti, šikmá poloha jednotky, nerovnomerné brzdenie.
Pôvodné hodnotenie	S = 5, O = 3, D = 2, RPN = 30
Nástroje prevencie	Meranie v troch miestach podľa postupu.
Navrhnuté opatrenie	Meranie vykonať druhou osobou.
Hodnotenie po opatrení	S = 5, O = 2, D = 1, RPN = 10 – nízke, prijateľné riziko

Z vykonanej PFMEA vyplynulo, že pri montáži a ustavení rámu klátikovej brzdy sú významné najmä poruchové stavy súvisiace s manipuláciou s rámom, jeho správnym uložením, geometrickým ustavením a nastavením brzdových jednotiek. Tieto kroky môžu mať vplyv nielen na bezpečnosť pracovníkov, ale aj na správnosť následnej brzdovej skúšky.

Najdôležitejšie opatrenia boli zamerané na doplnenie kontrolných miest pred pokračovaním v ďalšom kroku procesu. Ide najmä o kontrolu stavu rámu pred upnutím na žeriav, kontrolu vzdialenosti brzdových jednotiek podľa priemeru skúšanej vzorky, kontrolu dosadnutia rámu na ložiskové skrine a overenie jeho ustavenia voči osi rotácie brzdového stavu.

PFMEA ukázala, že pri tomto procese nie sú rizikové iba samotné manipulačné úkony, ale aj následné nastavenie rámu a brzdových jednotiek. Nesprávne vykonanie týchto krokov môže ovplyvniť priebeh skúšky, polohu brzdových klátikov voči tretej ploche a tým aj opakovateľnosť skúšobných podmienok. Výsledkom hodnotenia bol preto návrh spresnenia pracovného postupu a doplnenie kontrol, ktoré znižujú pravdepodobnosť vzniku chyby pri príprave skúšobného stavu.

6. NÁVRH AKTUALIZÁCIE DOKUMENTÁCIE LABORATÓRNYCH PROCESOV

Na základe spracovania laboratórnych procesov a aplikácie PFMEA bol v dizertačnej práci spracovaný návrh aktualizácie vybraných dokumentov používaných v Ťažkom laboratóriu koľajových vozidiel. Išlo o dokumentáciu, ktorá vznikla ako podklad pre akreditáciu laboratória podľa normy EN ISO/IEC 17025. Vzhľadom na zameranie práce boli posudzované najmä dokumenty Postupnosť úkonov pri obsluhu zotrvačnickového brzdového stavu UIC a Analýza rizík.

6.1 Postupnosť úkonov pri obsluhu zotrvačnickového brzdového stavu

Potreba aktualizácie vyplynula zo skutočnosti, že niektoré činnosti uvedené v pôvodnej dokumentácii sa už v laboratóriu nevykonávajú, prípadne sa vykonávajú iným spôsobom. Zmeny súviseli napríklad s výmenou vybraných konštrukčných celkov, úpravou technologických postupov alebo so zavedením vhodnejších riešení pri príprave skúšobných vzoriek. V aktualizovanej dokumentácii bolo preto potrebné zachytiť skutočný stav laboratórnych činností.

Jednou z hlavných úprav bolo spresnenie označenia niektorých procesov. V pôvodnej dokumentácii bolo pri snímačoch použité označenie kalibrácia, avšak v podmienkach laboratória sa v skutočnosti vykonáva ich verifikácia. Skúšobné laboratórium pracuje so snímačmi, ktoré majú kalibračný protokol od dodávateľa, pričom v laboratóriu sa overuje ich správna funkcia v konkrétnom zapojení. Z tohto dôvodu bolo v aktualizovanej verzii vhodnejšie použiť označenie verifikácia.

Ďalšou úpravou bolo odstránenie procesov, ktoré sa v súčasnosti pri brzdovom stave nevykonávajú, a doplnenie procesov, ktoré v pôvodnom zozname chýbali. Do aktualizovaného zoznamu boli doplnené najmä činnosti súvisiace s nastavením ovládacích konštánt, meraním vzoriek pred a po bloku brzdení, spracovaním nameraných údajov a tvorbou záverečnej správy.

Tab. 7 Príklady zmien v aktualizovanej dokumentácii laboratórnych procesov

Oblasť zmeny	Pôvodný stav	Aktualizovaný stav
Označenie procesu	kalibrácia snímačov	verifikácia snímačov
Zoznam procesov	niektoré procesy už nezodpovedali reálnemu stavu	odstránenie procesov, ktoré sa nevykonávajú
Chýbajúce činnosti	niektoré reálne vykonávané procesy neboli uvedené	doplnenie nastavenia ovládacích konštánt
Kontrola vzoriek	nebol samostatne uvedený proces merania vzoriek	doplnenie merania vzoriek pred a po bloku brzdení
Postprocessing	spracovanie výsledkov nebolo dostatočne vyčlenené	doplnenie spracovania údajov a tvorby záverečnej správy

Aktualizácia dokumentácie sa netýkala iba zoznamu procesov, ale aj samotného opisu vybraných pracovných postupov. Pri jednotlivých procesoch boli doplnené alebo spresnené činnosti, ktoré súvisia s reálnym priebehom práce v laboratóriu. Cieľom bolo, aby dokumentácia lepšie zodpovedala skutočnému spôsobu obsluhy zotrvačnickového brzdového stavu a aby bola použiteľná pri príprave skúšky, zaškoloňovaní pracovníkov a kontrole jednotlivých činností.

6.2. Analýza rizík

Súčasťou návrhu aktualizácie dokumentácie bol aj dokument Analýza rizík – Ťažké laboratórium koľajových vozidiel. Tento dokument predstavuje interný dokument laboratória, ktorého účelom je identifikovať, vyhodnocovať a minimalizovať riziká súvisiace s činnosťami vykonávanými v prostredí skúšobného laboratória.

V dizertačnej práci bola zároveň spracovaná PFMEA vybraných laboratórnych procesov. PFMEA však priamo nenahrádza pôvodný dokument Analýza rizík, pretože má iné zameranie. Pôvodný

dokument je orientovaný najmä na všeobecné riziká laboratória, ktoré súvisia s prevádzkou, organizáciou práce, personálnym zabezpečením, dokumentáciou, vybavením a všeobecnými podmienkami skúšobnej činnosti. PFMEA naopak hodnotí konkrétne procesné kroky, možné poruchové stavy, ich príčiny, následky a navrhované opatrenia.

Z tohto dôvodu bola PFMEA ponechaná ako samostatná analytická časť práce a dokument Analýza rizík bol chápaný ako všeobecný dokument laboratória. Návrh aktualizácie sa preto zameral najmä na doplnenie rizík, ktoré súvisia s činnosťami reálne vykonávanými v laboratóriu, ale v pôvodnej verzii dokumentu neboli samostatne uvedené.

V rámci návrhu aktualizácie dokumentu Analýza rizík bola navrhnutá aj úprava spôsobu hodnotenia pravdepodobnosti výskytu rizika. Pôvodné hodnotenie bolo založené na vyjadrení výskytu rizika v pomere k veľkému počtu prípadov. Takéto hodnotenie však nie je úplne vhodné pre podmienky Ťažkého laboratória koľajových vozidiel, kde sa ročne vykonáva približne 20 až 25 brzdových skúšok. Z tohto dôvodu bolo navrhnuté nové hodnotenie, ktoré vyjadruje pravdepodobnosť výskytu v časovom úseku, čo je zobrazené v Tab. 8.

Tab. 8 Návrh zmeny hodnotenia pravdepodobnosti výskytu rizika

Hodnota	Pravdepodobnosť	Pôvodné hodnotenie	Navrhnuté hodnotenie
0	nemožná	riziko sa nevyskytuje	riziko sa za bežných podmienok neuvažuje
1	veľmi nízka	1 z 1 000 000 prípadov	menej ako 1× za 10 rokov
2	nízka	1 zo 100 000 prípadov	približne 1× za 5 až 10 rokov
3	stredná	1 z 10 000 prípadov	približne 1× za 2 až 5 rokov
4	vysoká	1 z 1 000 prípadov	približne 1× ročne
5	veľmi vysoká	1 zo 100 prípadov	opakovane počas roka

Navrhnutá úprava hodnotenia pravdepodobnosti výskytu rizika lepšie zodpovedá podmienkam Ťažkého laboratória koľajových vozidiel, kde sa nevykonáva veľký počet opakovaných výrobných operácií, ale menší počet odborne pripravovaných brzdových skúšok.

Okrem návrhu zmeny hodnotenia pravdepodobnosti výskytu rizika boli do dokumentu Analýza rizík navrhnuté aj ďalšie doplnenia. Tieto doplnenia sa týkajú činností, ktoré sa v laboratóriu reálne vykonávajú, ale v pôvodnom dokumente neboli samostatne alebo dostatočne zachytené.

Doplnené boli najmä riziká spojené s manipuláciou s ťažkými bremenami, obsluhou žeriava a viazaním bremien. Pri týchto činnostiach je potrebné zohľadniť nielen samotnú manipuláciu s komponentmi brzdového stavu a skúšobnými vzorkami, ale aj používanie vhodných viazacích prostriedkov a platnosť príslušných oprávnení pracovníkov.

Do analýzy boli navrhnuté aj riziká súvisiace s používaním tlakových nádob a pohybom osôb v priestore laboratória. Pri tlakových nádobách je dôležité najmä používanie zariadení s platnou revíziou. Pri osobách, ktoré nie sú stálymi pracovníkmi laboratória, napríklad pri študentoch alebo návštevoch, je potrebné zabezpečiť poučenie o bezpečnosti a vykonať o tom záznam.

Vzhľadom na charakter brzdových skúšok bolo navrhnuté aj doplnenie upozornenia na horúce povrchy. Počas brzdovania dochádza k zahrievaniu vybraných častí skúšobného zariadenia a skúšanej vzorky, pričom zvýšená teplota môže pretrvávať aj po ukončení skúšky. Z tohto dôvodu je vhodné doplniť označenie pracoviska piktogramom upozorňujúcim na riziko popálenia.

Doplnenie uvedených rizík prispieva k tomu, aby dokument Analýza rizík lepšie zodpovedal reálnemu stavu laboratória a činnostiam vykonávaným pri príprave, realizácii a ukončení skúšok na zotrvačnickovom brzdovom stave.

PRÍNOSY ZÁVEREČNEJ PRÁCE

Prax

- systematizácia procesov prípravy, konfigurácie, realizácie a vyhodnotenia skúšok na zotrvačníkovom brzdovom stave UIC,
- aplikácia metódy PFMEA na vybrané činnosti Ťažkého laboratória koľajových vozidiel s identifikáciou kritických poruchových stavov a návrhom opatrení na zníženie rizika,
- formulácia odporúčaní pre aktualizáciu pracovných postupov, dokumentácie, kontrolných mechanizmov a zaškoľovania pracovníkov laboratória.

Veda

- vytvorenie porovnania vplyvu rozdielného objemu venca železničného kolesa na priebeh brzdného procesu, najmä na trecie vlastnosti brzdových komponentov, koeficient trenia a teplotné zaťaženie kolesa,
- prepojenie výsledkov experimentálneho výskumu s procesnou analýzou laboratórnych činností, čím sa podporuje presnosť, opakovateľnosť a dôveryhodnosť výsledkov skúšok brzdových komponentov koľajových vozidiel,
- vytvorenie metodického postupu aplikácie procesnej FMEA v podmienkach akreditovaného skúšobného laboratória so zameraním na skúšanie brzdových komponentov koľajových vozidiel,
- rozšírenie poznatkov o využití metód komplexného riadenia kvality a analýzy rizík pri experimentálnom výskume trecích vlastností brzdových komponentov.

Pedagogika

- abstrahovanie a sprístupnenie poznatkov získaných pri aplikácii PFMEA, riadení laboratórnych procesov a realizácii skúšok v podmienkach Ťažkého laboratória koľajových vozidiel,
- syntéza výsledkov a formulovanie záverov využiteľných pri výučbe predmetov zameraných na koľajové vozidlá, skúšobníctvo, manažérstvo kvality a bezpečnosť technických systémov,
- rozšírenie študijných podkladov o praktické príklady procesného riadenia, analýzy rizík a experimentálneho výskumu v akreditovanom laboratóriu.

ZÁVER

Dizertačná práca bola zameraná na aplikáciu metód komplexného riadenia kvality a analýzy rizík v podmienkach Ťažkého laboratória koľajových vozidiel. Pozornosť bola venovaná procesom súvisiacim s prípravou, konfiguráciou, prevádzkou a vyhodnotením skúšok realizovaných na zotrvačníkovom brzdovom stave UIC. Riešenie práce vychádzalo z potreby spracovať laboratórne činnosti do prehľadnej procesnej štruktúry a následne posúdiť možné poruchové stavy, ktoré môžu ovplyvniť bezpečnosť pracovníkov, technický stav zariadenia, správnosť merania alebo spracovanie výsledkov.

V práci boli identifikované a klasifikované procesy vykonávané v laboratóriu. Procesy boli rozdelené na prípravné procesy a procesy konfigurácie brzdového stavu, procesy realizácie skúšky, doplňujúce procesy a postprocessing. Takto spracované členenie vytvorilo podklad pre aplikáciu procesnej FMEA a umožnilo vybrať reprezentatívne procesy, pri ktorých bolo možné hodnotiť možné poruchové stavy, ich príčiny, následky a existujúce kontrolné opatrenia.

Súčasťou práce bolo aj prepojenie laboratórnych procesov s experimentálnym výskumom realizovaným na zotrvačníkovom brzdovom stave. Experimentálny výskum bol zameraný na posúdenie vplyvu objemu venca železničného kolesa na trecie vlastnosti brzdových komponentov. Poznatky získané počas realizácie skúšok boli využité pri identifikácii reálnych laboratórnych činností, tvorbe procesnej štruktúry a hodnotení rizík spojených s prípravou, priebehom a vyhodnotením skúšok.

Na vybrané procesy bola aplikovaná metóda PFMEA. Pre jednotlivé poruchové stavy boli stanovené hodnoty závažnosti, pravdepodobnosti výskytu a odhaliteľnosti poruchy, na základe ktorých bolo určené číslo priority rizika RPN. Pri vybraných rizikách boli navrhnuté opatrenia zamerané najmä na spresnenie pracovných postupov, doplnenie kontrolných miest, označenie prvkov, kontrolu druhou osobou a zlepšenie dohľadateľnosti údajov. Po zohľadnení opatrení bolo vykonané opätovné hodnotenie rizika.

Výsledky práce boli využité aj pri návrhu aktualizácie dokumentácie laboratórnych procesov. Aktualizácia sa týkala najmä dokumentov používaných pri obsluhu zotrvačníkového brzdového stavu a dokumentu Analýza rizík. Navrhnuté zmeny smerovali k zosúladeniu dokumentácie so skutočne vykonávanými činnosťami v laboratóriu, k doplneniu chýbajúcich procesov a k presnejšiemu hodnoteniu rizík vzhľadom na charakter laboratórnych skúšok.

Výsledkom dizertačnej práce je metodický postup aplikácie PFMEA v podmienkach skúšobného laboratória, spracovaná procesná štruktúra laboratórnych činností, vybrané hodnotenia rizík a návrh aktualizácie dokumentácie. Práca prepája experimentálnu činnosť, procesný prístup a systematické hodnotenie rizík. Navrhnuté riešenie je využiteľné pri ďalšom rozvoji dokumentácie laboratória, pri zaškoloňovaní pracovníkov a pri priebežnom hodnotení procesov súvisiacich so skúšaním brzdových komponentov koľajových vozidiel.

CONCLUSION

The dissertation thesis was focused on the application of comprehensive quality management methods and risk analysis in the conditions of the Heavy Laboratory of Rail Vehicles. Attention was paid to the processes related to the preparation, configuration, operation and evaluation of tests carried out on the UIC flywheel brake testing bench. The solution of the thesis was based on the need to process laboratory activities into a clear process structure and subsequently assess possible failure modes that may affect personnel safety, the technical condition of the equipment, measurement accuracy or the processing of results.

The processes performed in the laboratory were identified and classified in the thesis. The processes were divided into preparatory processes and brake testing bench configuration processes, test execution processes, supplementary processes and post-processing. This classification created a basis for the application of process FMEA and made it possible to select representative processes in which possible failure modes, their causes, effects and existing control measures could be assessed.

The thesis also included the connection of laboratory processes with experimental research carried out on the flywheel brake testing bench. The experimental research was focused on assessing the influence of railway wheel rim volume on the friction properties of brake components. The knowledge obtained during the tests was used to identify real laboratory activities, to create the process structure and to evaluate risks related to the preparation, execution and evaluation of tests.

The PFMEA method was applied to selected processes. For individual failure modes, the values of severity, occurrence and detection were determined, on the basis of which the Risk Priority Number, RPN, was calculated. For selected risks, measures were proposed mainly to refine working procedures, add control points, mark components, introduce second-person checks and improve data traceability. After taking the measures into account, the risks were re-evaluated.

The results of the thesis were also used in the proposal for updating the documentation of laboratory processes. The update concerned mainly the documents used for the operation of the flywheel brake testing bench and the Risk Analysis document. The proposed changes were aimed at aligning the documentation with the activities actually performed in the laboratory, supplementing missing processes and improving the assessment of risks with regard to the character of laboratory tests.

The result of the dissertation thesis is a methodological procedure for the application of PFMEA in the conditions of a testing laboratory, a processed process structure of laboratory activities, selected risk assessments and a proposal for updating the documentation. The thesis connects experimental activity, a process-based approach and systematic risk assessment. The proposed solution can be used for further development of laboratory documentation, personnel training and continuous assessment of processes related to the testing of brake components of rail vehicles.

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

GERLICI, J., V. HLAVŇA, R. ŘEZNÍČEK, 2003. Simulation of down-hill braking with a shoe brake. Budapest: TU, In: 4th Mini Conference on Vehicle System Dynamics, Identification and Anomalies.

HLAVŇA, V., R. ŘEZNÍČEK, 2002. Niektoré problémy suchého trenia. Žilinská univerzita, s 26 – 40. ISBN 80-7100-885-0, 2002.

KALINČÁK, D.: Koľajové vozidlá I. Žilinská univerzita v Žiline. s. 214- 226. ISBN 978-80-8070-864-1.

KALINČÁK, D., FITZ, P., IDETNÍK, R., LABUDA, R., LANG, A., ŘEZNÍČEK, R. Skúšanie v dopravnej a manipulačnej technike. Žilinská univerzita v Žiline, s. 175-179. ISBN 80-7100-932-6, 2002.

ČAJKOVIČ, L. 2022. Zlepšovanie mechanických vlastností brzdového stavu UIC. [Dizertačná práca], Žilinská univerzita v Žiline: Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, 2022. 132s.

GERLICI, J., M.GORBUNOV, K. KRAVCHENKO, A. KOSTYUCHEVICH, O. NOZHENKO, T. Lack, 2016. Experimental rigs for wheel /rail contact research.In: Manufacturing technology: journal for science, research and production. - ISSN 1213-2489. - Vol. 16, no. 5 (2016), s. 909-916.

HARUŠINEC, J., P. KURČÍK, P. STRÁŽOVEC, A. SUCHÁNEK, 2018. Možnosti kalibrácie snímačov používaných na meranie na zotrvačnickom brzdovom stave UIC.Česko,Ústí nad LabemUniverzita Jana EvangelistyPurkyně v Ústí nad Labem,Dynamics of rigid and deformablebodies, s. 1-8. ISBN 978-80-7561-142-0.

Inkrementální rotační snímače IRC 300 až 325 [online cit.: 2024-06-20]. Dostupné z: http://www.larm.cz/inkrementalni-rotacni-snimace-irc-300-az-325_files/

Hbm U2b Load Cell [online cit.: 2024-06-20]. Dostupné z: <https://sidph-instrument.en.made-in-china.com/product/PdmTjNpbXzWY/China-Hbm-U2b-Load-Cell.html>

QuantumX MX410B: Measure Sensor Signals up to 200 kS / s [online cit.: 2024-06-20]. Dostupné z: https://www.hbm.com/en/2133/quantumx-mx410b-4-channel-highly-dynamic-amplifier/?product_type_no=Data%20Acquisition%20Module%20for%20Highly%20Dynamic%20Measurements

GERLICI, J., KRAVCHENKO, K., FOMINA, Y. Development of an Innovative Technical Solution to Improve the Efficiency of Rolling Stock Friction Brake Elements Operation. TRANSBALTICA XII: Transportation Science and Technology, 2022. 28-38.

Sawczuk, W., Merkiś-Guranowska, A., Ulbrich, D., Kowalczyk, J., Rilo Cañas, A. M., 2022. Investigation and Modelling of the Weight Wear of Friction Pads of a Railway Disc Brake. In: Materials, 2022. 15(18), 6312. ISSN · 1996-1944

FEYNMAN, R.P., LEIGHTON, R.B., SANDS, M. Feynmanove prednášky z fyziky I. Vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry Bratislava. 1986, s. 222-225. ISBN 63-009-85.

The principles and design of foundation brake rigging [online cit.: 2024-04-22]. Dostupné z:

<https://web.archive.org/web/20241007090951/https://books.google.com/books?id=DoNBAQAAMAAJ&pg=PA5#v=onepage&q&f=false>

HELLER, P. Kolejová vozidla II. Západočeská univerzita v Plzni. 2019, s. 299 – 300. ISBN 978-80.261-0773-6.

GERLICI, J., GORBUNOV, M., KRAVCHENKO, K., PROSVIROVA, O., LACK, T. The Innovative Design of Rolling Stock Brake Elements. Communications - Scientific Letters of the University of Zilina, 19(11). 23-28.

KALINČÁK, D., R. ŘEZNÍČEK, M. MIKOLAJČÍK, 2015b. Porovnanie vplyvu kompozitných a liatinových brzdových klátikov na brzdené koleso. In: Technológ, s. 82-87. ISSN 1337-8996.

STN EN ISO/IEC 17 025 – Ed. 3: 2017 - General requirements for the competence of testing and calibration laboratories.

IRS 50 548 – Ed. 2: 2021, Brakes - Requirements for friction test benches for the international certification of brake pads and brake blocks.

HARUŠINEC, J., KOZÁKOVÁ, K., SUCHÁNEK, A., 2024. Investigation of the Impact of Touch Thermocouple Settings in Measuring the Surface Temperature of a Railway Brake Disc During Braking. In: *Transport Means - Proceedings of the International Conference*. 2024 – október, 1046 – 1052. ISSN 1822296X

UIC 541-3 – Ed. 8: 2017, Brakes - Disc brakes and their application - General conditions for the certification of brake pads.

UIC 541-4 – Ed. 6: 2020, Composite brake blocks - General conditions for certification and use.

Salimah, F., S., Purwoko S., Mu'alim, Ardiansyah, A., M., 2023. Identification of Train Braking Systems using Failure Mode And Effect Analysis Method at UPT Balai Yasa Surabaya Gubeng. In: Romanian Journal of Applied Sciences and Technology, 2023. Vol. 17, 446-451. ISSN 2668-778X

Aven, T. The Science of Risk Analysis Foundation and Practice. Prvé vydanie. Abingdon: Routledge, 2018. s. 57-90. ISBN: 978-0-367-13922-3.

Society for Risk Analysis Glossary [online cit.: 2024-05-12]. Dostupné z: <https://www.sra.org/risk-analysis-introduction/risk-analysis-glossary/>.

BS ISO 31 000 – Ed. 2: 2018 – Risk management – Guidelines.

Rausand, M. RISK ASSESSMENT Theory, Methods, and Applications. Prvé vydanie. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2011. s. 3-17. ISBN 978-0-470-63764-7.

10 Risk Management Best Practices for Architecture, Engineering and Construction [online cit.: 2024-05-12]. Dostupné z: <https://www.rmmagazine.com/articles/article/2024/11/20/10-risk-management-best-practices-for-architecture-engineering-and-construction>

Anderson, E. J. BUSINESS RISK MANAGEMENT Models and Analysis. Prvé vydanie. Chichester, West Sussex: John Wiley & Sons, 2014. s. 2-5. ISBN 978-1-118-34946-5.

Yoe, Charles. Principles of Risk Analysis. Druhé vydanie. Boca Raton: CRC Press, 2019. s. 47-97. ISBN 978-1-138-47820-6.

Bedford, T., Cooke, R. Probabilistic Risk Analysis: Foundations and Methods. Prvé vydanie. Cambridge: Cambridge University Press, 2001. s. 5. ISBN 978-0-521-77320-1.

AVEN, T. Risk Analysis Assessing Uncertainties beyond Expected Values and Probabilities. TJ International, Padstow, Cornwall, 2008, s. 51-55. ISBN 978-0-470-51736-9.

The NRC Risk Assessment Paradigm [online cit.: 2024-05-12]. Dostupné z: <https://www.epa.gov/fera/nrc-risk-assessment-paradigm>

Dyadem Engineering Corporation. Guidelines for Failure Mode and Effects Analysis for Automotive, Aerospace and General Manufacturing Industries. Ontario Canada: Dyadem Press, 2003. s. 37-41. ISBN 0849319080.

STN EN ISO 9001 – Ed. 4: 2015, Quality management systems – Requirements.

Mcdermott, Robin E., Mikulak, Raymond J., Beauregard, Michael R. THE BASICS OF FMEA. Druhé vydanie. New York: Productivity Press, 2009. s. 1-3. ISBN 978-1-56327-377-3.

Rakytá, Miroslav, Kasajová, Marta. PROJEKTOVANIE VÝROBNÝCH PROCESOV Návody na cvičenia. Prvé vydanie. Žilina: EDIS – vydavateľstvo Žilinskej univerzity, 2014. s. 102-120. ISBN 978-80-554-0929-0.

AIAG & VDA. FMEA Handbook. Prvé vydanie. Southfield, Michigan: Automotive Industry Action Group, 2019. s. 31-122. ISBN: 978-1-60534-367-9.

- Banduka, N., Veza, I., Bilic, B., 2016. An integrated lean approach to Process Failure Mode and Effect Analysis (PFMEA): A case study from automotive industry. In: *Advances in Production Engineering & Management*, 2016, 11(4), s.355-365. ISSN 1854-6250
- Johnson, K.G., Khan, M.K., 2003. A study into the use of the process failure mode and effects analysis (PFMEA) in the automotive industry in the UK. In: *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 139, 1-3, 348-356. ISSN: 1873-4774
- Banduka, N., Tadić, D., Mačužić, I., Crnjac, M., 2018. Extended process failure mode and effect analysis (PFMEA) for the automotive industry: The FSQC-PFMEA. In: *Advances in Production Engineering & Management*, 2018, 13(2), 206-215. ISSN 1854-6250
- Knop, K., 2020. Analysis of risk of nonconformities and applied quality inspection methods in the process of aluminium profiles coating based on FMEA results. In: *Production Engineering Archives*. 16(16), 16-21. ISSN: 2353-7779
- Domagala F.D., Domagala, M., 2022. A Concept of Risk Prioritization in FMEA of Fluid Power Components. In: *Energies*, 2022. 15(17), 6180. ISSN: 1996-1073
- STAMATIS, D. H. Risk Management Using Failure Mode and Effect Analysis (FMEA. ASQ Quality Press Milwaukee, Wisconsin, 2019. s. 49-54. ISBN 978-0-87389-978-9
- Akram, Muhammad, Luqman, Anam, Alcantud, R. Jose Carlos, 2021. Risk evaluation in failure modes and effects analysis: hybrid TOPSIS and ELECTRE I solutions with Pythagorean fuzzy information. In: *Neural Computing and Applications*. Vol. 33, 5675 – 5703. ISSN 1433-3058
- Antonacci, G., Lennox, L., Barlow, J., Evans, L., Reed, J., 2021. Process mapping in healthcare: a systematic review. In: *BMC Health Services Research*, 2021. 21(1), 2-15. ISSN 1472-6963
- Colligan, L., Anderson, J. E., Potts, H. W. W., Berman, J., 2010. Does the process map influence the outcome of quality improvement work? A comparison of a sequential flow diagram and a hierarchical task analysis diagram. In: *BMC Health Services Research*, 2010. 10(1), 1-9. ISSN 1472-6963

PUBLIKAČNÁ ČINNOSŤ

Publikácie

[1] DIŽO, J., BLATNICKÝ, M., ISHCHUK, V., KOZÁKOVÁ, K., SEMENOV, S., MIKHAILOV, E., 2023. A Mathematical Model of the Diesel-Mechanical Power Transmission of a Railway Vehicle. In: Transport Means - Proceedings of the International Conference. 1, 237 – 243. ISBN 978-171387953-4.

[2] HARUŠINEC, J., KOZÁKOVÁ, K., SUCHÁNEK, A., 2024. Investigation of the Impact of Touch Thermocouple Settings in Measuring the Surface Temperature of a Railway Brake Disc During Braking. In: Transport Means - Proceedings of the International Conference. 2024 – október, 1046 – 1052. ISSN 1822296X

[3] ISHCHUK, V., DIŽO, J., BLATNICKÝ, M., KOZÁKOVÁ, K., 2024. Comparison of dynamic properties of different types of wagons for intermodal transportation. In: Technical Systems Degradation. 1, 48 – 51. ISBN 978-83-947840-8-9

[4] GERLICI, J., LOVSKA, A., KOZÁKOVÁ, K., 2025. Research into the Longitudinal Loading of an Improved Load-Bearing Structure of a Flat Car for Container Transportation. In: Designs. 9(1), 1-15. ISSN 2411-9660

[5] KOZÁKOVÁ, K., HARUŠINEC, J., SUCHÁNEK, A., 2025. Experimental Investigation of the Influence of the Railway Wheel Rim Volume on the Frictional Characteristics of Rail Vehicle Braking Components. In: Transport Means - Proceedings of the International Conference. 2025, 620-625. ISSN 1822296X

[6] HARUŠINEC, J., KOZÁKOVÁ, K., SUCHÁNEK, A., 2026. Validation of a virtual model of a contact thermocouple with real measurements. In: Transportation Research Procedia. 2026, Vol. 93, 483-489. ISSN 23521457

[6] KRAVCHENKO, O., DIŽO, J., SUCHÁNEK, A., KOZÁKOVÁ, K., 2026. Prediction of the Spare Parts Range Based on Time and Economic Factors. In: Engineering Proceedings. 2026, 121(1), 1-13. ISSN 26734591

[7] GANZHEEV, D., FALENDYSH, A., ŠŤASTNIAK, P., KLETSKA O., KOZÁKOVÁ, K., KRAVCHENKO, K., 2026. Spatio-temporal redistribution of traffic flows during sequential blocking of channels at a signalized intersection: a probabilistic approach (case study of Augustusplatz, Leipzig). In: Communications. 2026, 1-11. ISSN 2585-7878

Prihlášky patentov a úžitkových zdrojov

[8] GERLICI, J., LOVSKA, A., DIŽO, J., KRAVCHENKO, O., ŠŤASTNIAK, P., HARUŠINEC, J., SUCHÁNEK, A., BREZÁNI, M., ISHCHUK, V., KOZÁKOVÁ, K., Klapka vysokostenného vozňa. Číslo prihlášky: u202401162 Dátum zverejnenia prihlášky: 04.03.2024.

[9] GERLICI, J., LOVSKA, A., DIŽO, J., KRAVCHENKO, O., ŠŤASTNIAK, P., KUBA, J., SUCHÁNEK, A., BREZÁNI, M., ISHCHUK, V., KOZÁKOVÁ, K., Univerzálny vysokostenný vozeň. Číslo prihlášky: u202401166 Dátum zverejnenia prihlášky: 04.03.2024.

[10] GERLICI, J., LOVSKA, A., DIŽO, J., KRAVCHENKO, O., ŠŤASTNIAK, P., HARUŠINEC, J., SUCHÁNEK, A., BREZÁNI, M., ISHCHUK, V., KOZÁKOVÁ, K., Klapka vysokostenného vozňa. Číslo prihlášky: u202401153 Dátum zverejnenia prihlášky: 04.03.2024.

[11] GERLICI, J., LOVSKA, A., DIŽO, J., KRAVCHENKO, O., ŠŤASTNIAK, P., HARUŠINEC, J., SUCHÁNEK, A., BREZÁNI, M., ISHCHUK, V., KOZÁKOVÁ, K., Osobný vozeň so zosilneným rámom. Číslo prihlášky: u202401161 Dátum zverejnenia prihlášky: 04.03.2024.

[12] GERLICI, J., LOVSKA, A., DIŽO, J., KRAVCHENKO, O., ŠŤASTNIAK, P., HARUŠINEC, J., SUCHÁNEK, A., BREZÁNI, M., ISHCHUK, V., KOZÁKOVÁ, K., Klapka vysokostenného vozňa. Číslo prihlášky: a202400748 Dátum zverejnenia prihlášky: 14.02.2024.

[13] GERLICI, J., LOVSKA, A., DIŽO, J., KRAVCHENKO, O., ŠŤASTNIAK, P., HARUŠINEC, J., SUCHÁNEK, A., BREZÁNI, M., ISHCHUK, V., KOZÁKOVÁ, K., Osobný vozeň s nosníkom absorbujúcim energiu. Číslo prihlášky: u202401169 Dátum zverejnenia prihlášky: 04.03.2024.

[14] GERLICI, J., LOVSKA, A., DIŽO, J., KRAVCHENKO, O., ŠŤASTNIAK, P., HARUŠINEC, J., SUCHÁNEK, A., BREZÁNI, M., ISHCHUK, V., KOZÁKOVÁ, K., Klapka vysokostenného vozňa. Číslo prihlášky:

u202401170 Dátum zverejnenia prihlášky: 04.03.2024.

[15] GERLICI, J., LOVSKA, A., DIŽO, J., KRAVCHENKO, O., ŠŤASTNIAK, P., HARUŠINEC, J., SUCHÁNEK, A., BREZÁNI, M., ISHCHUK, V., KOZÁKOVÁ, K., Klapka univerzálneho vysokostenného vagóna. Číslo prihlášky:

u202401167 Dátum zverejnenia prihlášky: 04.03.2024.

[16] GERLICI, J., LOVSKA, A., DIŽO, J., KRAVCHENKO, O., ŠŤASTNIAK, P., HARUŠINEC, J., SUCHÁNEK, A., BREZÁNI, M., ISHCHUK, V., KOZÁKOVÁ, K., Odnímateľná strecha vysokostenného vagóna. Číslo prihlášky:

u202401154 Dátum zverejnenia prihlášky: 04.03.2024.

[17] GERLICI, J., LOVSKA, A., DIŽO, J., KRAVCHENKO, O., ŠŤASTNIAK, P., KUBA, J., SUCHÁNEK, A., BREZÁNI, M., ISHCHUK, V., KOZÁKOVÁ, K., Univerzálny vysokostenný vozeň. Číslo prihlášky: u202401166 Dátum zverejnenia prihlášky: 04.03.2024.

[18] GERLICI, J., LOVSKA, A., DIŽO, J., KRAVCHENKO, O., ŠŤASTNIAK, P., HARUŠINEC, J., SUCHÁNEK, A., BREZÁNI, M., ISHCHUK, V., KOZÁKOVÁ, K., Osobný vozeň. Číslo prihlášky:

u202401164 Dátum zverejnenia prihlášky: 04.03.2024.

[19] GERLICI, J., LOVSKA, A., DIŽO, J., KRAVCHENKO, O., ŠŤASTNIAK, P., HARUŠINEC, J., SUCHÁNEK, A., BREZÁNI, M., ISHCHUK, V., KOZÁKOVÁ, K., Odnímateľná strecha vysokostenného vagóna. Číslo prihlášky:

u202401154 Dátum zverejnenia prihlášky: 04.03.2024.

[20] GERLICI, J., LOVSKA, A., DIŽO, J., KRAVCHENKO, O., ŠŤASTNIAK, P., HARUŠINEC, J., SUCHÁNEK, A., BREZÁNI, M., ISHCHUK, V., KOZÁKOVÁ, K., Klapka vysokostenného vozňa. Číslo prihlášky:

u202401170 Dátum zverejnenia prihlášky: 04.03.2024.

[21] GERLICI, J., LOVSKA, A., DIŽO, J., KRAVCHENKO, O., ŠŤASTNIAK, P., HARUŠINEC, J., SUCHÁNEK, A., BREZÁNI, M., ISHCHUK, V., KOZÁKOVÁ, K., Klapka vysokostenného vozňa. Číslo prihlášky:

u202401163 Dátum zverejnenia prihlášky: 04.03.2024.

[22] GERLICI, J., LOVSKA, A., DIŽO, J., KRAVCHENKO, O., ŠŤASTNIAK, P., HARUŠINEC, J., SUCHÁNEK, A., BREZÁNI, M., ISHCHUK, V., KOZÁKOVÁ, K., Klapka vysokostenného vozňa. Číslo prihlášky:

u202401162 Dátum zverejnenia prihlášky: 04.03.2024.

[23] GERLICI, J., LOVSKA, A., DIŽO, J., KRAVCHENKO, O., ŠŤASTNIAK, P., HARUŠINEC, J., SUCHÁNEK, A., BREZÁNI, M., ISHCHUK, V., KOZÁKOVÁ, K., Klapka vysokostenného vozňa. Číslo prihlášky:

u202401163 Dátum zverejnenia prihlášky: 04.03.2024.

[24] GERLICI, J., LOVSKA, A., DIŽO, J., KRAVCHENKO, O., ŠŤASTNIAK, P., HARUŠINEC, J., SUCHÁNEK, A., BREZÁNI, M., ISHCHUK, V., KOZÁKOVÁ, K., Osobný vozeň. Číslo prihlášky:

u202401164 Dátum zverejnenia prihlášky: 04.03.2024.

[25] GERLICI, J., LOVSKA, A., DIŽO, J., KRAVCHENKO, O., ŠŤASTNIAK, P., HARUŠINEC, J., SUCHÁNEK, A., BREZÁNI, M., ISHCHUK, V., KOZÁKOVÁ, K., Klapka univerzálneho vysokostenného vozňa. Číslo prihlášky:

u202401167 Dátum zverejnenia prihlášky: 04.03.2024.

[26] GERLICI, J., LOVSKA, A., DIŽO, J., KRAVCHENKO, O., ŠŤASTNIAK, P., HARUŠINEC, J., SUCHÁNEK, A., BREZÁNI, M., ISHCHUK, V., KOZÁKOVÁ, K., Osobný vozeň so zosilneným rámom. Číslo prihlášky:

u202401161 Dátum zverejnenia prihlášky: 04.03.2024.

[27] GERLICI, J., LOVSKA, A., DIŽO, J., KRAVCHENKO, O., ŠŤASTNIAK, P., HARUŠINEC, J., KUBA, E., SUCHÁNEK, A., BREZÁNI, M., ISHCHUK, V., KOZÁKOVÁ, K., Modulárna nákladná jednotka na prepravu dlhého tovaru. Číslo prihlášky: u202402477. Dátum zverejnenia prihlášky: 09.05.2024

[28] GERLICI, J., LOVSKA, A., DIŽO, J., KRAVCHENKO, O., ŠŤASTNIAK, P., HARUŠINEC, J., SUCHÁNEK, A., BREZÁNI, M., ISHCHUK, V., KOZÁKOVÁ, K., Univerzálny vysokostenný vozeň. Číslo prihlášky:

u202402476. Dátum zverejnenia prihlášky: 09.05.2024.

[29] GERLICI, J., LOVSKA, A., DIŽO, J., KRAVCHENKO, O., ŠŤASTNIAK, P., HARUŠINEC, J., SUCHÁNEK, A., BREZÁNI, M., ISHCHUK, V., KOZÁKOVÁ, K., Osobný vozeň. Číslo prihlášky: a202400746. Dátum zverejnenia prihlášky: 20.08.2025

[30] GERLICI, J., LOVSKA, A., DIŽO, J., KRAVCHENKO, O., ŠŤASTNIAK, P., HARUŠINEC, J., SUCHÁNEK, A., BREZÁNI, M., ISHCHUK, V., KOZÁKOVÁ, K., Odnímateľná strecha vysokostenného vagóna. Číslo prihlášky: a202400744. Dátum zverejnenia prihlášky: 20.08.2025.

[31] GERLICI, J., LOVSKA, A., DIŽO, J., KRAVCHENKO, O., ŠŤASTNIAK, P., HARUŠINEC, J., SUCHÁNEK, A., BREZÁNI, M., ISHCHUK, V., KOZÁKOVÁ, K., Osobný vozeň. Číslo prihlášky: a202400753. Dátum zverejnenia prihlášky: 20.08.2025.

[32] GERLICI, J., LOVSKA, A., DIŽO, J., KRAVCHENKO, O., ŠŤASTNIAK, P., HARUŠINEC, J., SUCHÁNEK, A., BREZÁNI, M., ISHCHUK, V., KOZÁKOVÁ, K., Klapka univerzálneho vysokostenného vagóna. Číslo prihlášky: a202400755. Dátum zverejnenia prihlášky: 20.08.2025.

[33] GERLICI, J., LOVSKA, A., DIŽO, J., KRAVCHENKO, O., ŠŤASTNIAK, P., HARUŠINEC, J., SUCHÁNEK, A., BREZÁNI, M., ISHCHUK, V., KOZÁKOVÁ, K., Osobný vozeň s nosníkom absorbujúcim energiu. Číslo prihlášky: a202400745. Dátum zverejnenia prihlášky: 20.08.2025.

[34] GERLICI, J., LOVSKA, A., DIŽO, J., KRAVCHENKO, O., ŠŤASTNIAK, P., HARUŠINEC, J., SUCHÁNEK, A., BREZÁNI, M., ISHCHUK, V., KOZÁKOVÁ, K., Univerzálny vysokostenný vozeň. Číslo prihlášky: a202400743. Dátum zverejnenia prihlášky: 20.08.2025.

Publikovanie záverečných prác

[35] KOZÁKOVÁ, K., 2020. Brzdové systémy úžitkových vozidiel [Bakalárska práca]. Žilinská univerzita v Žiline.

[36] KOZÁKOVÁ, K., 2022. Zlepšenie úžitkových vlastností dvojnápravového podvozka koľajového vozidla [Diplomová práca]. Žilinská univerzita v Žiline.