

Slovak University of Agriculture in Nitra, Faculty of Engineering

Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre

Technická fakulta



RECENT ADVANCES IN AGRICULTURE, MECHANICAL ENGINEERING AND WASTE POLICY

Najnovšie trendy v poľnohospodárstve, v strojárstve
a v odpadovom hospodárstve



INTERNATIONAL STUDENTS ' SCIENTIFIC CONFERENCE
Medzinárodná študentská vedecká konferencia

held under the auspices of / konaná pod záštitou

prof. Ing. Romana Gálika, PhD.

dean of faculty / dekana fakulty



SPU·TF

Technická
fakulta

Peer-reviewed Proceedings of Scientific Conference

Recenzovaný zborník prác z vedeckej konferencie

ISBN 978-80-552-2852-5

DOI: <https://doi.org/10.15414/2025.9788055228525>

Nitra, April 10th, 2025, Slovakia

SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA V NITRE
TECHNICKÁ FAKULTA

SLOVAK UNIVERSITY OF AGRICULTURE IN NITRA
FACULTY OF ENGINEERING

MEDZINÁRODNÁ ŠTUDENTSKÁ VEDECKÁ KONFERENCIA
INTERNATIONAL STUDENTS' SCIENTIFIC CONFERENCE

*konaná pod záštitou dekana TF SPU v Nitre prof. Ing. Romana Gálíka, PhD.
held under the auspices of prof. Ing. Roman Gálik, PhD. dean of the FE SUA in Nitra*

**NAJNOVŠIE TRENDY V POĽNOHOSPODÁRSTVE,
V STROJÁRSTVE A V ODPADOVOM HOSPODÁRSTVE**

**RECENT ADVANCES IN AGRICULTURE, MECHANICAL ENGINEERING
AND WASTE POLICY**

Recenzovaný zborník prác z vedeckej konferencie
Peer-reviewed Proceedings of Scientific Conference

Nitra, 10. 4. 2025

DOI: <https://doi.org/10.15414/2025.9788055228525>

Odborní garanti konferencie - Scientific Board of the Conference:

prof. Ing. Roman Gálik, PhD., SPU Nitra, Slovak Republic
doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D., ČZU Praha, Czech Republic
Dr.h.c. prof. Ing. Jan Mareček, DrSc., MU Brno, Czech Republic
Dr.h.c. prof. Ing. Miloslav Šoch, CSc., JCU Budějovice, Czech Republic
prof. Ing. Jozef Zajac, CSc., TU Košice, Slovak Republic
doc. Ing. Pavel Beňo, PhD., TU Zvolen, Slovak Republic
Dr. László Kátai, Faculty of Mechanical Engineering, SZIE Gödöllő, Hungary Assist. Prof.
Goran Topisirovic, Ph.D., Beograd, Serbia

Organizačný výbor - Organizing Committee:

doc. Ing. Ján Kosiba, PhD.
Ing. Ján Csillag, PhD.
Ing. Daniel Skladaný
Ing. Martin Nagy

Schválila rektorka Slovenskej poľnohospodárskej univerzity v Nitre dňa 31. 3. 2025
ako recenzovaný zborník prác z vedeckej konferencie online.

Approved by the Rector of the Slovak University of Agriculture in Nitra
on March 31st, 2025 as an online peer reviewed proceedings from a scientific conference.

This work is published under the license of the Creative Commons Attribution-
NonCommercial 4.0 International Public License (CC BY-NC 4.0).

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>



ISBN 978-80-552-2852-5

DOI: <https://doi.org/10.15414/2025.9788055228525>

Obsah

BAKO, M. – OLEJÁR, M.: RIADENIE POZÍCIE SCARA ROBOTA PROSTREDNÍCTVOM PRIEMYSELNEJ KAMERY, <i>POSITION CONTROL OF A SCARA ROBOT VIA AN INDUSTRIAL CAMERA</i>	1
BALÁŽI, M. –JANOŠKO, I.: OVERENIE ENERGETICKEJ NÁROČNOSTI MAZDA 6 MZR -CD, <i>ENERGY EFFICIENCY VERIFICATION OF A MAZDA 6 MZR -CD</i>	12
BÉGER, Ľ. – CVIKLOVIČ, V.: SYSTÉM NA AUTOMATIZOVANÉ MERANIE PARAMETROV SNÍMAČOV VZDIALENOSTI, <i>SYSTEM FOR AUTOMATED MEASUREMENT OF DISTANCE SENSOR PARAMETERS</i>	22
BUDAČ, P. – JANOŠKO, I.: TESTOVANIE PNEUMATÍK VYBRANÉHO VOZIDLA POČAS ROKA, <i>TESTING THE TIRES OF A SELECTED VEHICLE DURING THE YEAR</i>	33
BYSTRICKÝ, N. – MÁČIK, P. – FÖLDES, Ľ.: KŔMIDLO PRE PSY S AUTOMATICKÝM DÁVKOVANÍM, <i>AUTOMATIC DOSING DOG FOOD</i>	45
CSÓKÁS, K. – HLAVÁČ, P.: VYBRANÉ REOLOGICKÉ VLASTNOSTI PREVODOVÝCH OLEJOV TRAKTOROV V ZÁVISLOSTI OD TEPLoty, <i>SELECTED RHEOLOGICAL PROPERTIES OF TRANSMISSION OILS FOR TRACTORS DEPENDING ON TEMPERATURE</i>	50
DANIŠ, S. – KOSIBA, J. – EŠŠE, M.: LABORATÓRNE SKÚŠKY UNIVERZÁLNEJ EKOLOGICKEJ KVAPALINY, <i>LABORATORY TESTS OF UNIVERSAL ECOLOGICAL FLUID</i>	60
FERKOVÁ, B. – MIKUŠ, R.: NEDEŠTRUKTÍVNE SKÚŠKY ZVAROVÝCH SPOJOV VYBRANÝCH KONŠTRUKČNÝCH OCELÍ PRE POTREBY PREDVÝROBNEJ SKÚŠKY PODĽA EN ISO 15085, <i>NON-DESTRUCTIVE TESTS OF WELDED JOINTS OF SELECTED STRUCTURAL STEELS FOR PRE-PRODUCTION TESTING ACCORDING TO EN ISO 15085</i>	69
FANČOVIČOVÁ, M. – ŽITŇÁK, M.: ZNIŽOVANIE ÚRAZOVOSTI PROSTREDNÍCTVOM AUDITOV BEZPEČNOSTI PRÁCE NA VYBRANOM PRACOVISKU, <i>REDUCING ACCIDENT RATES THROUGH OCCUPATIONAL SAFETY AUDITS AT A SELECTED WORKPLACE</i>	79
GÖRČI, K. – TÓTH, L.: DETEKCIA A ZÁZNAM TRAJEKTÓRIE JEDNOTLIVÝCH KLBOV VYBRANÝCH ZVIERAT POMOCO KAMEROVÉHO SNÍMANIA A ANALÝZY OBRAZU, <i>DETECTION AND RECORDING OF THE TRAJECTORY OF INDIVIDUAL JOINTS OF SELECTED ANIMALS USING CAMERA IMAGING AND IMAGE ANALYSIS</i>	89
HAJDU, M.B. – KISS, P.: ENERGETIC EXAMINATION OF ALL-TERRAIN VEHICLE, <i>ENERGETIC EXAMINATION OF ALL-TERRAIN VEHICLE</i>	100
HORVÁTH, P. – JOBBÁGY, J.: VARIABILITA INFILTRAČNEJ SCHOPNOSTI PÔDY PRI UNIFORMNOM SPRACOVANÍ PÔDY, <i>VARIABILITY OF SOIL INFILTRATION CAPACITY DURING UNIFORM SOIL CULTIVATION</i>	108
IŽOLDOVÁ, M. – OLEJÁR, M.: RIADENIE MATEMATICKÉHO MODELU MOBILNÉHO ROBOTA PROSTREDNÍCTVOM FUZZY REGULÁTORA, <i>CONTROL OF A MATHEMATICAL MODEL OF A MOBILE ROBOT USING A FUZZY CONTROLLER</i>	118
KEVICKÝ, A. – MAJDAN, R.: VPLYV TLAKU VZDUCHU V PNEUMATIKÁCH NA HLUČNOSŤ AUTOMOBILU, <i>THE INFLUENCE OF TYRE INFLATION PRESSURE ON CAR NOISE</i>	134

KRAJČA, A. – HLAVÁČ, P.: POROVNANIE VYBRANÝCH REOLOGICKÝCH VLASTNOSTÍ NOVÝCH A POUŽITÝCH OLEJOV Z VÝROBNÝCH ZARIADENÍ, <i>COMPARISON OF SELECTED RHEOLOGICAL PROPERTIES OF NEW AND USED OILS FROM PRODUCTION EQUIPMENT</i>	143
LACA, M. – DVOŘÁK, S. – KAZÁN, Ľ. – KORENKO, M.: KVALITA PRACOVNÉHO PROSTREDIA: ANALÝZA HLUČNOSTI A JEJ VPLYV NA BEZPEČNOSŤ ZAMESTNANCOV, <i>QUALITY OF THE WORK ENVIRONMENT: ANALYSIS OF NOISE AND ITS IMPACT ON EMPLOYEE SAFETY</i>	153
MACEJKA, M. – ABRAHÁM, R.: POROVNANIE STATICKÉHO UHLA PRIEČNEJ A POZDĹŽNEJ STABILITY TRAKTORA V RÔZNYCH MODIFIKÁCIÁCH, <i>COMPARISON OF STATIC OVERTURNING ANGLE OF TRACTOR LATERAL AND LONGITUDINAL STABILITY IN DIFFERENT MODIFICATION</i>	162
MARKO, M – TÓTH, L. – KÓSA, P.: AUTOMATIZOVANÉ FRÉZOVANIE, <i>AUTOMATED MILLING</i>	174
MARKUSEK, M – TÓTH, L: ELEKTROMECHANICKÉ POMOCNÉ ZARIADENIE NA MERANIE VZDIALENOSTÍ VO VIACERÝCH VRSTVÁCH S LÍNIOVÝM 2D LASEROVÝM SKENEROM, <i>ELECTROMECHANICAL AUXILIARY DEVICE FOR MULTI-LAYER DISTANCE MEASUREMENT USING A LINE 2D LASER SCANNER</i>	186
MEŠINA, J. – GALAMBOŠOVÁ, J.: VPLYV TLAKU V PNEUMATIKÁCH NA VYBRANÉ PREVÁDZKOVÉ VLASTNOSTI STROJOVEJ SÚPRAVY PRI OBRÁBANÍ PÔDY, <i>IMPACT OF TYRE INFLATION PRESSURE ON THE SELECTED MACHINERY OPERATION PARAMETERS DURING SOIL CULTIVATION</i>	196
ORAVEC, T. – HUDECOVÁ, A.: AUTOMATICKÉ PRACIE ZARIADENIE, <i>AUTOMATIC WASHING MACHINE</i>	206
ORŠULA, J. – CVIKLOVIČ, V.: NÁVRH TECHNICKÉHO RIEŠENIA SNÍMAČA UHLA ZALOMENIA PRÍVESNÉHO VOZÍKA, <i>DESIGN OF A TECHNICAL SOLUTION FOR A TRAILER ARTICULATION ANGLE SENSOR</i>	214
ORŠULA, P. – ŽITŇÁK, M.: ANALÝZA RIZÍK PRI ÚDRŽBE VÝROBNÝCH LINIEK, <i>RISK ANALYSIS IN THE MAINTENANCE OF PRODUCTION LINES</i>	225
PODSKALAN, J –JANOŠKO, I.: DLHODOBÉ TESTOVANIE VYBRANEJ PRÍSADY DO NAFTY, <i>LONG-TERM TESTING OF A SELECTED DIESEL ADDITIVE</i>	235
RAČEK, M.– JANOŠKO, I.: POSÚDENIE PNEUMATÍK JEDNOSTOPOVÉHO VOZIDLA, <i>ONE-WHEEL TYRE ASSESSMENT</i>	244
SAMUEL, S.J. – MAREK, R. – KAZÁN, Ľ. – KORENKO, M.: HODNOTENIE RIZÍK A OPTIMALIZÁCIA VÝROBNÝCH PROCESOV POMOCOU METÓDY FMEA: PRÍPADOVÁ ŠTÚDIA V PRIEMYSELNEJ PRAXI, <i>RISK ASSESSMENT AND PROCESS OPTIMIZATION USING THE FMEA METHOD: A CASE STUDY IN INDUSTRIAL PRACTICE</i>	255
STAŇO, J.: – CVIKLOVIČ, V.: ZARIADENIE NA POČÍTANIE MOTOROVÝCH VOZIDIEL NA BÁZE DEFORMÁCIE MAGNETICKÉHO POĽA ZEME, <i>DEVICE FOR COUNTING MOTOR VEHICLES BASED ON THE DEFORMATION OF THE EARTH'S MAGNETIC FIELD</i>	267
VARL, P. – VITÁZEK, I.: SLEDOVANIE MIKROKLIMATICKÝCH PARAMETROV V INTERIÉRI VOZIDIEL POČAS AKTÍVNEHO VYKUROVANIA, <i>MONITORING OF MICROCLIMATIC PARAMETERS IN VEHICLE INTERIORS DURING ACTIVE HEATING</i>	276

RIADENIE POZÍCIE SCARA ROBOTA PROSTREDNÍCTVOM PRIEMYSELNEJ KAMERY

POSITION CONTROL OF A SCARA ROBOT VIA AN INDUSTRIAL CAMERA

MILAN BAKO – MARTIN OLEJÁR

Abstract

This work focuses on controlling a SCARA robotic arm using an industrial camera from B&R, managed by a B&R industrial computer. The camera has its own processor that processes the image and sends coordinates to the controlling system via variables in function blocks. The program then transforms the camera coordinates into robot coordinates using linear transformation and adjusts the robot's position through additional function blocks. The methodology includes configuring the camera's vision functions, setting up the robot's parameters, calibrating the system for precise object recognition and robot control, and implementing a state machine for real-time coordinate transformation. The results demonstrated successful interaction between the robot and objects recognized by the camera. The conclusions suggest the effectiveness of this solution in industrial automation and its potential for further improvement.

Key words: SCARA robot, Industrial camera, Linear transformation

1 Úvod

V súčasnosti sa priemyselná automatizácia stáva neoddeliteľnou súčasťou moderných výrobných procesov, pričom robotické systémy zohrávajú kľúčovú úlohu v tejto oblasti. Najčastejšie sa robotické manipulátory využívajú pri montáži malých dielov, Pick-and-Place operáciách, balení alebo kontrole kvality. SCARA roboty (Selective Compliance Assembly Robot Arm) sú špecializované priemyselné roboty optimalizované pre vysokorýchlostné operácie v horizontálnej rovine. Ich konštrukcia so štyrmi osami (dvoma rotačnými osami pre X/Y, lineárnou osou pre Z a rotačnou osou okolo Z) umožňuje vysokú presnosť a rýchlosť pri opakovaných úlohách ATP JOURNAL (2025).

Aby robotické ramená dokázali pracovať samostatne, je nevyhnutné, aby výrobný systém mal zariadenia alebo systémy, ktoré umožňujú robotom vnímať svoje okolie. Strojové videnie a priemyselné kamery hrajú v modernom priemysle kľúčovú úlohu, pretože umožňujú automatizáciu vizuálnych úloh, ktoré by inak vykonávali ľudia. Táto technológia kombinuje pokročilé kamery, senzory a algoritmy strojového učenia na analýzu obrazu a rozhodovanie v reálnom čase, čo umožňuje presné rozpoznávanie objektov a ich následné sledovanie. Tieto systémy vyžadujú efektívnu komunikáciu medzi kamerou a robotom, čo si vyžaduje presnú transformáciu súradníc a kalibráciu oboch zariadení WEVOLVER (2025).

Spoločnosť B&R je rakúskym lídrom v oblasti priemyselnej automatizácie, špecializujúcim sa na vývoj a výrobu inovatívnych riešení. Portfólio spoločnosti zahŕňa širokú

škálu produktov, ako sú programovateľné logické riadiace systémy (PLC), vizualizačné systémy, napájacie technológie, priemyselné počítače, inteligentné kamery, senzory a meniče pre rôzne typy motorov. Tieto produkty spoločnosť B&R využíva na tvorbu komplexných riešení pre modernú automatizáciu. Na realizáciu týchto riešení slúži vývojové prostredie Automation Studio, ktoré umožňuje programovanie, konfiguráciu a simuláciu automatizačných systémov. Prostredie podporuje riadenie PLC, vizualizačných a pohybových riadiacich systémov a poskytuje efektívny nástroj na návrh, testovanie a optimalizáciu rôznych automatizačných aplikácií B&R (2025).

Mapp technology (modular application technology) je súčasťou aplikačnej vrstvy automation studia ktorá podporuje vývojárov strojových a systémových aplikácií tým, že poskytuje spôsob efektívneho implementovania opakujúcich sa funkcií. Dôraz je kladený na flexibilitu, škálovateľnosť, kvalitu a intuitívne rozhranie. S technológiou mapp môžu byť základné funkcie implementované rýchlo a jednoducho, čo umožňuje inžinierom sústrediť sa na vývoj funkcií stroja, ktoré ho odlišujú. Technológia mapp sa skladá z viacerých technických balíčkov. Každý technologický balíček mapp poskytuje funkcie na spracovanie konkrétnej technologickej oblasti. Môže ísť napríklad o riadenie pohybu, aplikáciu strojového videnia alebo HMI (Human Machine Interface) stroja. Technologický balíček nie je obmedzený len na knižnicu funkcií; jeho rozsah sa rozširuje oveľa ďalej a poskytuje kompletný balík runtime funkcií, editorov a dokumentácie pomoci B&R (2025).

Inteligentná kamera od spoločnosti B&R je integrovaný vision systém, ktorý dokáže nezávisle zachytávať a spracovávať obrázky bez potreby závislosti od riadiaceho systému. Získavanie a spracovanie obrázkov prebieha priamo na kamere, čo nezaťažuje riadiaci systém. Kamera je vybavená vlastným procesorom a operačným systémom, ktoré umožňujú jej samostatnú prevádzku B&R (2025).

Cieľom tejto práce je vyvinúť a implementovať systém na ovládanie SCARA robota pomocou inteligentnej kamery. Celý systém bude riadený priemyselným počítačom od spoločnosti B&R a implementovaný v prostredí Automation Studio, ktoré umožní presnú transformáciu súradníc medzi kamerou a robotom. Tento systém bude zameraný na efektívne rozpoznávanie objektov a presnú navigáciu robota, čím prispeje k zvýšeniu efektivity priemyselnej automatizácie podniku.

2 Materiál a metódy

Pri spracovaní tejto práce sú použité nasledovné zariadenia:

SCARA robot Sony SRX-611

Sony SRX-611 je rýchly a presný SCARA robot s dosahom 600 mm a rotáciou až 360 stupňov. Má rôzne možnosti nosnosti – 1,99 kg, 2,99 kg a 4,99 kg. Pri nosnosti 1,99 kg dosahuje čas cyklu 0,6 sekundy na jednotku. Robot dosahuje maximálnu rýchlosť 5200 mm/sec v kombinácii osi 1 a 2, pričom Z-osa dosahuje rýchlosť 770 mm/sec a R-osa 1500 stupňov/sec. Opakovateľnosť robota je až do 0,03 mm, v závislosti od nosnosti, pričom pri 2 kg, 3 kg a 5 kg je opakovateľnosť 0,01, 0,02 a 0,03 mm. Robot je ideálny pre aplikácie v elektronike, farmaceutickom priemysle a výrobe plastov. Využíva riadiaci systém Luna 5.11. Parametre ramien zahŕňajú dĺžky 350 mm a 250 mm, pričom pracovný rozsah osi X a Y je 220 stupňov a ± 150 stupňov, Z-osa má rozsah 150 mm a R-osa umožňuje rotáciu až ± 360 stupňov USEDROBOTSTRADE (2025).



Obr. 1 SCARA robot Sony SRX-611
Fig. 1 SCARA robot Sony SRX-611

Smart senzor VSS112R22.053P-000

Priemyselný vizuálny senzor je vybavený procesorom s frekvenciou 800 MHz (dual-core ARM Cortex-A9) a disponuje 1 GB RAM a 2 GB internou flash pamäťou. Senzor podporuje FPGA predspracovanie obrazu a umožňuje komunikáciu cez dve POWERLINK rozhrania. Má senzor s rozlíšením 1,3 MP a dokáže snímať pri 165 fps, pričom podporuje aj line scan. Objektív je s ohniskovou vzdialenosťou 12 mm a svetelnou clonou F4 s nastaviteľným zaostrením. Senzor je vybavený 16 LED diódami (červená, modrá, infračervená a biela), pričom objektívy LED sú vybavené vylešteným sklom na oboch stranách a vysokým AR povlakom s difúznou funkciou B&R (2025).



Obr. 2 Smart senzor VSS112R22.053P-000

Fig. 2 Smart senzor VSS112R22.053P-000

Priemyselný počítač 5APC3100.KBU1-000

Ide o systémovú jednotku typu APC3100, ktorá je vybavená procesorom Intel Core i3 7100U s frekvenciou 2,4 GHz a dvoma jadrami. Tento počítač podporuje rozširovací modul 5AC901.IPLK-00, ktorý poskytuje POWERLINK rozhranie, umožňujúce prepojenie s komponentmi cez ethernetovú linku. Rozširovací modul disponuje 2 MB SRAM a je kompatibilný s viacerými systémami, ako sú APC910/PPC900, APC3100/PPC3100 a APC4100 B&R (2025).



Obr. 3 Priemyselný počítač 5APC3100.KBU1-000

Fig. 3 Industrial PC 5APC3100.KBU1-000

Servo menič 8V1016.50-2

Menič je navrhnutý pre prevádzku na jednofázovej alebo trojfázovej napájacej sieti. Má modulárny mechanický dizajn, ktorý využíva zapojiteľné moduly. Tento menič obsahuje integrovaný line filter, brzdný rezistor a elektronický inhibítor opätovného štartu. Podporuje

napájanie 3x 110-230 V alebo 1x 110-230 V, s prúdovým odberom 3,6 A a výkonom 0,7 kW. Okrem toho poskytuje aj integrovaný elektronický bezpečnostný interlock pre zabránenie opätovnému štartu. B&R (2025).



Obr. 4 Servo menič ACOPOS 8V1016.50-2
Fig. 4 ACOPOS 8V1016.50-2

Popis použitých metód

V tejto práci je použitý systém na ovládanie SCARA robota s využitím priemyselnej kamery, ktorá spracováva obraz a poskytuje súradnice rozpoznaných objektov. Celý systém je implementovaný vo vývojovom prostredí Automation Studiu, ktoré je založené na koncepte mapp technology. Tento koncept je založený na jednotlivých technologických balíkoch ktoré umožňujú vývojárom rýchlo a efektívne implementovať funkcie na spracovanie konkrétnej technologickej oblasti. V tomto systéme využívame technologické balíky:

- Mapp vision: Poskytuje knižnice funkcií pre strojové videnie a spracovanie obrazu.
- Mapp motion: Poskytuje knižnice funkcií pre ovládanie pohybu robotických manipulátorov B&R (2025).

Využitie mapp vision

Technologický balík mapp Vision umožňuje vytváranie vision aplikácií pre kamery, ktoré vykonávajú snímání obrazov a ich následné spracovanie. V tejto práci je využitá aplikácia Matching, ktorá slúži na rozpoznávanie objektov a určenie súradníc ich stredového bodu. Tieto súradnice sú následne uložené do I/O mappingu kamery, čo predstavuje súbor operačných premenných používaných na ovládanie kamery a ukladanie výstupov, ako sú napríklad spomínané súradnice rozpoznaných objektov. Na manipuláciu s týmito premennými je potrebné vytvoriť funkčný blok v Automation Studiu, ktorý umožňuje čítanie a nastavenie hodnôt v I/O mappingu. Komunikácia medzi kamerou a Automation Studiom prebieha prostredníctvom protokolu POWERLINK, čo zabezpečuje výmenu dát v reálnom čase B&R (2025).

Využitie mapp motion

Mapp motion je technologický balík, ktorý poskytuje nástroje na riadenie pohybu pre rôzne roboty a transportné systémy. Po nakonfigurovaní základných mechanických parametrov SCARA robota, ako sú pohybové limity jednotlivých osí, mechanické parametre prechodov medzi osami a mechanické parametre kontroléra meničov a prevodovky meničov, mapp Motion umožnilo riadiť pohyby robota s presnosťou na základe týchto parametrov. V rámci

mapp Motion sme využí špecializovaný balík Mapp Robotics, ktorý sa zameriava na konkrétne aplikácie robotiky. Tento balík ponúka pokročilé funkcie na zlepšenie presnosti pohybov robota. Balík sme využili na presné a plinulé riadenie pohybov robota B&R (2025).

Transformácia súradníc

Transformácia medzi kamerovými a robotickými súradnicami je vyjadrená lineárnym vzťahom ktorý sa dá vyjadriť pomocou rovnice:

$$X_r = a_x \cdot X_k + b_x \quad (1)$$

Kde:

- X_r je X súradnica robota, mm
- a je Konverzný faktor, Px
- X_k je X súradnica kamery
- b_x je posun

Where:

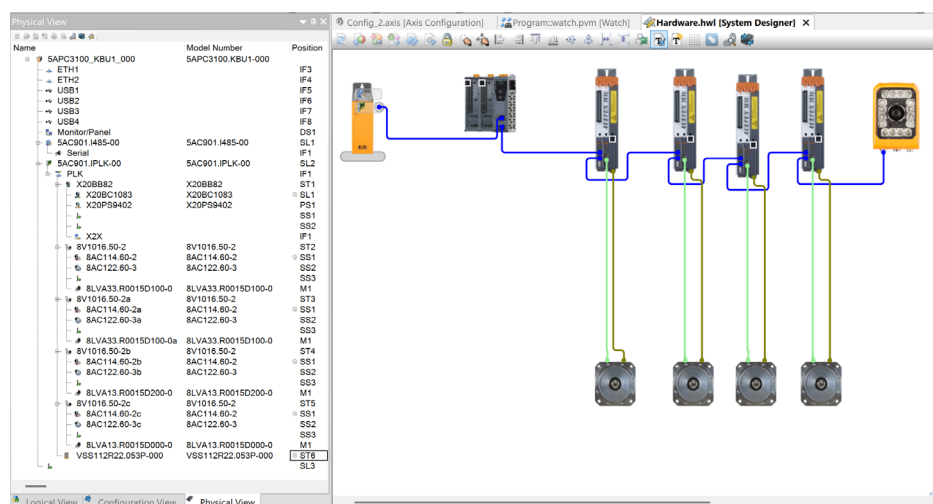
- X_r is the X coordinate of the robot, mm
- a is the conversion factor, Px
- X_k is the X coordinate of the camera
- b_x is the offset

Konverzný faktor určuje, o koľko milimetrov sa zmení pozícia robota pri zmene pozície v pixeloch, a posun zohľadňuje rozdiel medzi týmito dvoma súradnicovými systémami. Túto transformáciu je potrebné vykonať pre obidve súradnice, x aj y. Konverzný faktor a posun budú pre x a y súradnice odlišné, preto je nevyhnutné určiť ich hodnoty zvlášť pre každú z týchto súradníc.

3 Výsledky a diskusia

Hardvérová štruktúra robotického systému

Po vytvorení programu sa na pracovnú plochu pridá zvolený priemyselný počítač. Všetky ostatné hardvérové komponenty musíme na plochu pridať z Toolboxu drag and drop spôsobom. Pridáme kameru, servomeniče, POWERLINK zbernicu a motory použité v robotovi. Tieto komponenty následne prepojíme s počítačom cez POWERLINK rozhranie. Dôležitým krokom je aj nastavenie node number pre kameru na 6, čo zabezpečuje správnu identifikáciu zariadení a umožňuje správne nastavenie komunikácie v rámci systému. Node number nastavujem pravým kliknutím na kameru -> Node number -> Change node number.



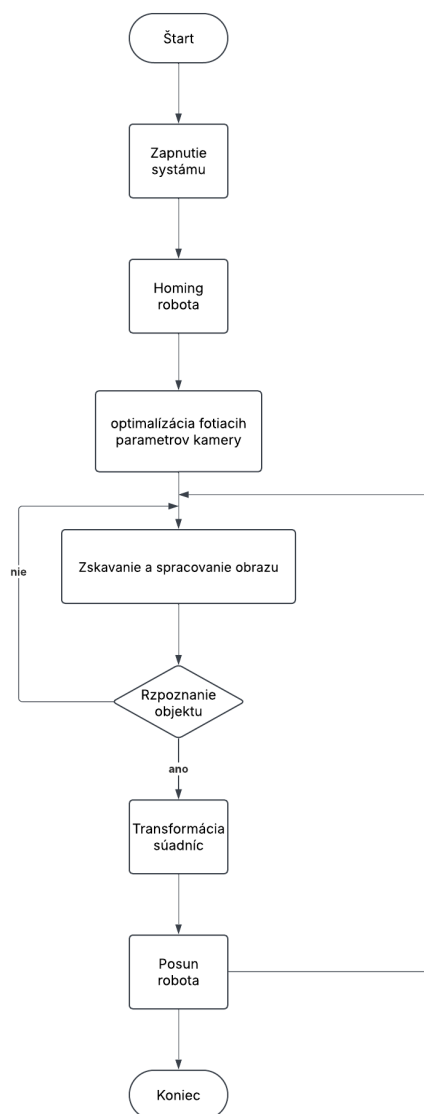
Obr. 5 Ukážka Hardvérovej štruktúry
Fig. 5 Demonstration of hardware structure

Hlavný program

Hlavný program je postavený na princípe stavového automatu, kde každý nasledujúci stav sa vykoná až po úplnom dokončení predchádzajúceho. Po zapnutí zariadenia prebiehajú inicializačné stavy, ktoré pripravujú systém na prevádzku. Robot vykoná homing, presunie sa do začiatkovej polohy, aby nezavadzal pri fotení, a kamera vyhladá optimálne parametre na získanie obrazu v aktuálnych podmienkach. Po úspešnom nastavení systému sa čaká na spustenie hlavného cyklu.

Keď sa cyklus spustí, robot vykoná získanie obrazu a jeho spracovanie. Ak sa na obrázku rozpozná objekt, priradí sa mu ID, súradnice X a Y ktoré sa zapíšu do funkčného bluku. Následne prebehne transformácia súradníc a tieto sa zapíšu do polohy robota, ktorý sa presunie nad rozpoznaný objekt a následne sa vráti späť na začiatkovú polohu. Ak sa rozpozná viacero objektov, robot sa presunie k objektu s ID 1. Po návrate na začiatkovú pozíciu sa cyklus zopakuje.

V prípade, že na obrázku nie je rozpoznaný žiadny objekt, cyklus sa zastaví na 5 sekúnd a následne sa spustí od začiatku. Cyklus je možné kedykoľvek zastaviť. Po opätovnom spustení sa cyklus začne od začiatku. Systém sa dá celí vypnúť a opätovne zapnúť. Ak sú pri zapnutí systému robot a kamera už zreferované, tieto kroky sa preskočia a systém prejde priamo na spustenie cyklu.



Obr. 6 Vývojový diagram programu
Fig. 6 Program Development Diagram

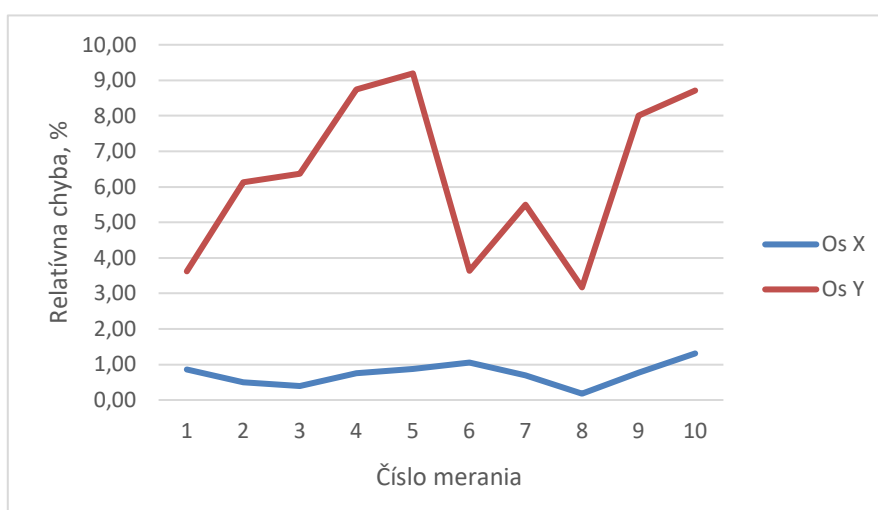
Počas testovania systému boli vykonané merania presnosti transformácie súradníc medzi kamerovým a robotickým systémom. Merania boli realizované pre rôzne pozície v rovine X a Y.

Tab. 1 Merania osy X
Tab. 1 measurement axis x

Os X Č.m.	Reálna, mm	Nameraná, mm	Odchýlka, mm	Chyba, %
1	400	403,44	3,44	0,85
2	400	402,01	2,01	0,50
3	400	398,41	1,59	0,40
4	400	397	3	0,76
5	400	403,55	3,55	0,88
6	500	505,34	5,34	1,06
7	500	503,47	3,47	0,69
8	500	499,11	0,89	0,18
9	500	503,89	3,89	0,77
10	500	506,64	6,64	1,31

Tab. 2 Merania osy X
Tab. 2 measurement axis x

Os Y Č.m.	Reálna, mm	Nameraná, mm	Odchýlka, mm	Chyba, %
1	200	193	7	3,63
2	100	94,23	5,77	6,12
3	0,00	6,37	6,37	6,37
4	-100	-91,96	8,04	8,74
5	-200	-183,16	16,84	9,19
6	200	192,99	7,01	3,63
7	100	94,79	5,21	5,50
8	0,00	3,17	3,17	3,17
9	-100	-92,59	7,41	8,00
10	-200	-183,97	16,03	8,71



Obr. 7 Graf relatívnej chyby meraní

Fig. 7 graph of a relative deviation of measurements

Počas testovania systému boli pod kameru umiestnené testovacie objekty. Kamera dokázala objekty správne rozpoznať a určiť ich súradnice. Presnosť určenia súradníc bola zmeraná a vyhodnotená vypočítaním absolútnej chyby.

Merania pre os X ukázali vysokú presnosť transformácie súradníc. Priemerná odchýlka sa pohybovala v rozmedzí od 0,18 % do 1,31 %, čo dokazuje stabilitu a konzistentnosť transformácie v horizontálnej rovine. Najmenšia zaznamenaná chyba bola 0,89 mm pri pozícii 500 mm, zatiaľ čo maximálna odchýlka dosiahla 6,64 mm, 1,31 %. Tieto výsledky naznačujú, že transformácia súradníc pre os X je veľmi presná a spoľahlivá.

Pri meraniach pre os Y sa odchýlka zvyšovala s tým, ako sa hodnota súradnice Y znižovala. Pri referenčnej pozícii 200 mm bola odchýlka relatívne malá, približne 7 mm, avšak pri pozícii -200 mm už dosiahla 16,84 mm. Tieto výsledky naznačujú, že s klesajúcou hodnotou Y sa presnosť merania znižovala. Na presnosť mohol vplývať proces vyhodnocovania obrazu, kde viacero parametrov môže ovplyvniť rozpoznávanie objektov. Medzi kritické faktory patrí optimalizácia parametrov pre získanie obrazu, konfigurácia parametrov naučeného objektu a osvetlenie pracovného priestoru, ktoré môže vytvárať tieň tým ovplyvňujúce rozpoznanie objektu.

SCARA robot následne vykonal presný pohyb a presunul sa nad rozpoznaný objekt, čím potvrdil správnosť implementovanej transformácie a kalibrácie mechanických systémov robota a servo meničov. Okrem toho boli testované všetky programové funkcie, ako napríklad štart, stop, zapnutie/vypnutie systému a opakovanie cyklu, ktoré spoľahlivo fungovali. Tieto výsledky potvrdzujú správnu integráciu hardvérových a softvérových komponentov systému, ako aj jeho schopnosť vykonávať úlohy v reálnom čase s vysokou presnosťou.

4 Záver

Na základe výsledkov práce môžeme konštatovať, že systém, ktorý kombinuje kamerový systém so SCARA robotom, je schopný vykonávať presné úlohy v automatizovanom prostredí. Po implementácii správnych transformácií a konfigurácii robota systém dosiahol dostačujúcu presnosť. Tento prístup možno využiť v rôznych aplikáciách automatizácie, kde je potrebná vysoká presnosť pri manipulácii s objektmi.

Môžeme teda konštatovať, že navrhnutý systém integrácie SCARA robota a inteligentnej kamery od spoločnosti B&R úspešne splnil stanovené ciele. Implementácia metód spracovania obrazu, transformácie súradníc a riadenia pohybu umožnila presné rozpoznávanie objektov a navigáciu robota k ich polohe v reálnom čase. Systém dosiahol vysokú presnosť a spoľahlivosť, čo bolo potvrdené počas testovania. Tieto výsledky poukazujú na efektívnosť použitia technológie mapp Vision a mapp Motion v priemyselnej automatizácii.

V porovnaní s existujúcimi riešeniami tento systém prináša výhodu v podobe nezávislého spracovania obrazu priamo na kamere, čím sa minimalizuje zaťaženie riadiaceho systému. Navyše, flexibilita systému umožňuje jeho adaptáciu na rôzne aplikácie, ako sú Pick-and-Place operácie alebo montážne práce vo výrobných procesoch. Významným prínosom tejto práce je demonštrácia možnosti presnej kalibrácie medzi kamerovým a robotickým systémom, čo je kľúčové pre dosiahnutie požadovanej presnosti.

5 Literatúra

B&R. 8V1016.50-2 - ACOPOS Servo Drives [online]. B&R, [cit. 2025-03-27]. Dostupné na: <https://www.br-automation.com/en/products/motion-control/acopos/servo-drives/8v101650-2/>

B&R. VSS112R22053P-000 - Smart Sensor [online]. B&R, [cit. 2025-03-27]. Dostupné na: <https://www.br-automation.com/tr/ueruenler/vision-systems/smart-camera/smart-sensor/vss112r22053p-000/>

B&R. 5APC3100.KBU1-000 - Automation PC 3100 [online]. B&R, [cit. 2025-03-27]. Dostupné na: <https://www.br-automation.com/en/products/industrial-pcs/automation-pc-3100/system-units/5apc3100kbu1-000/>

B&R. mapp Motion [online]. B&R, [cit. 2025-03-27]. Dostupné na: <https://www.br-automation.com/en/products/software/mapp-technology/mapp-motion/>

B&R. mapp Technology [online]. B&R, [cit. 2025-03-27]. Dostupné na: <https://www.br-automation.com/en/products/software/mapp-technology/>

B&R. mapp Vision [online]. B&R, [cit. 2025-03-27]. Dostupné na: <https://www.br-automation.com/en/products/software/mapp-technology/mapp-vision/>

B&R. About Us [online]. B&R, [cit. 2025-03-27]. Dostupné na: <https://www.br-automation.com/en/about-us/>

Sony SRX-611 SCARA Robots [online]. usedrobotstrade.com, [cit. 2025-03-27]. Dostupné na: <https://usedrobotstrade.com/scara-robots-sony-srx-611-scara>

Transforming Manufacturing with Machine Vision Technology [online]. Wevolver, [cit. 2025-03-27]. Dostupné na: <https://www.wevolver.com/article/transforming-manufacturing-with-machine-vision-technology>

Neštandardné robotické ramená [online]. ATP Journal, [cit. 2025-03-27]. Dostupné na: https://www.atpjournals.sk/rubriky/exkluzivne-clanky/nestandardne-roboticke-ramena.html?page_id=30249

Súhrn

Táto práca sa zameriava na riadenie SCARA robotického ramena pomocou priemyselnej kamery od spoločnosti B&R, spravovanej priemyselným počítačom B&R. Kamera má vlastný procesor, ktorý spracováva obraz a posiela koordináty riadiacemu systému prostredníctvom premenných vo funkčných blokoch. Program následne transformuje koordináty kamery na robotické koordináty pomocou lineárnej transformácie a upravuje polohu robota prostredníctvom ďalších funkčných blokov. Metodológia zahŕňa konfiguráciu viziových funkcií kamery, nastavenie parametrov robota, kalibráciu systému na presné rozpoznávanie objektov a riadenie robota a implementáciu stavového automatu pre transformáciu koordinátov v reálnom čase. Výsledky preukázali úspešnú interakciu medzi robotom a objektmi rozpoznávanými kamerou. Závety naznačujú efektívnosť tohto riešenia v priemyselnej automatizácii a jeho potenciál pre ďalšie vylepšenia.

Kľúčové slová: SCARA robot, priemyselná kamera, lineárna transformácia

OVERENIE ENERGETICKEJ NÁROČNOSTI MAZDA 6 MZR -CD

ENERGY EFFICIENCY VERIFICATION OF A MAZDA 6 MZR -CD

MARTIN BALÁŽI – IVAN JANOŠKO

Abstract

The thesis deals with the determination of the energy and fuel consumption of the selected vehicle. We have selected the vehicle according to the simple connection of the measuring device. The vehicle is a Mazda 6 station wagon. The assessment was carried out under predefined conditions, since the technical specifications of the vehicle indicate the fuel consumption measured according to the NEDC driving cycle. This was a combined fuel consumption as most of these models have this parameter as the only one. The NEDC driving cycle defines urban driving conditions with a maximum speed of 50 km.h⁻¹ and non-urban driving conditions with a maximum speed of 120 km.h⁻¹. Our measurement was carried out with a measuring device that uses a gravimetric method to measure fuel consumption. We weighed the fuel before the start of the measurement and after the end of the measurement. From the calculated weight difference, we obtained a picture of the fuel consumption of the vehicle with respect to the distance travelled. We compared the values with the manufacturer's values.

Key words: consumption, gravimetric, speed, fuel, time

1 Úvod

Spotreba paliva spaľovacích motorov je jeden z najdôležitejších technických parametrov vozidla z pohľadu zákazníka ako takého. Spotreba paliva pri spaľovacích motoroch tiež vyjadruje množstvo paliva spotrebovaného na vykonanie určitej práce alebo prekonania určitej vzdialenosti. Tento ukazovateľ sa bežne používa na meranie efektívnosti a hospodárnosti motorových vozidiel (Dickson, 2018). Spotrebu paliva môžu ovplyvňovať viaceré faktory ako napríklad: hmotnosť vozidla, aerodynamika, stav motora, štýl jazdy, pneumatiky a v neposlednom rade podmienky na trase. (Van Basshuysen, 2016). Na zisťovanie spotreby paliva sa využívajú jazdné cykly. Sú to špecifické sekvencie jazdných podmienok, ktorých súčasťou sú rôzne fázy ako zrýchľovanie, spomaľovanie, udržiavanie konštantnej rýchlosti, zastavenie a státie. Tieto cykly sú navrhované tak, aby dostatočne simulovali jazdné podmienky pri testovaní ktoré je väčšinou uskutočňované v laboratórnom prostredí. (Schäfer, 2006). Testovanie vozidiel podľa stanovených jazdných cyklov je tiež nevyhnutné pre dodržiavanie právnych predpisov a normatívnych požiadaviek v rôznych krajinách. Reálna spotreba sa však často môže výrazne líšiť od spotreby uvádzanej v špecifikáciách vozidiel, pretože väčšina testov jednotlivých cyklov sa vykonáva v laboratóriách a nie v reálnej premávke. (Mock, 2015)

2 Materiál a metódy

Pre zisťovanie energetickej náročnosti vozidla sme zvolili osobný automobil Mazda 6 v edícii kombi. Ide o motorizáciu 2.0 MZR-CD. Vozidlo je zobrazené na *obr. 1*. Technické špecifikácie vozidla uvádzame v tab. 1.



Obr. 1 Vybrané vozidlo Mazda 6, 2.0 MZR-CD

Fig. 1 Selected vehicle Mazda 6, 2.0 MZR-CD

Tab. 1 Technické špecifikácie vozidla Mazda 6

Tab. 1 Technical specifications of vehicle Mazda 6

Popis parametrov	Technické údaje
Kategória	M1
Značka	MAZDA
Obchodný názov	MAZDA 6
Rok výroby	2003
Počet najazdených km	196 489 km
Typ motoru	RF
Počet valcov	4
Zdvihový objem valcov	1998,0 cm ³
Najväčší výkon motora/otáčky	100,00 kW/ 3500 min ⁻¹
Druh paliva	Diesel
Prevodovka/počet stupňov	MT/5
Emisný limit	EURO 3
Najväčšia konštrukčná rýchlosť	196 km.h ⁻¹
Zrýchlenie 0-100 km.h ⁻¹	10,7 s
Druh	AC kombi
Počet miest	5
Celkové rozmery d, š, v	4700 mm, 1780 mm, 1480 mm
Prevádzková hmotnosť	1540 kg
Najväčšia prípustná hmotnosť	2010 kg
Najväčšia prípustná hmotnosť prípadajúca na nápravu 1, 2	1075 kg, 1040 kg
Nádrž	64 l
Rozmer pneumatík	195/65 R15 91V
Spotreba paliva podľa NEDC	
Spotreba paliva priemer/ mesto/ mimo mesta	6,4 l/ 8,2 l/ 5,4 l

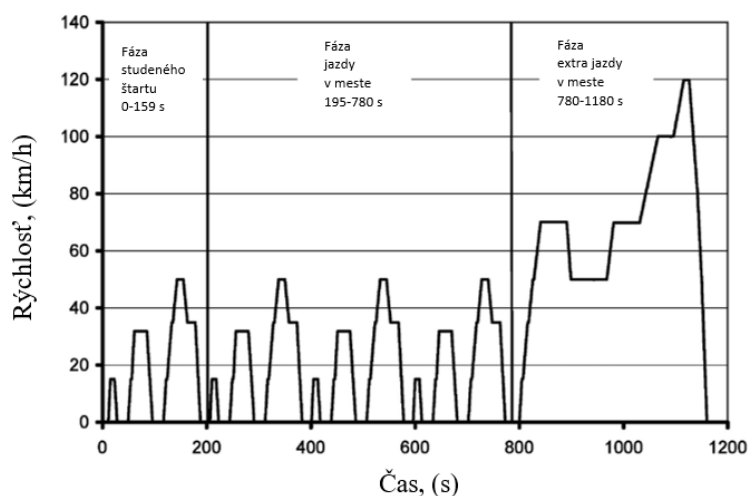
Spotreba paliva ktorá je uvádzaná pri tomto vozidle bola zisťovaná pomocou jazdného cyklu NEDC. Pri modeloch vyrobených v týchto rokoch sa uvádza iba priemerná spotreba, čo predstavuje aritmetický priemer spotreby paliva v meste a mimo mesta.

Jazdný cyklus NEDC

NEDC pozostával z cyklu rôznych jazdných situácií, zahŕňajúc mestskú, mimo mestskú a diaľničnú jazdu, simulujúc bežné jazdné podmienky. Tento cyklus je kombináciou dávnejšie používaných cyklov ako ECE-15 a EUDC. Celkový čas trvania cyklu bol približne 20 minút, počas ktorých sa vozidlo pohybovalo v rôznych rýchlostiach a vykonávalo rôzne manévry.

Mestská časť cyklu zahŕňala opakovanie fáz zrýchlenia, brzdenia a zastavenia, simulujúc časté zastávky v mestskej premávke. Prímestská časť zahŕňala stabilnejšiu jazdu pri nižšej rýchlosti, zatiaľ čo diaľničná časť predstavovala vyššie rýchlosti a viac kontinuálnu jazdu.

Priemerne sa počas cyklu NEDC vozidlo prejazdilo približne 11 km, pričom priemerná rýchlosť bola okolo 34 km.h⁻¹. Maximálna rýchlosť dosahovala až 120 km.h⁻¹, pričom cyklus nezahŕňal také dynamické situácie ako skutočné jazdné podmienky. Grafické znázornenie rýchlosti v závislosti od času pri cykle NEDC je zobrazené na obr. 2.



Obr. 2 Graf jazdného cyklu NEDC
Obr. 2 Graph of NEDC driving cycle

Úplné simulovanie daného cyklu v premávke nie je možné, pretože pôvodné merania sa vykonávali na valcových dynamometroch v laboratórnej skúšobni. Pri reálnej premávke sa nedá držať úplne presných postupov zastavenia, státia a rozbiehania, pretože by to zapríčiňovalo obmedzovanie a ohrozovanie premávky. Nami vytvorený kombinovaný cyklus bude dodržiavať stanovené rýchlosti a priblížime sa aj stanovenému času. Cyklus však bude odzrkadľovať reálne podmienky premávky. Úsek ciest kade vedie naša trasa sme vyberali tak, aby boli zahrnuté svetelné križovatky, prechody pre chodcov, kruhové objazdy ale aj obchvat mesta Nitra. Prejdené metre, čas, rýchlosť a polohu bude zaznamenávať GPS prístroj Tracker. Příklad získaných údajov z prístroja je na obr. 4. Vybraná trasa je zobrazená na obr. 3.

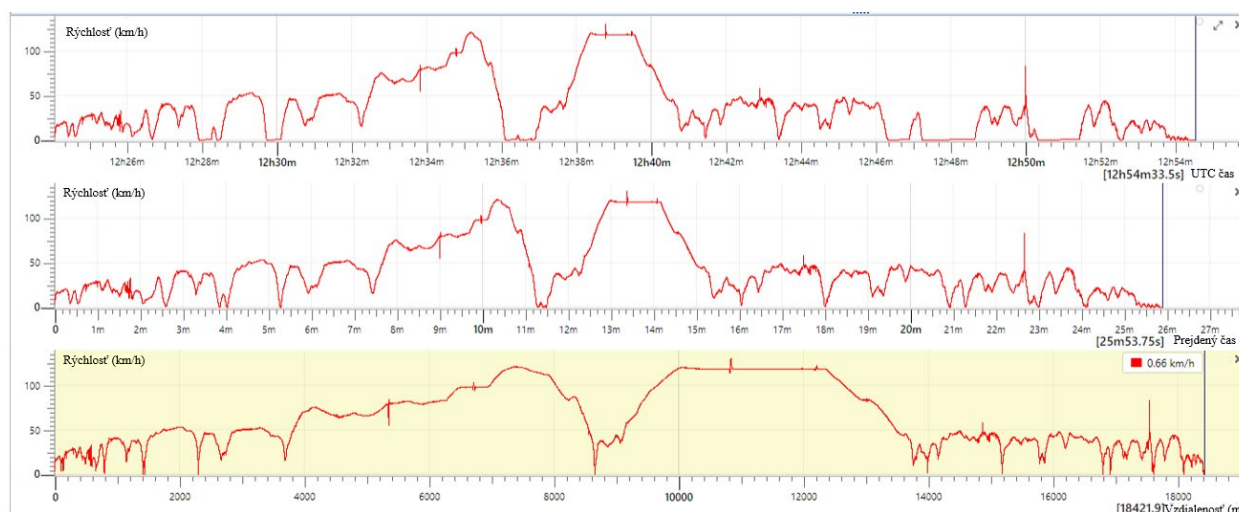


Obr. 3 Vybratá trasa pre testovací cyklus

Obr. 3 Selected route for the test cycle

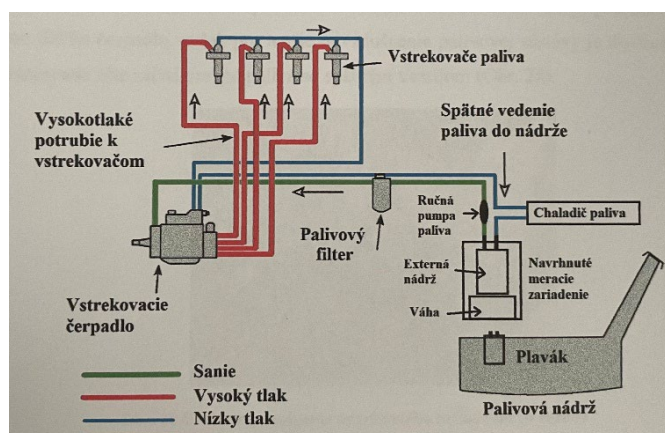
Meranie sme vykonali 3 krát, išlo o opakovanú tú istú trasu. V meste sme sa pohybovali maximálne do 50 km.h^{-1} . Pri jazde mimo mesta po R1A sme išli maximálne rýchlosťou 120 km.h^{-1} , tak ako sa to uvádza v podmienkach pri NEDC cykle. Meranie sme vykonávali rovnakým spôsobom a s rovnakým zariadením. Merali sme spotrebu na základe gravimetrickej metódy, čiže nám išlo o rozdiel hmotnosti paliva pred jazdou a po jazde. Trasa začínala vedľa Technickej fakulty a zároveň aj končila v rovnakom mieste. Prvé dve merania bol vodič mladší, menej skúsený, a jazdil dynamickejšie, pri treťom meraní bol vodič starší s viacerými skúsenosťami a jazda bola plynulejšia. Schéma zariadenia na meranie spotreby paliva je na obr. 4. Meranie sa uskutočnilo 06.03.2025.

Podmienky merania: Teplota okolia: $18 \text{ }^{\circ}\text{C}$, tlak: 1026 hPa , vlhkosť: 40% , zrážky: 0 mm , počasie: slnečné, vietor: 21 km.h^{-1} , posádka: 2 osoby.



Obr. 4 Namerané parametre času, dráhy a rýchlosti

Fig. 4 Measured parameters of time, distance and speed



Obr. 5 Schéma zariadenia na meranie spotreby paliva
Fig. 5 Diagram of a fuel consumption measuring device

Meracie zariadenie sa zapojí do okruhu palivovej sústavy vozidla a prostredníctvom vlastnej nádrže nahradí palivovú nádrž vozidla. Súčasťou tohto zariadenia sú: 5 litrová plastová nádoba na naftu s otvorom na potrubie k vstrekovaciemu čerpadlu a spätné potrubie, cez rovnaký otvor je v nádobe umiestnený snímač teploty paliva. Ďalšia súčasť zariadenia je chladiaci box na spätnej vetve potrubia. V obale je umiestnený chladič zo zliatiny hliníka a je odizolovaný polystyrénovou výplňou. Počas jazdy sú v chladiči umiestnené zmrazené chladiace vložky. Ďalej je súčasťou meracieho zariadenia aj zariadenie na váženie nafty s označením RADWAG WTB 3000. Váha spolu s nádobou sú umiestnené v boxe, ktorý zabezpečuje ochranu a zabraňuje voľnému pohybu nádoby a váhy. Box je uzavretý plexisklom pre ľahké odčítavanie hodnôt z váhy. Box je uzavretý plexisklom pre ľahké odčítavanie hodnôt z váhy.

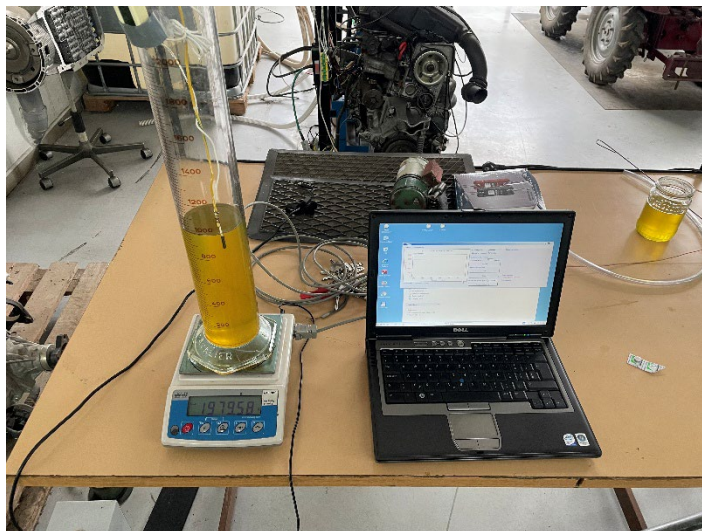
Pre správne určenie spotreby paliva v $l/100km^{-1}$ sme potrebovali zistiť mernú hustotu použitej nafty. Použili sme naftu od výroby SLOVNAFT, a.s. s označením Slovnaft Diesel (Tab.2).

Tab. 2 Limitné hodnoty najdôležitejších parametrov Slovnaft Diesel
Tab. 2 Limit values of most important parameter of Slovnaft Diesel

Vlastnosť	Limity	
	Min	Max
Cetánové číslo	53	-
Polyciklické aromatické uhlíkovodíky	-	8 % (m.m ⁻¹)
Obsah síry	-	10 mg.kg ⁻¹
Bod vzplanutia	55 °C	-
Obsah vody	-	0,02 % (m.m ⁻¹)
Korózia na medenom pliesku (3 h pri 50 °C)	-	Trieda 1 (stupeň korózie)
Obsah metylesteru mastnej kyseliny (FAME)	6,9 % (V.V ⁻¹)	7 % (V.V ⁻¹)
Hustota pri 15 °C	820 kg.m ⁻³	845 kg.m ⁻³
Viskozita pri 40 °C	2 mm ² .s ⁻¹	4,5 mm ² .s ⁻¹
MTF (filtrovateľnosť)	-	-40 °C
DP a bod zákalu)	-	-22 °C

Meranie sme uskutočnili pomocou rovnakej váhy RADWAG WTB 3000 ako pri meraní spotreby paliva. Použili sme odmerný valec na 2000 cm³. Použili sme tiež notebook značky

Dell s programom na ktorý dokáže zachytávať hmotnosť, čas a prepočítavať hustotu vid' obr. 6. Vykonali sme 5 meraní.



Obr. 6 Priebeh merania hustoty paliva
Fig. 6 Progres of fuel density measurement

Po ukončení merania sme prepočítali hustotu podľa korekcie hustoty na hustotu pri 20 °C podľa rovnice 1. Po prepočítaní s korekciou sme vypočítali aritmetický priemer hodnôt podľa rovnice 2, rozptyl podľa rovnice 3, smerodajnú odchýlku podľa rovnice 4 a chybu priemeru podľa rovnice 5.

$$\rho = \rho_1 \times (1 \pm \alpha \Delta t) \quad (1)$$

kde: ρ – korigovaná hustota (kg.m^{-3})
 ρ_1 – nameraná hustota (kg.m^{-3})
 α – súčiniteľ tepelnej objemovej rozťažnosti
 Δt – rozdiel teplôt ($^{\circ}\text{C}$)
 where: ρ – corrected density (kg.m^{-3})
 ρ_1 – measured density (kg.m^{-3})
 α – coefficient of thermal volume expansion
 Δt – temperature difference ($^{\circ}\text{C}$)

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (2)$$

kde: $\bar{x}$ – aritmetický priemer
 n – počet meraní
 x_i – i-ta nameraná hodnota
 where: $\bar{x}$ – arithmetic mean
 n – number of measurements
 x_i – i-th measured value

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (3)$$

kde: s^2 – výberový rozptyl
 where: s^2 – sampling variance

$$s = \sqrt{s^2} \quad (4)$$

kde: s – smerodajná odchýlka

where: s – standard deviation

$$SEM = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (5)$$

kde: SEM – štandardná chyba priemeru

where: SEM – standard error of the mean

Na vozidle Mazda 6 bolo pre jednoduchosť okruhu paliva a dostupnosti vedenia paliva, nad nádržou bolo možné vykonať meranie a vyhodnotenie gravimetrickou metódou. Meranie je vhodné pre vozidlá bez dopravného čerpadla v nádrži a vozidlách pri ktorých sa nespotrebovaná nafta vracia zo vstrekovacieho systému späť do nádrže. Spotreba je však udávaná v litroch na 100 km, preto sme použili pre výpočet rovnicu 6.

$$Q = \frac{m}{s \times \rho} \times 100 \quad (6)$$

kde: Q – spotreba paliva (l.100 km⁻¹)

m – hmotnosť paliva (kg)

ρ – merná hustota paliva (kg.m⁻³)

where: Q – fuel consumption (l.100 km⁻¹)

m – fuel mass (kg)

ρ – specific fuel density (kg.m⁻³)

3 Výsledky a diskusia

Z nameraných hodnôt (Tab. 3-6, Obr.7) vyplýva že namerané hodnoty sú porovnateľné s hodnotami udávanými v technických špecifikáciách vozidla. Nami meraná spotreba sa výrazne nelíšila od spotreby udávanej výrobcom a s spotrebu, ktorú vyhodnocuje palubný počítač, možno onačiť za premenlivú (Obr.7). Najmä v druhom meraní bol rozdiel nameranej spotreby a spotreby uvádzanej na informačnom displeji vozidla o niečo väčší. Napriek tomu, že vozidlo má 22 rokov a spotreba bola porovnateľná so spotrebou udávanou výrobcom, môže to mať za následok aj servis vozidla. V roku 2021 bol na vozidle roztavený piest, vďaka čomu bolo vozidlo v roku 2022 opravené. Do vozidla sa použil jazdený motor spolu s piestami, kľukový hriadeľ bol nepoškodený tak zostal pôvodný. Vymenili sa piestne krúžky, tesnenie hlavy valcov a iné. Boli tiež použité aj repasované vstrekovacie trysky. Taktiež sa vymenilo turbodúchadlo za repasované. Na meraní môžeme vidieť rovnako aj vplyv skúsenejšieho jazdca na meraní spotrebu. Pri treťom meraní, kde bol jazdec skúsenejší, rovnakú trasu (reálne aj kratšiu), využíval brzdenie motorom a jazda bola menej dynamická oproti predošlým. Menej skúsený jazdec vykazoval na rovnakej trase zvýšenú spotrebu v rozsahu 5,72-10,56 %.

Tab.3 Výsledky z merania hustoty paliva
Tab.3 Results from fuel density measurement

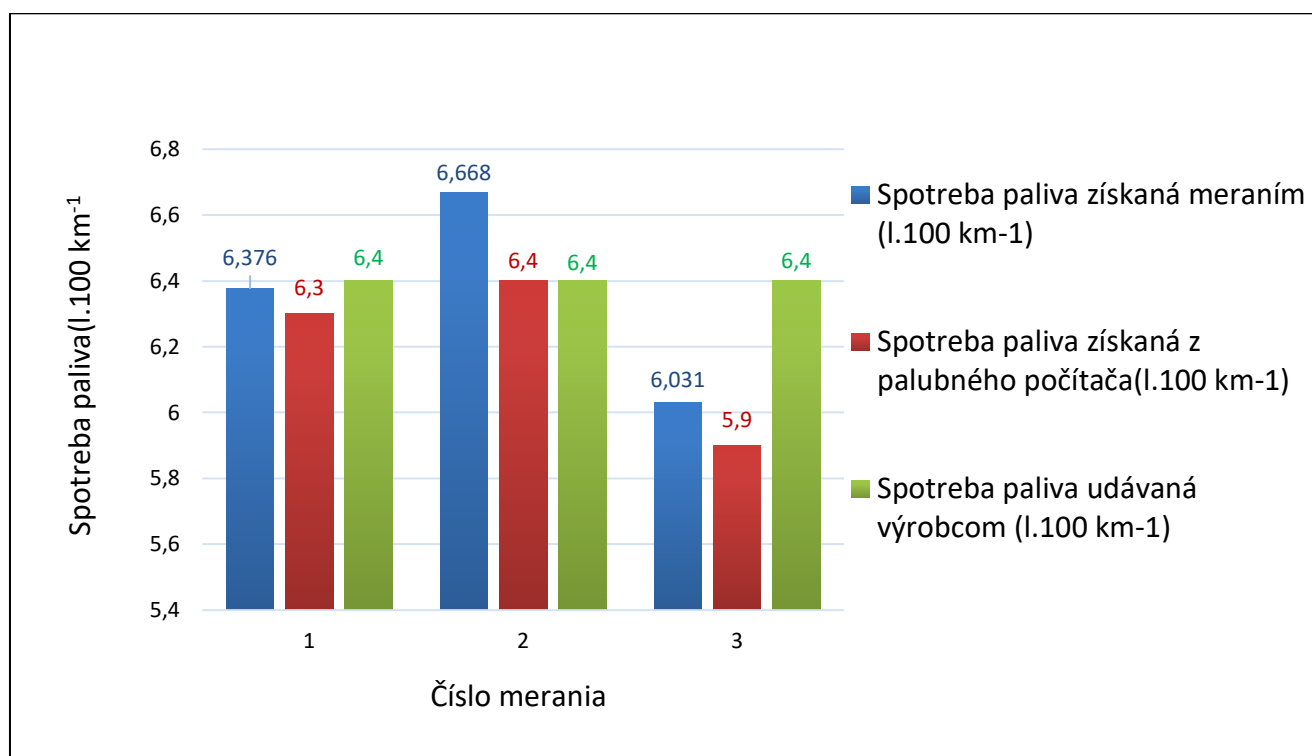
Počet meraní	Aritmetický priemer hustoty paliva (kg.m ⁻³)	Rozptyl (kg.m ⁻³) ²	Smerodajná odchýlka (kg.m ⁻³)	Štandardná chyba priemeru (kg.m ⁻³)
5	832,088	7,883	2,808	1,225

Tab. 4 Hodnoty získané z merania spotreby paliva
Tab. 4 Values obtained from fuel consumption measurements

Číslo merania	Prejdená vzdialenosť (km)	Priemerná rýchlosť (km.h ⁻¹)	Čas jazdy (s)	Spotrebované palivo (kg)	Spotreba paliva (l.100 km ⁻¹)
1	18,42192	36,199	1827	0,977309	6,376
2	18,33735	32,94	2004	1,01746	6,668
3	18,31347	33,214	1985	0,91897	6,031

Tab.5 Časy merania spotreby paliva počas jázdy
Tab.5 Fuel consumption measurement times during trips

Číslo merania	Celkový čas merania (s)	Čas pohybu vozidla (s)	Čas státia vozidla (s)	Čas pohybu vozidla (%)	Čas státia vozidla (%)
1	1827	1553,11	273,89	85	15
2	2004	1734,6	273,89	86,56	13,44
3	1985	1748,3	236,7	88,08	11,92



Obr. 7 Graf porovnania jednotlivých údajov spotreby paliva
Fig. 7 Comparison chart of individual fuel consumption data

Tab. 6 Porovnanie skutočnej a udávanej spotreby paliva
 Tab. 6 Comparison of actual and claimed fuel consumption

Číslo merania	Udávaná spotreba paliva výrobcom (l.100 km ⁻¹)	Nameraná spotreba paliva (l.100 km ⁻¹)	Rozdiel (%)	Rozdiel (l.100km ⁻¹)
1	6,4	6,376	-0,375	-0,024
2	6,4	6,668	4,02	0,268
3	6,4	6,031	-5,76	-0,369

4 Záver

Práca sa zaoberá zisťovaním energetickej náročnosti vybraného vozidla Mazda 6 MZR-CD. V práci je popísaná metodika a postup merania, následne sú v práci porovnávané výsledky z daných meraní. Pri vozidlách tohto modelu sa v rovnakých rokoch udávala len kombinovaná spotreba, preto sme sa voľbou trasy aj kombinovaného vlastného cyklu rozhodli porovnávať túto hodnotu. Výsledky sú udávané pri teplote 20 °C, pretože pôvodné hodnoty boli získané meraním v cykle NEDC, ktorý prebieha pri 20-30 °C. Meranie prebehlo v o niečo chladnejšej teplote okolia a to 18 °C. Palivo však malo vyššiu teplotu. Po zmeraní hustoty paliva a korekciu teploty sme získali hodnoty spotreby paliva v litroch na 100 kilometrov. Namerané hodnoty boli porovnateľné s hodnotami udávanými výrobcom. Vozidlo aj po najazdení ca 196 500 km a generálnej oprave motora vykazuje porovnateľnú spotrebu s výrobcom, čo je potešujúce. Z meraní však vyplýva významný vplyv vodiča a štýl jazdy na spotrebu paliva. Skúsenejší vodič dokázal spáliť menej paliva ako neskúsený vodič s dynamickejšou jazdou.

5 Literatúra

DICKSON, ERIC D. Fuel Economy Testing Procedures and Standards. SAE International, 2018.

MOCK, P., German, J., The WLTP: How a new test procedure for cars will affect fuel consumption values in the EU. ICCT. 2015. Online. Dostupné na: <https://theicct.org/publications/wltp-how-new-test-procedure-cars-will-affect-fuel-consumption-values-eu> [cit .2024-06-16].

SCHÄFER, Andreas; HEYWOOD, John B.; WEISS, Malcolm A. Future fuel cell and internal combustion engine automobile technologies: A 25-year life cycle and fleet impact assessment. Energy, 2006, 31.12: 2064-2087.

VAN BASSHUYSEN, Richard, et al. (ed.). Internal combustion engine handbook. SAE International, 2016.

AVL Consumption Measurement Systems. Online. Vol. 2017, no. 23, s. 23. Dostupné na: <https://www.avl.com/documents/10138/3587239/AVL+Consumption+Measurement+Systems> [cit. 2025-03-17]

SCHÄFER, Andreas; HEYWOOD, John B.; WEISS, Malcolm A. Future fuel cell and internal combustion engine automobile technologies: A 25-year life cycle and fleet impact assessment. Energy, 2006, 31.12: 2064-2087.

KASSERIS, E. a J. B. HEYWOOD. Comparative analysis of automotive powertrain choices for the next 25 years. *SAE International Journal of Engines*, 2007, 115(4), s. 121-137.

ŠOREC, MARTIN. Návrh prenosného zariadenia pre meranie spotreby paliva. Diplomová práca. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, 2021.

Súhrn

Práca sa zaoberá zisťovaním energetickej náročnosti respektíve spotreby paliva vybraného vozidla. Vozidlo sme vybrali kvôli jednoduchému zapojeniu meracieho zariadenia. Zvolili sme vozidlo Mazda 6 kombi. Hodnotenie sa uskutočnilo za vopred stanovených podmienok, keďže v technických parametroch vozidla je uvedená spotreba paliva meraná podľa jazdného cyklu NEDC. Išlo o kombinovanú spotrebu paliva, keďže väčšina týchto modelov má tento parameter uvádzaný ako jediný. Jazdný cyklus NEDC definuje podmienky jazdy v meste s maximálnou rýchlosťou 50 km/h a podmienky jazdy mimo mesta s maximálnou rýchlosťou 120 km/h. Naše meranie sa uskutočnilo pomocou meracieho zariadenia, ktoré na meranie spotreby paliva používa gravimetrickú metódu. Palivo sme vážili pred začiatkom merania a po skončení merania. Z vypočítaného rozdielu hmotností sme získali obraz o spotrebe paliva vozidla vzhľadom na prejdenu vzdialenosť. Hodnoty sme porovnali s hodnotami udávanými výrobcom.

Kľúčové slová: spotreba, gravimetrická, rýchlosť, palivo, čas

SYSTÉM NA AUTOMATIZOVANÉ MERANIE PARAMETROV SNÍMAČOV VZDIALENOSTI

SYSTEM FOR AUTOMATED MEASUREMENT OF DISTANCE SENSOR PARAMETERS

ĽUBOMÍR BÉGER – VLADIMÍR CVIKLOVIČ

Abstract

The aim of this work is to create an automated system for measuring the reliability and accuracy of distance sensors. This enables repeated evaluation of obstacle detection reliability under specific conditions without the need for operator intervention. A complete 2D positioning system for automatic obstacle positioning was developed and implemented. The system allows for the use of any distance sensor and measures repeatability, reliability, and accuracy for various types of obstacles and materials without human intervention. The results are displayed through a clear polar graph showing the percentage success rate of measurements depending on angle and distance.

Key words: Ultrasonic distance sensor, Microcontroller, Measurements

1 Úvod

Ultrazvukové snímače vzdialenosti patria medzi najrozšírenejšie senzory používané v robotike, automatizácii a rôznych priemyselných aplikáciách. Ich popularita vyplýva z pomerne nízkej ceny, jednoduchosti použitia a schopnosti merať vzdialenosť bez fyzického kontaktu s objektom. Napriek týmto výhodám majú ultrazvukové snímače aj svoje obmedzenia týkajúce sa presnosti a spoľahlivosti merania, najmä pri rôznych typoch povrchov a uhloch merania.

Spôľahlivosť detekcie prekážok je kľúčový parameter pre bezpečnosť a funkčnosť systémov využívajúcich tieto snímače. Pre praktické aplikácie je potrebné vedieť, za akých podmienok (uhol, vzdialenosť, materiál) poskytuje konkrétny snímač spoľahlivé údaje. Manuálne testovanie je časovo náročné a ťažko opakovateľné, čo bol hlavný impulz pre vytvorenie automatizovaného systému.

Táto práca predstavuje návrh a implementáciu komplexného automatizovaného systému na meranie spoľahlivosti ultrazvukových snímačov. Systém umožňuje presne polohovať prekážku v dvoch osiach (vzdialenosť a uhol) a vykonávať opakované merania s minimálnym zásahom obsluhy. Vďaka tomu je možné získať detailný obraz o spoľahlivosti konkrétneho snímača v celom jeho pracovnom rozsahu.

2 Materiál a metódy

Princíp ultrazvukového merania vzdialenosti

Ultrazvukové snímače vzdialenosti fungujú na princípe merania času (Time-of-Flight), za ktorý sa ultrazvuková vlna odrazí od prekážky a vráti sa späť k snímaču. Vzhľadom na známu rýchlosť šírenia zvuku vo vzduchu (približne 343 m.s^{-1} pri 20°C) je možné vypočítať vzdialenosť podľa vzorca:

$$d = \frac{v \times t}{2} \quad (1)$$

Kde:

- d - vzdialenosť k prekážke, m
- v - rýchlosť zvuku vo vzduchu, $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
- t - čas od vyslania po prijatie signálu, s

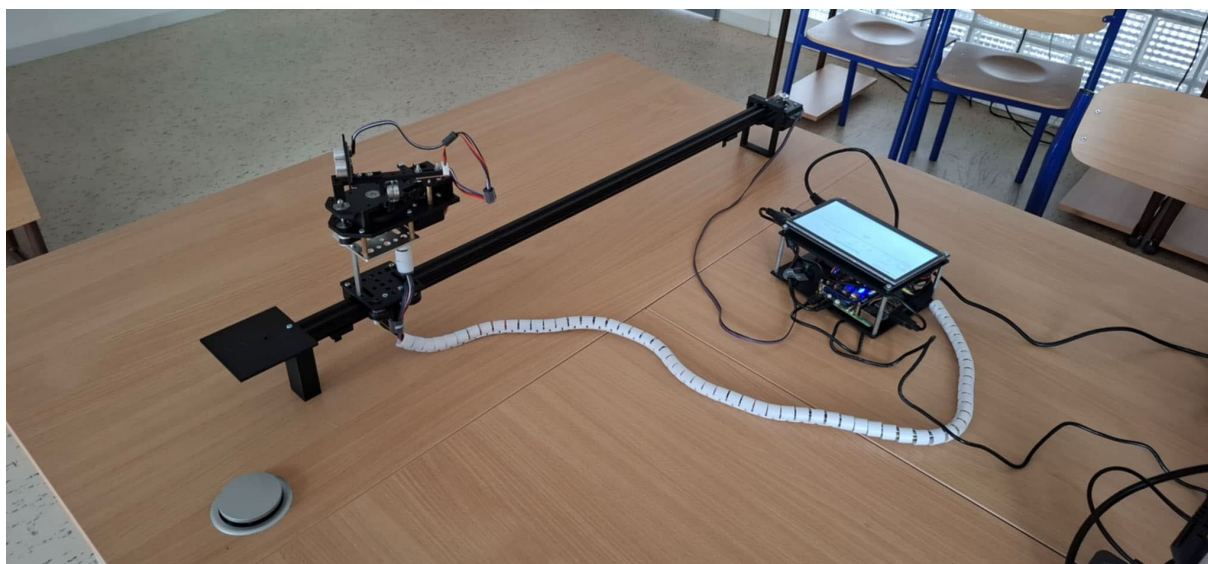
Where:

- d - distance to the obstacle, m
- v - speed of sound in air, $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
- t - time from signal transmission to reception, s

Faktory ovplyvňujúce spoľahlivosť merania

Spôľahlivosť ultrazvukových snímačov je ovplyvnená viacerými faktormi:

- Uhol dopadu - Ultrazvukové vlny sa najlepšie odrážajú, keď dopadajú kolmo na povrch prekážky. Pri väčších uhloch sa časť energie odrazí mimo snímač.
- Vlastnosti povrchu - Hladké, tvrdé povrchy odrážajú ultrazvukové vlny lepšie než mäkké, pórovité materiály, ktoré časť energie pohlcujú.
- Vzdialenosť - Intenzita prijímaného signálu klesá so štvorcom vzdialenosti, čo limituje maximálny merateľný dosah.
- Tvar prekážky - Komplexné tvary môžu spôsobiť viacnásobné odrazy alebo rozptyl signálu (Tan, 2022).



Obr. 1 Kompletné zariadenie pre automatizované testovanie ultrazvukových snímačov
Fig. 1 Complete device for automated testing of ultrasonic sensors

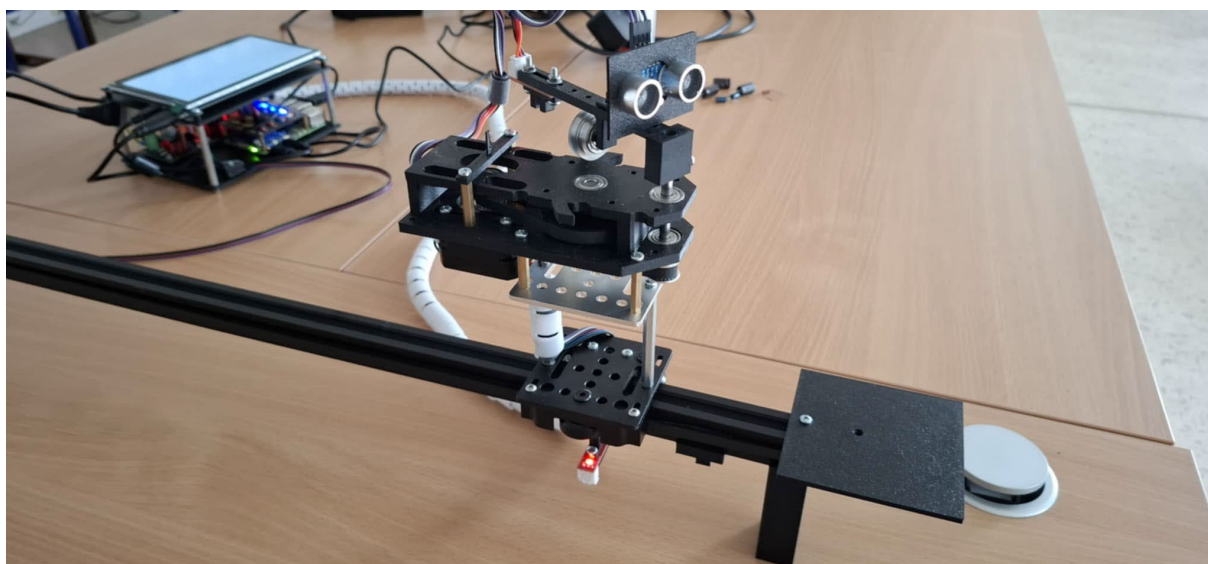
Hardvérové komponenty

Systém pozostáva z nasledujúcich hardvérových komponentov (Obr. 1):

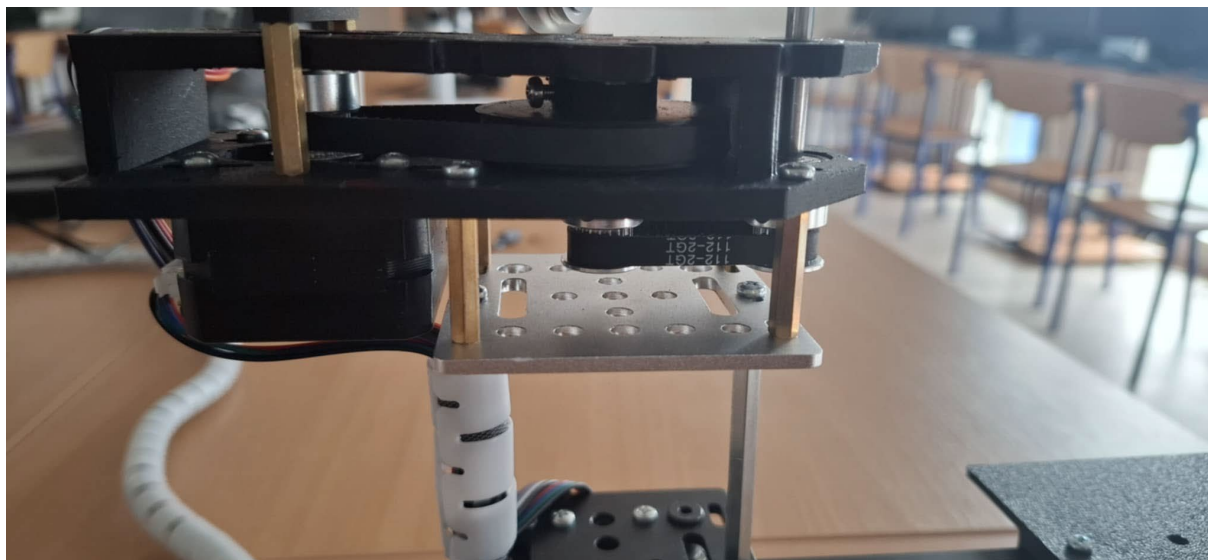
- Raspberry Pi - Hlavná riadiaca jednotka systému
- Krokové motory NEMA 17 - Dva krokové motory pre polohovanie v dvoch osiach:
 - Vzdialenostný motor s prevodovým pomerom 5 krokov na 1 mm - pri použití bez mikrokrokovania.
 - Uhlavý motor s prevodovým pomerom 2 kroky na $0,5^\circ$ - pri použití bez mikrokrokovania.
- Budiče krokových motorov A4988 - Pre presné riadenie krokových motorov
- Koncové spínače - Koncové spínače pre nulovanie počiatkovej pozície
- Ultrazvukový senzor HC-SR04 - Primárny testovaný snímač vzdialenosti
- Dotykový displej JOY-IT RASPBERRY PI 7" - Používateľské rozhranie

Mechanický systém

Pre uhlový pohyb bol vyvinutý špeciálny systém remeníc (Obr. 2 a 3), ktorý poskytuje prevod z motora na výstup v pomere 3,6:1. Tento systém je realizovaný dvomi remenicami - 20-zubovou na motorovej strane a 72-zubovou na strane snímača. Tento prevod v kombinácii s krokovým motorom NEMA 17 (200 krokov na otáčku) umožňuje dosiahnuť uhlové rozlíšenie $0,5^\circ$ na krok. Toto rozlíšenie $0,5^\circ$ na krok je dosiahnuté bez potreby mikrokrokovania. S mikrokrokováním sme schopní dosiahnuť ešte väčšej presnosti $0,03125^\circ$.



Obr. 2 Detail polohovacieho systému s upevneným ultrazvukovým snímačom
Fig. 2 Detail of the positioning system with an attached ultrasonic sensor



Obr. 3 Technický detail rotačného mechanizmu
Fig. 3 Technical detail of the rotational mechanism

Vzdialenostný pohyb je realizovaný pomocou lineárneho vedenia s ozubeným remeňom. Krokový motor NEMA 17 (200 krokov na otáčku) je napojený na remenicu s 20 zubami a ozubený remeň GT2 s rozstupom 2 mm. Prevod je nastavený tak, že 5 krokov motora zodpovedá presne 1 mm lineárneho pohybu, čo znamená, že jeden krok motora zodpovedá lineárnemu posunu 0,2 mm. Pri použití mikrokrokovania iba 0,0125 mm.

Mechanická konštrukcia zariadenia bola vyrobená z hliníkového profilu a z modelov tlačených na 3D tlačiarňi z materiálu PLA. Lineárne vedenie pre vzdialenostný pohyb je realizované s ložiskovými vozíkmi, ktoré zabezpečujú hladký a presný pohyb. Vozík je poháňaný pomocou ozubeného remeňa GT2 s rozstupom zubov 2 mm. Lineárne vedenie má celkovú dĺžku 700 mm, čo umožňuje testovanie snímačov s dosahom až do 65 cm pri zohľadnení potrebných bezpečnostných rezerv na oboch koncoch. Rotačný systém pre uhlový pohyb využíva precízne ložiská pre hladkú rotáciu a minimálnu vôľu.

Elektrické zapojenie a riadenie

Riadiaca elektronika je založená na platforme Raspberry Pi, ktorá ovláda všetky periférie systému:

1. **Riadenie krokových motorov:**
 - Budiče A4988 sú napájané externým zdrojom 12 V/5 A.
 - Logické vstupy budičov sú pripojené na GPIO piny Raspberry Pi.
 - Nastavenie prúdového obmedzenia na 1,2 A pre každý motor.
2. **Pripojenie senzorov:**
 - HC-SR04 je napájaný z 5 V zdroja Raspberry Pi.
3. **Napájanie systému:**
 - Hlavné napájanie: 230 V AC vstup.
 - Zdroj pre motory: 12 V DC / 5A.
 - Zdroj pre Raspberry Pi a logiku: 5 V DC / 3 A.

Princíp hľadania referenčnej polohy

Pre presné polohovanie je nevyhnutné mať definovaný referenčný bod, od ktorého sa počíta poloha. Tento proces sa v angličtine nazýva „homing“. Každá os potrebuje len jednu známu referenčnú pozíciu (nulový bod), od ktorej sa následne počítajú všetky ostatné pozície prostredníctvom počítania krokov motorov.

Proces hľadania referenčnej polohy prebieha v nasledujúcich krokoch:

1. Uhlová os:

- Motor sa pohybuje smerom ku koncovému spínaču.
- Po dotyku s koncovým spínačom sa pozícia definuje ako nulový uhol.
- Systém využíva dvojfázové hľadanie referenčnej polohy: najprv rýchly pohyb pre približnú pozíciu, potom pomalý pre presné nastavenie.

2. Vzdialenostná os:

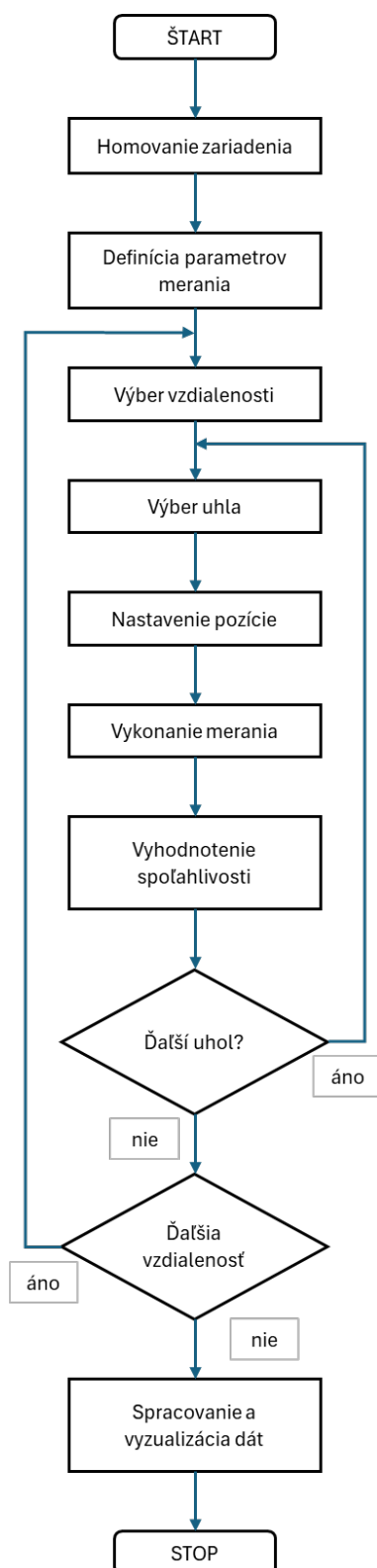
- Motor sa pohybuje smerom ku koncovému spínaču.
- Po dotyku s koncovým spínačom sa pozícia definuje ako 5 cm (minimálna vzdialenosť).
- Podobne ako pri uhlovej osi, aj tu sa využíva dvojfázové hľadanie referenčnej polohy pre vyššiu presnosť.

Hľadanie referenčnej polohy sa vykonáva na vyžiadanie používateľa pred začatím merania. Tento proces zabezpečuje vysokú opakovateľnosť a presnosť meraní.

Architektúra softvéru

Softvér je implementovaný v jazyku Python s využitím knižníc:

- **RPi.GPIO** - pre ovládanie GPIO vývodov.
- **Tkinter** - pre vytvorenie používateľského rozhrania.
- **Matplotlib** - pre vizualizáciu výsledkov.
- **NumPy** - pre matematické operácie.
- **JSON/CSV** - pre export a import dát.



Obr. 4 Ukážka vývojového diagramu algoritmu merania
 Fig. 4 Example of a measurement algorithm flowchart

Algoritmus merania spoľahlivosti

Meranie spoľahlivosti prebieha v nasledujúcich krokoch (Obr. 4):

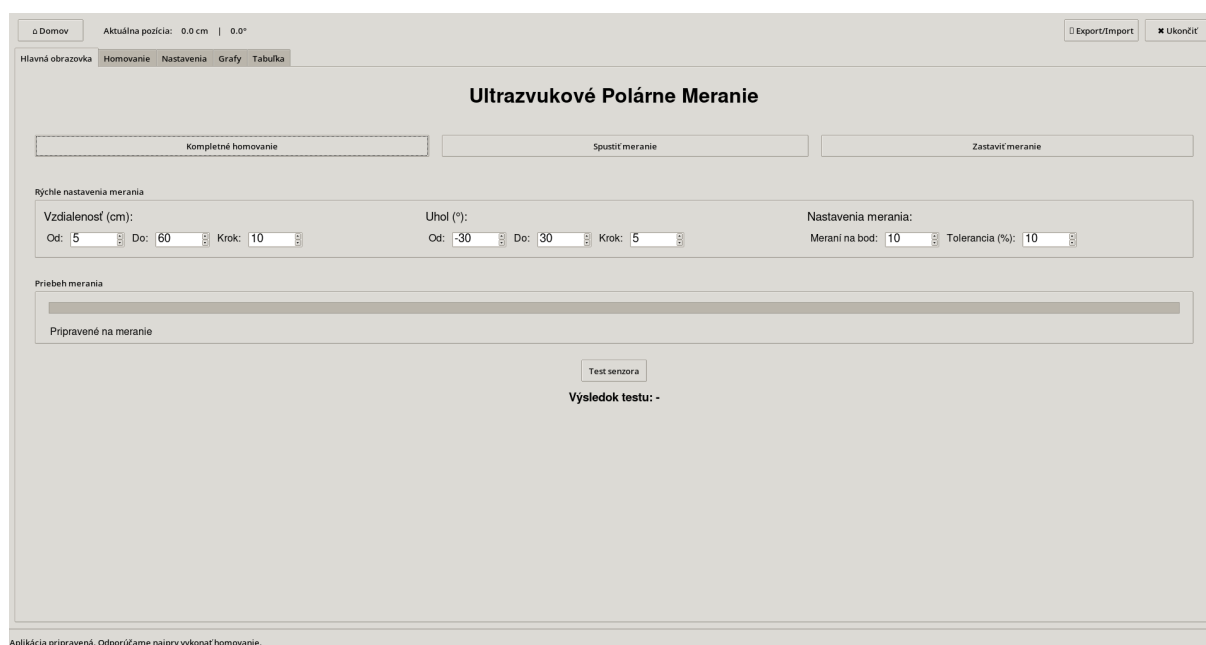
1. Definícia parametrov merania:
 - Rozsah vzdialeností (min, max, krok).
 - Rozsah uhlov (min, max, krok).

- Tolerancia merania (%).
- Počet opakovaní pre každú kombináciu.
- 2. Pre každú vzdialenosť v definovanom rozsahu:
 - Nastavenie vzdialenostného motora na požadovanú pozíciu .
 - Pre každý uhol v definovanom rozsahu:
 1. Nastavenie uhlového motora na požadovaný uhol .
 2. Vykonanie stanoveného počtu meraní.
 3. Výpočet percentuálnej úspešnosti meraní.
 4. Uloženie výsledku.
- 3. Vizualizácia výsledkov v polárnom grafe.

Používateľské rozhranie

Používateľské rozhranie je navrhnuté s ohľadom na použitie na dotykovej obrazovke. Je rozdelené do niekoľkých záložiek:

1. Hlavná obrazovka - Základné ovládacie prvky, prehľad stavu a rýchle spustenie merania (Obr. 5)
2. Hľadanie referenčnej polohy - Funkcie pre referencovanie polohy
3. Nastavenia - Detailné nastavenia parametrov merania (Obr. 6)
4. Grafy - Zobrazenie výsledkov v polárnom grafe
5. Tabuľka - Numerické zobrazenie výsledkov



Obr. 5 Hlavná obrazovka používateľského rozhrania

Fig. 5 Main screen of the user interface

Štatistické vyhodnocovanie spoľahlivosti

Pre objektívne hodnotenie spoľahlivosti je potrebné vykonať viacero meraní za rovnakých podmienok. V našom systéme definujeme úspešné meranie ako také, ktoré sa nachádza v stanovenom pásme tolerancie od očakávanej hodnoty. Spoľahlivosť je následne vyjadrená ako percentuálny podiel úspešných meraní z celkového počtu vykonaných meraní.

Obr. 6 Obrazovka s nastaveniami parametrov merania

Fig. 6 Screen with measurement parameter settings

3 Výsledky

Vizualizácia výsledkov

Výsledky meraní sú prezentované vo forme polárneho grafu (Obr. 7), kde:

- **Uhol** - zodpovedá rôznym uhlom merania.
- **Vzdialenosť** - znázornená ako rôzne koncentrické kružnice
- **Farba segmentu** - reprezentuje percentuálnu úspešnosť:
 - Zelená: 100% úspešnosť.
 - Žltá: 50-99% úspešnosť.
 - Červená: <50% úspešnosť.
 - Sivá: 0% úspešnosť.

Takéto znázornenie poskytuje intuitívny a prehľadný obraz o spoľahlivosti snímača v celom rozsahu jeho použitia. Na prvý pohľad je zrejmé, v ktorých polohách (kombináciách uhla a vzdialenosti) poskytuje snímač spoľahlivé údaje a kde je jeho použitie problematické.

Analýza charakteristík snímača HC-SR04

Na základe vykonaných meraní možno vyvodit' nasledujúce závery o charakteristikách snímača HC-SR04:

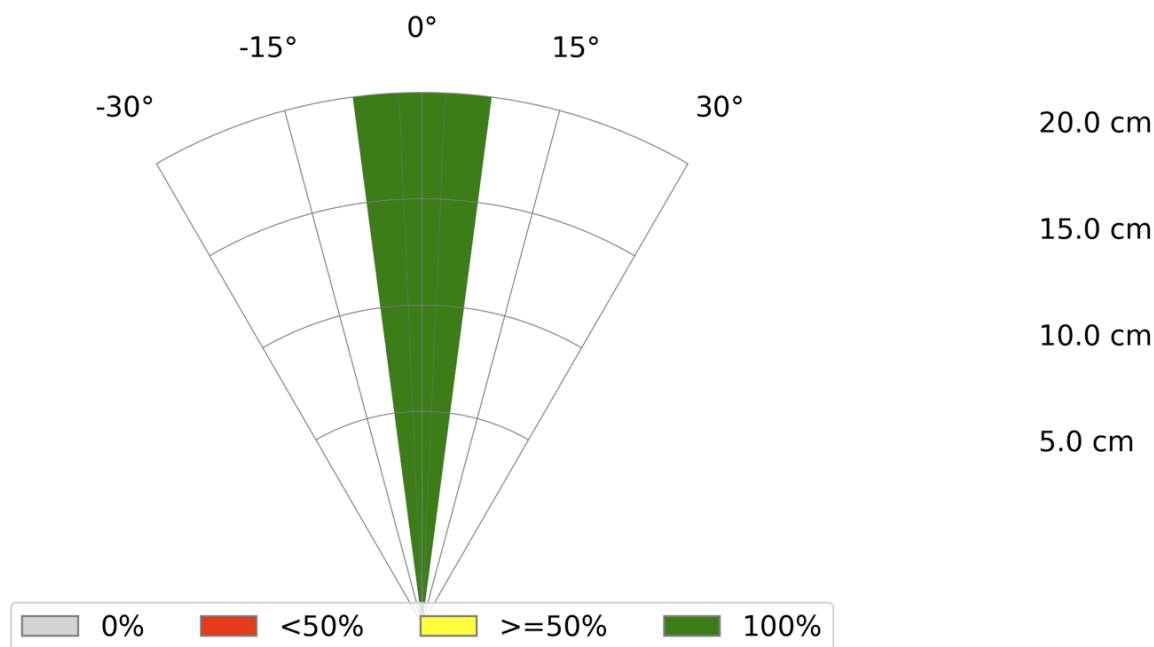
1. Závislosť od uhla - Snímač dosahuje najvyššiu spoľahlivosť pri kolmom dopade ultrazvukových vln (uhol 0°). So zväčšujúcim sa uhlom spoľahlivosť postupne klesá.
2. Závislosť od vzdialenosti - Spoľahlivosť merania klesá so zväčšujúcou sa vzdialenosťou, najmä v kombinácii s väčšími uhlami.

Plánované testovanie priemyselného snímača Allen-Bradley 873P

V rámci ďalšieho vývoja systému je plánované rozšírenie testovacích možností o meranie charakteristík priemyselného ultrazvukového snímača Allen-Bradley 873P. Tento programovateľný snímač poskytuje pokročilé možnosti konfigurácie a výstupov, ktoré budú podrobené analýze pomocou nášho testovacieho systému (Allen-Bradley, 2002).

Pre pripojenie a analýzu tohto snímača bude potrebné rozšíriť hardvérovú konfiguráciu o:

1. AD/DA prevodník PCF8591 - pre spracovanie analógových výstupov snímača (0-10V DC alebo 4-20mA, v závislosti od modelu) (NXP, 2021).
2. Izolačný optočlen PC817 - pre bezpečnú integráciu medzi priemyselným snímačom a meracím systémom na báze Raspberry Pi (Everlight electronics, 2021).



Obr. 7 Polárny graf znázorňujúci spoľahlivosť ultrazvukového snímača v závislosti od uhla a vzdialenosti

Fig. 7 Polar graph showing the reliability of the ultrasonic sensor depending on angle and distance

Obmedzenia a možné vylepšenia

1. Premennivé prostredie - Aktuálna implementácia neuvažuje o zmenách teploty, vlhkosti a prúdenia vzduchu, ktoré môžu ovplyvniť presnosť meraní. Podľa dokumentácie Allen-Bradley 873P vyplýva, že ultrazvukové senzory sú citlivé na teplotné zmeny, a hoci má tento snímač internú teplotnú kompenzáciu, jej účinnosť je limitovaná.
2. Priestorové obmedzenia - Mechanické limity systému obmedzujú maximálny rozsah merania, čo je výzvou najmä pri testovaní snímačov s dlhým dosahom (až 3500 mm pri niektorých modeloch Allen-Bradley 873P).

Potenciálne vylepšenia do budúcnosti:

1. Automatická teplotná kompenzácia - Pridanie teplotného senzora pre presnejšie výpočty rýchlosti zvuku a kalibráciu meraní.
2. Rozšírenie vzdialenosti merania – aktuálne riešenie nám poskytuje možnosť predĺženia alebo výmeny hliníkového profilu za dlhší a tým pádom zväčšiť vzdialenosť snímaču od objektu.

3. Rozšírenie o ďalšie osi - Doplnenie o možnosť výškového polohovania pre 3D merania, čo umožní lepšie mapovanie charakteristík lúča senzora.
4. Podpora viacerých typov senzorov - Rozšírenie systému o možnosť porovnávania rôznych typov snímačov (IR, LIDAR) v rovnakých podmienkach.
5. Automatická výmena materiálov - Systém na automatickú výmenu testovaných materiálov prekážok.

4 Záver

V rámci tejto práce bol navrhnutý, implementovaný a otestovaný automatizovaný systém na meranie spoľahlivosti ultrazvukových snímačov vzdialenosti. Systém umožňuje podrobnú analýzu charakteristík snímača v závislosti od vzdialenosti a uhla merania, čo poskytuje cenné informácie pre praktické nasadenie v reálnych aplikáciách.

Vyvinutý systém významne zefektívňuje proces testovania snímačov, keďže eliminuje potrebu manuálneho polohovania a umožňuje vykonávať veľké množstvo opakovaných meraní v presne definovaných podmienkach. Precízne navrhnutý mechanický systém s remenicami poskytuje vysokú presnosť pohybu, čo je kľúčové pre spoľahlivosť meraní.

Intuitívne používateľské rozhranie realizované pomocou dotykového displeja JOY-IT RASPBERRY PI 7" umožňuje jednoduché ovládanie aj pre menej skúsených používateľov. Výsledky meraní sú prezentované v prehľadnej forme pomocou polárnych grafov a tabuliek, čo umožňuje rýchlu interpretáciu nameraných dát.

V budúcnosti je plánované rozšírenie systému o ďalšie funkcie, ako je testovanie rôznych typov snímačov vrátane priemyselného snímača Allen-Bradley 873P, širší rozsah testovaných materiálov a automatická kompenzácia environmentálnych faktorov ako teplota a vlhkosť, ktoré môžu ovplyvňovať presnosť meraní.

5 Literatúra

ALLEN-BRADLEY. [online]. 2002. Installation Instructions: Bulletin 873P Programmable Ultrasonic Proximity Sensor. Rockwell Automation. Dostupné na: <www.rockwellautomation.com>.

EVERLIGHT ELECTRONICS CO., LTD. [online]. 2021. PC817 Series Optocoupler Datasheet [online]. [cit. 2025-03-23]. Dostupné na: <<http://www.everlight.com/file/ProductFile/PC817.pdf>>.

NXP SEMICONDUCTORS. [online]. 2021. PCF8591: 8-bit A/D and D/A converter datasheet [online]. [cit. 2025-03-23]. Dostupné na: <<https://www.nxp.com/docs/en/datasheet/PCF8591.pdf>>.

TAN, S. L. - NGUYEN, H. X. 2022. Performance Analysis of Ultrasonic Sensors in Varying Environmental Conditions. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 71, s. 1-12. ISSN: 1557-9662.

Súhrn

Táto práca prezentuje automatizovaný systém na testovanie spoľahlivosti snímačov vzdialenosti. Zariadenie využíva Raspberry Pi na riadenie presného polohovacieho mechanizmu v dvoch osiach. Systém umožňuje systematické testovanie ultrazvukových senzorov bez zásahu obsluhy, pričom pre každú kombináciu vzdialenosti a uhla vyhodnocuje percento úspešných meraní v stanovenom pásme tolerancie. Výsledky sú vizualizované pomocou polárneho grafu, ktorý prehľadne zobrazuje závislosť spoľahlivosti od polohy prekážky. Oproti manuálnemu testovaniu prináša výhody v podobe vysokej presnosti, opakovateľnosti a efektívnosti, čím významne zjednodušuje proces komplexnej charakterizácie snímačov pre robotické a priemyselné aplikácie.

Kľúčové slová: Ultrazvukový snímač vzdialenosti, mikrokontrolér, meranie

TESTOVANIE PNEUMATÍK VYBRANÉHO VOZIDLA POČAS ROKA

TESTING THE TIRES OF A SELECTED VEHICLE DURING THE YEAR

PATRIK BUDAČ – IVAN JANOŠKO

Abstract

The work focuses on the analysis of the adhesion of summer and winter tires in various temperature and weather conditions. The aim of the research was to systematically test the adhesion of the tires at different temperatures and to verify their performance in real driving situations. The experimental part was conducted on a Volkswagen Passat 2.0 TDI, testing Continental Premium Contact 6 summer tires and Matador Nordica MP 93 winter tires. The measurement results showed that the summer tires achieved optimal adhesion and stability in summer conditions at a temperature of 21°C. In contrast, the winter tires in the same conditions exhibited deterioration in acceleration and deceleration properties due to overheating of the compound and tread deformation. During the transitional period (7-10°C), it was demonstrated that the summer tires began to harden and lose adhesion, while the winter tires maintained better traction. The most significant difference was recorded in winter conditions (-3°C), where the summer tires lost a considerable amount of adhesion and their braking distance was extended, whereas the winter tires maintained optimal performance. The results confirmed the theoretical assumptions about the seasonal suitability of tires and highlighted the importance of selecting the right tires for road safety. Future research could focus on long-term tire wear, their economic efficiency, and the development of adaptive compounds that would enable wider use in transitional conditions.

Key words: vehicle dynamics, tire, adhesion, vehicle testing

1 Úvod

Dynamika pohybu vozidla je jedným z hlavných faktorov ovplyvňujúcich jeho bezpečnosť, komfort a celkový jazdný výkon. Medzi kľúčové aspekty jazdnej dynamiky patrí stabilita, ovládateľnosť, trakcia, akcelerácia, brzdenie a správanie vozidla pri prejazde zákrutami. Tieto vlastnosti sú ovplyvnené viacerými faktormi, ako sú konštrukčné parametre vozidla, hmotnostné rozloženie, vlastnosti podvozka a interakcia medzi pneumatikami a vozovkou. Pneumatiky, ako jediný bod kontaktu medzi vozidlom a cestou, zohrávajú rozhodujúcu úlohu pri prenose hnacích, brzdných a bočných síl, a tým zásadne ovplyvňujú dynamické správanie vozidla.

Adhézne vlastnosti pneumatík sú kľúčové pre dosiahnutie optimálnej trakcie a stability. Priľnavosť pneumatiky k vozovke je výsledkom kombinácie mechanických, chemických a tepelných interakcií medzi behúňom pneumatiky a povrchom cesty

Na príľnavosť vplývajú viaceré faktory, ako sú materiálové zloženie behúňa, dezén pneumatiky, teplota, tlak hustenia, opotrebenie, ako aj charakter povrchu vozovky – či je suchý, mokrý, znečistený alebo pokrytý snehom či ľadom. Koeficient trenia medzi pneumatikou a vozovkou sa mení v závislosti od týchto podmienok a priamo ovplyvňuje schopnosť vozidla efektívne zrýchľovať, brzdiť a udržiavať stabilitu v zákrutách.

Na analýzu dynamických vlastností pneumatík sa využívajú rôzne experimentálne a teoretické metódy. Medzi najčastejšie testy patrí meranie brzdnnej dráhy, hodnotenie akceleračných schopností, analýza priečnej dynamiky a sledovanie správania vozidla pri rýchlych zmenách smeru jazdy. Moderné simulačné modely umožňujú predpovedať interakciu pneumatík s povrchom vozovky v rôznych jazdných režimoch a podmienkach. Tieto modely sú založené na princípoch mechaniky tuhých telies, elastických deformácií a dynamiky vozidla.

Cieľom príspevku je analyzovať, aký vplyv majú rôzne typy pneumatík na správanie vozidla pri brzdení a vyhodnotiť ich adhézne vlastnosti v reálnych jazdných podmienkach. Výsledky tejto analýzy môžu prispieť k lepšiemu pochopeniu vplyvu pneumatík na dynamiku jazdy a pomôcť pri optimalizácii ich výberu pre rôzne podmienky použitia.

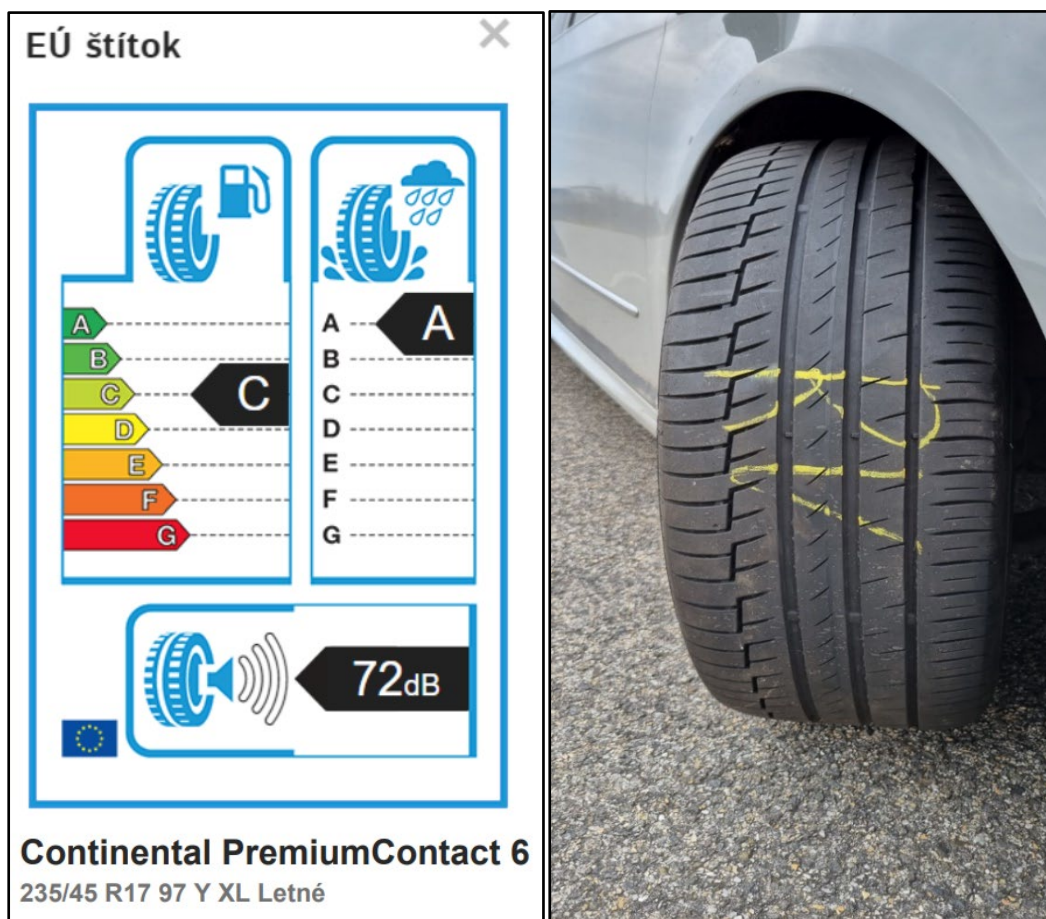
2 Materiál a metódy

Hlavným objektom skúmania sú pneumatiky, ktoré zohrávajú rozhodujúcu úlohu v interakcii medzi vozidlom a povrchom vozovky. Pre účely tejto štúdie boli zvolené pneumatiky rôznych typov, konkrétne letné, zimné a prechodné, ktoré umožňujú komplexné porovnanie ich adhézných vlastností v rôznych klimatických podmienkach.

Pneumatiky použité v tejto práci sú špecifické svojím zložením a dezénom, ktoré sú prispôbené na optimalizáciu jazdného výkonu v rozličných teplotných a poveternostných podmienkach. Letné pneumatiky sú navrhnuté s dôrazom na maximálnu príľnavosť na suchých a mokrych cestách pri vyšších teplotách. Vyznačujú sa tvrdšou zmesou gummy, ktorá zaručuje stabilitu pri vyšších rýchlostiach a znižuje valivý odpor. Na druhej strane, zimné pneumatiky majú mäkšiu gumovú zmes a špeciálny dezén, ktorý zabezpečuje optimálny kontakt s vozovkou v chladných podmienkach a na klzkých povrchoch. Ich hlbšie drážky a lamely zvyšujú príľnavosť na snehu a ľade.

V rámci práce sa testujú adhézne vlastnosti pneumatík v zimnom období s použitím letných aj zimných pneumatík, v letnom období s rovnakými typmi a údaje z prechodného obdobia sú prevzaté z vlastnej bakalárskej práce. Takéto celotočné porovnanie umožňuje detailné zhodnotenie výkonnosti pneumatík v reálnych podmienkach a poskytuje hodnotné poznatky pre ďalšie výskumy v oblasti dynamiky vozidla. Tieto výsledky budú následne porovnané a interpretované s cieľom poskytnúť komplexný obraz o vplyve rôznych typov pneumatík na jazdné vlastnosti vozidla.

Na testovanie boli zvolené letné pneumatiky Continental PremiumContact 6 235/45 R17 (Obr.1) a zimné pneumatiky Matador MP93 Nordicca 205/55 R16 (Obr.2).



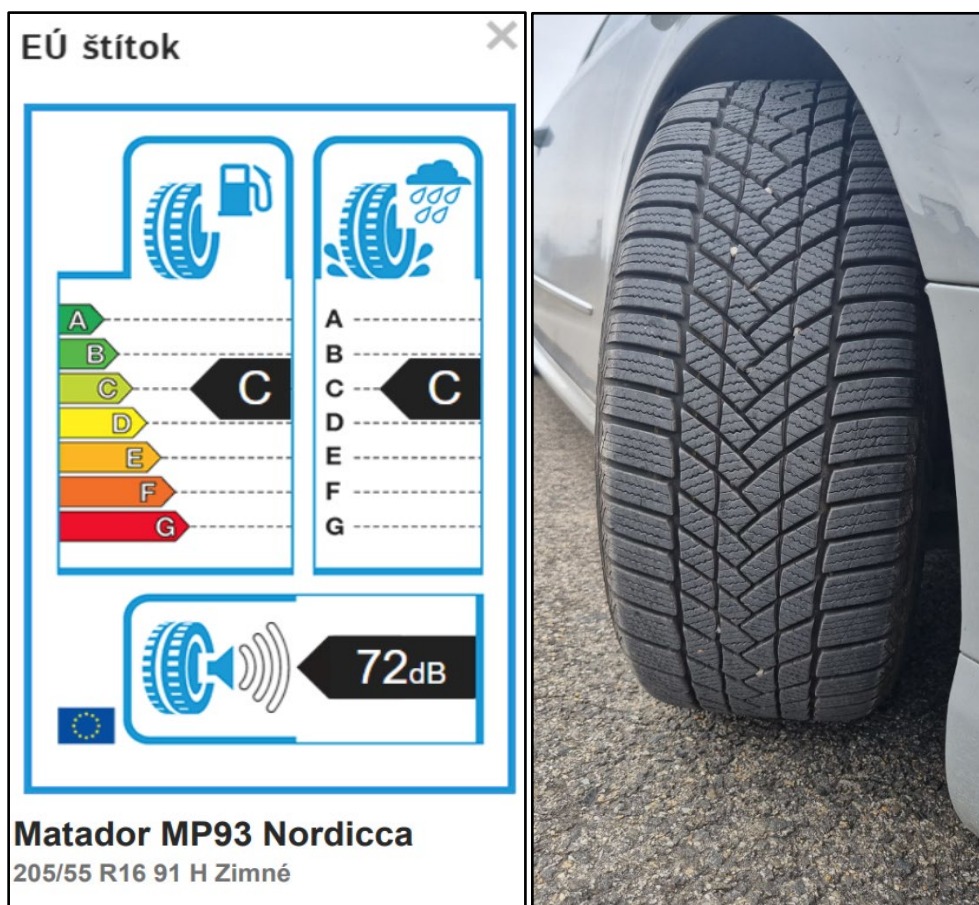
Obr 1. Testovacie letné pneumatiky Continental PremiumContact 6 235/45 R17

Fig. 1 Tested summer tires Continental PremiumContact 6 235/45 R17

Tab. 1 Technické parametre letných pneumatík

Tab. 1 Technical parameters of summer tires

Výrobca	Continental	
Typ pneumatík	Premium contact 6	
Rozmer pneumatík, hmotnostný a rýchlostný index	235/45 R17 91 Y	
Dátum výroby (DOT)	0818	
Dezén	Asymetrický dezén	
	Hĺbka dezénu (mm)	Tlak v pneumatikách (kPa)
Ľavá predná	5,2 – pri prechodnom období 1,6 – pri letnom období 1,2 - pri zimnom období	270
Pravá predná	5,2 – pri prechodnom období 1,6 – pri letnom období 1,2 - pri zimnom období	270
Ľavá zadná	5,2 – pri prechodnom období 1,8 – pri letnom období 1,4 - pri zimnom období	250
Pravá zadná	5,2 – pri prechodnom období 1,8 – pri letnom období 1,4 - pri zimnom období	250



Obr. 2. Testované zimné pneumatiky Matador MP93 Nordicca 205/55 R16

Fig. 2 Tested winter tires Matador MP93 Nordicca 205/55 R16

Tab. 2 Technické parametre zimných pneumatík
Tab. 2 Technical parameters of winter tires

Výrobca	Matador	
Typ pneumatík	Nordicca	
Rozmer pneumatík, hmotnostný a rýchlostný index	205/55 R16 91 H	
Dátum výroby (DOT)	4722	
Dezén	Symetrický dezén	
	Hĺbka dezénu (mm)	Tlak v pneumatikách (kPa)
Ľavá predná	7,9 – pri prechodnom období 6,1 – pri letnom období 5,5 - pri zimnom období	270
Pravá predná	7,9 – pri prechodnom období 6,1 – pri letnom období 5,5 - pri zimnom období	270
Ľavá zadná	7,9 – pri prechodnom období 6,1 – pri letnom období 5,5 - pri zimnom období	250
Pravá zadná	7,9 – pri prechodnom období 6,1 – pri letnom období 5,5 - pri zimnom období	250

Na meranie sa použijú nasledovné meracie prístroje:

XL-Meter™ Pro alfa (Obr.3). Prístroj upevnený na čelnom skle tak aby nebránil výhľadu vodiča na cestu. Týmto prístrojom je možné merať zrýchlenie a spomalenie vozidla a tiež brzdnú dráhu ktorú vozidlo prekoná. Prístroj sa dá jednoducho prepojiť s počítačom a pomocou aplikačného programu sa dajú podrobnejšie prezrieť a vyčítať namerané dáta.



Obr 3. XL-Meter™ Pro alfa

Fig. 3 XL-Meter™ Pro alfa

Tab. 3 Údaje merané pomocou XL-Metra

Tab. 3 Data measured using the XL-Meter

Brzdná dráha	$S_o, (m)$
Čas brzdenia	$T_{br}, (s)$
Skutočná nájazdová rýchlosť	$V_o, (km.h^{-1})$
Priemerné brzdné spomalenie	$MFDD, (m.s^{-2})$

Rollmeter Týmto prístrojom je možné merať pozemnú vzdialenosť (v prípade tejto práce brzdnú dráhu). Namerané hodnoty sa v reálnom čase zobrazujú na displeji upevnenom v hornej časti rollmetra.



Obr 4. Digitálny rollmeter

Fig. 4 Digital rollmeter

Bezkontaktný digitálny teplomer merací prístroj určený na odmeranie teploty okolitého prostredia, podložky na ktorej bude vykonávané meranie a teploty použitých pneumatík.



Obr 5. Bezkontaktný digitálny teplomer
Fig. 5 Non-contact digital thermometer

Auto diagnostika VCDS Release 22.10.0 VCDS (VAG-COM Diagnostic System) je diagnostický softvér vyvinutý spoločnosťou Ross-Tech, ktorý slúži na diagnostiku a programovanie vozidiel značiek Volkswagen, Audi, Škoda a Seat. VCDS je veľmi výkonný nástroj, ktorý umožňuje presnú diagnostiku vozidla a poskytuje pokročilé funkcie ako napríklad programovanie riadiacich jednotiek, V našom prípade bude použitý na meranie času, za ktorý vozidlo zrýchli na požadované rýchlosti, kontrolovanie teplôt a tlaku prevádzkových kvapalín a kontrolovanie akčných členov vozidla.



Obr 6. VCDS sotvér
Fig. 6 VCDS software

3 Výsledky a diskusia

3.1 Merania letných podmienok sa uskutočnili dňa 8. októbra 2024 pri teplote vzduchu 21 až 24 °C

Tab. 4 Súčiniteľ adhézie letných pneumatík v letnom období

Tab. 4 Coefficient of adhesion of summer tires in summer conditions

Skutočná rýchlosť (km.h ⁻¹)	Brzdné spomalenie (m.s ⁻²)	Gravitačné zrýchlenie (m.s ⁻²)	Súčiniteľ adhézie μ
59,3	9,0	9,81	0,917
81,3	9,4		0,958
97,9	9,5		0,968
Aritmetický priemer	9,3		0,948

Tab. 5 Súčiniteľ adhézie zimných pneumatík v letnom období
 Tab. 5 Coefficient of adhesion of winter tires in summer conditions

Skutočná rýchlosť (km.h ⁻¹)	Brzdné spomalenie (m.s ⁻²)	Gravitačné zrýchlenie (m.s ⁻²)	Súčiniteľ adhézie μ
59,1	8,7	9,81	0,887
79,2	8,5		0,866
99,5	8,5		0,866
Aritmetický priemer	8,6		0,877

Zimné pneumatiky nie sú optimalizované na jazdu v letných podmienkach, čo môže viesť k ich nadmernému prehrievaniu, zníženiu trakcie, predĺženiu brzdnéj dráhy a nižšej stabilite pri vyšších rýchlostiach. Ich väčšia zmes, určená na chladné podmienky, sa pri vysokých teplotách rýchlejšie opotrebovávajú a deformujú, čím sa znižuje príľnavosť k vozovke. To môže v praxi znamenať dlhšiu brzdnú dráhu pri núdzovom zastavení, horšiu ovládateľnosť v zákrutách a vyššie riziko šmyku pri prudších manévroch.

Naopak, letné pneumatiky sú v týchto podmienkach schopné efektívne využívať svoju tuhšiu zmes a dezén, čím zabezpečujú lepšiu stabilitu, optimálny prenos výkonu a kratšiu brzdnú dráhu. Rozdiely v príľnavosti medzi zimnými a letnými pneumatikami sa prejavujú aj v hodnote priemerného súčiniteľa adhézie – zatiaľ čo zimné pneumatiky v teplých podmienkach dosahujú hodnotu 0,877, letné pneumatiky poskytujú vyššiu príľnavosť s hodnotou 0,948. Tento rozdiel sa môže v reálnych situáciách prejaviť nielen v dlhšej brzdnéj dráhe zimných pneumatík, ale aj v zníženej stabilite pri vyšších rýchlostiach a menšej schopnosti efektívne prenášať silu na vozovku, čo môže viesť k strate kontroly nad vozidlom v kritických situáciách.

3.2 Meranie zimných podmienok sa uskutočnilo dňa 18.februára 2025 pri teplote vzduchu -3 až -5 °C

Tab. 6 Súčiniteľ adhézie letných pneumatík v zimnom období
 Tab. 6 Coefficient of adhesion of summer tires in winter conditions

Skutočná rýchlosť (km.h ⁻¹)	Brzdné spomalenie (m.s ⁻²)	Gravitačné zrýchlenie (m.s ⁻²)	Súčiniteľ adhézie μ
58,9	7,3	9,81	0,744
81,0	7,3		0,744
97,8	8,3		0,846
Aritmetický priemer	7,6		0,775

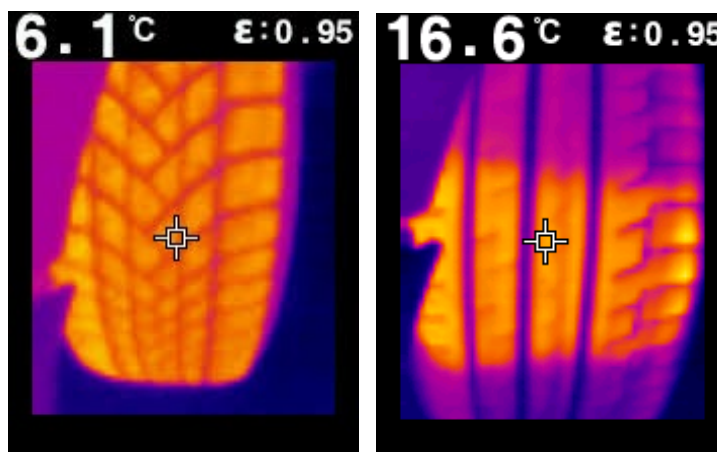
Tab. 7 Súčiniteľ adhézie zimných pneumatík v zimnom období
 Tab. 7 Coefficient of adhesion of winter tires in winter conditions

Skutočná rýchlosť km.h ⁻¹)	Brzdné spomalenie (m.s ⁻²)	Gravitačné zrýchlenie (m.s ⁻²)	Súčiniteľ adhézie μ
58,1	9,4	9,81	0,958
76,7	9,1		0,928
96,2	9,4		0,958
Aritmetický priemer	9,3		0,948

V zimnom období nie sú letné pneumatiky prispôbené chladným podmienkam, čo môže spôsobiť výrazné zníženie ich príľnavosti k vozovke, predĺženie brzdnéj dráhy a zhoršenie stability vozidla. Letné pneumatiky, ktorých zmes je tvrdšia a menej flexibilná pri nízkych teplotách, strácajú schopnosť efektívne prenášať silu na vozovku, čo sa prejavuje

horšou trakciou, predovšetkým na zasnežených alebo zľadovatených povrchoch. To môže v praxi viesť k neovládateľnosti vozidla, dlhšej brzdnéj dráhe a zvýšenému riziku šmyku.

Naopak, zimné pneumatiky sú navrhnuté na optimálny výkon v chladných podmienkach a v zime poskytujú lepšiu priľnavosť, vďaka svojej mäkšej zmesi a špecifickému dezénu, ktorý lepšie zabraňuje šmyku na snehu a ľade. Merania ukazujú, že zimné pneumatiky v zimných podmienkach dosahujú priemerný súčiniteľ adhézie 0,948, čo je výrazne vyššie ako u letných pneumatík, ktoré dosahujú hodnotu 0,775. Tento rozdiel v priľnavosti znamená, že zimné pneumatiky poskytujú lepšiu trakciu, stabilitu a bezpečnosť, čo je kľúčové pri jazde na klzkých a zasnežených cestách, kde je riziko šmyku a straty kontroly nad vozidlom vyššie.



Obr 7. Teploty povrchu behúňa pneu v zimnom období po brzdení
vľavo zimá pneu, vpravo letná pneu

Fig. 7 Tire tread surface temperatures in winter after braking
left winter tire, right summer tire

3.3 Meranie prechodných podmienok sa uskutočnilo dňa 30.marca 2023 pri teplote vzduchu 7 až 10 °C

Tab. 8 Súčiniteľ adhézie zimných pneumatík v prechodnom období

Tab. 8 Coefficient of adhesion of winter tires in transitional conditions

Skutočná rýchlosť (km.h ⁻¹)	Brzdné spomalenie (m.s ⁻²)	Gravitačné zrýchlenie (m.s ⁻²)	Súčiniteľ adhézie μ
56,9	9,0	9,81	0,917
78,9	8,8		0,897
98,6	8,9		0,907
Aritmetický priemer	8,9		0,907

Tab. 9 Súčiniteľ adhézie letných pneumatík v prechodnom období

Tab. 9 Coefficient of adhesion of summer tires in transitional conditions

Skutočná rýchlosť km.h ⁻¹)	Brzdné spomalenie (m.s ⁻²)	Gravitačné zrýchlenie (m.s ⁻²)	Súčiniteľ adhézie μ
64,0	7,7	9,81	0,785
84,9	8,5		0,866
102,3	8,9		0,907
Aritmetický priemer	8,4		0,853

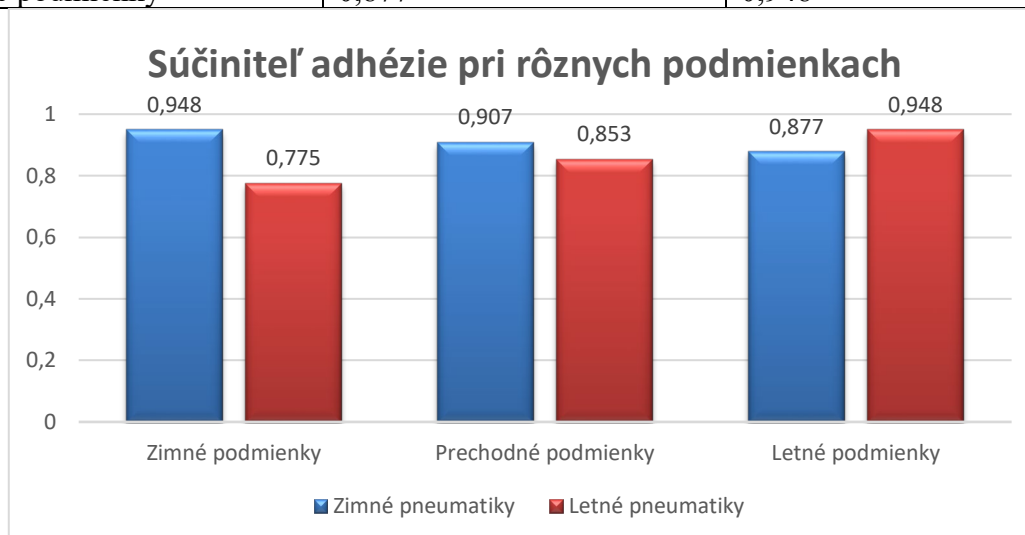
V prechodnom období, keď sú teploty ráno stále nízke, letné pneumatiky vykazujú zníženú príľnavosť, pretože ich tvrdšia zmes nie je prispôbena chladným podmienkam. To vedie k dlhšej brzdnéj dráhe a horšej stabilite, najmä na mokrej alebo vlhkej vozovke. Zimné pneumatiky s mäkkšou zmesou poskytujú lepšiu trakciu, dosahujúc priemerný súčiniteľ adhézie 0,907, zatiaľ čo letné pneumatiky dosahujú hodnotu 0,853. Tento rozdiel zaručuje lepšiu stabilitu a bezpečnosť jazdy v prechodných podmienkach. Preto sa oplatí počkať s prezúvaním na letné pneumatiky, kým teploty ráno a v noci nezostanú dostatočne vysoké na to, aby letné pneumatiky dosiahli optimálny výkon a príľnavosť.

4 Záver

V závere meraní v rôznych podmienkach môžeme zhrnúť, že zimné pneumatiky preukázali najlepšiu príľnavosť v zimných podmienkach, dosahujúc priemerný súčiniteľ adhézie 0,948, čo zabezpečilo optimálnu trakciu a stabilitu na zasnežených a zľadovatených vozovkách. V prechodnom období zimné pneumatiky dosiahli hodnotu 0,907, čo poskytovalo lepšiu bezpečnosť a stabilitu v chladných, ale nie úplne zimných podmienkach. Letné pneumatiky v letných podmienkach vykazovali najvyššiu príľnavosť s hodnotou 0,948, čo zabezpečilo krátku brzdnú dráhu a dobrú ovládateľnosť na suchých a teplých cestách. V prechodnom období, kde letné pneumatiky dosiahli hodnotu 0,853, sa prejavil pokles ich výkonu v chladných podmienkach, čo potvrdzuje, že prezúvanie na letné pneumatiky je lepšie realizovať až po stabilizácii teplôt nad určitú úroveň.

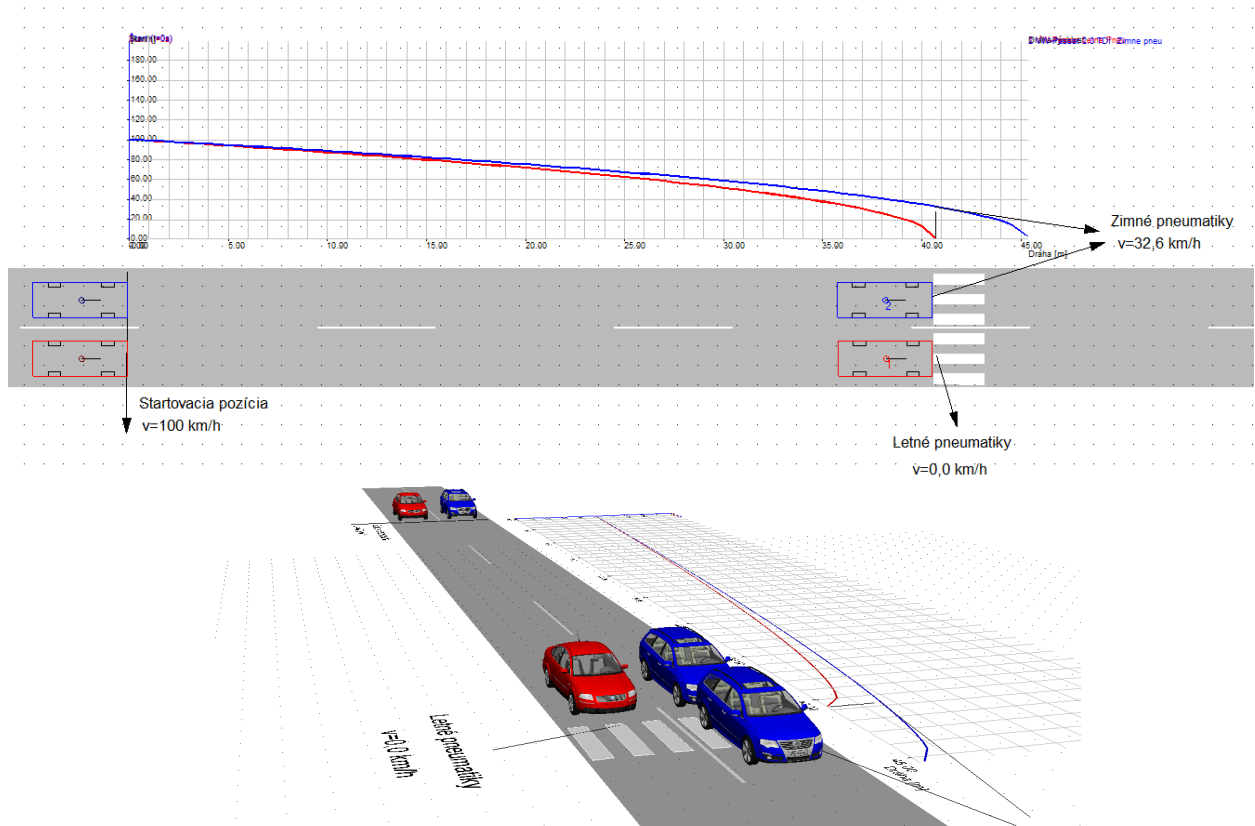
Tab. 10 Rozdiely dosiahnutej adhézie pri rôznych podmienkach
Tab. 10 Differences in achieved adhesion under different conditions

Podmienky	Zimné pneumatiky	Letné pneumatiky
Zimné podmienky	0,948	0,775
Prechodné podmienky	0,907	0,853
Letné podmienky	0,877	0,948

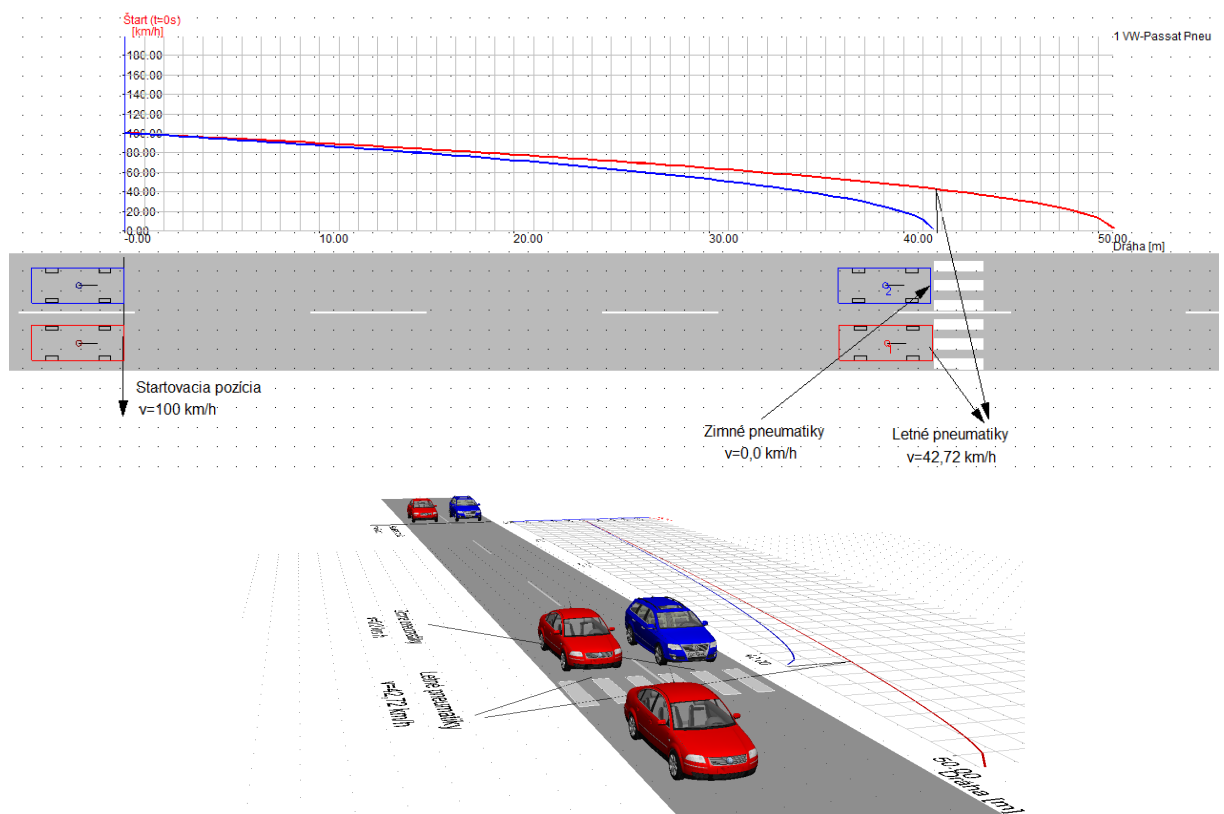


Obr 8. Grafické zobrazenie adhézie pneumatík pri rôznych podmienkach
Fig. 8 Graphical representation of tire adhesion under different conditions

Názorné porovnanie letných a zimných pneumatík v rozličných obdobiach je možné vidieť na Obr.9 a10, kde červené vozidlo má letné pneumatikami a modré vozidlo zimné pneumatikami. Kým v lete vozidlo s letnými pneumatikami už stálo, vozidlo so zimnými pneumatikami sa pohybovalo ešte rýchlosťou 32,6 km.h⁻¹ a zastavilo na dráhe o 5,2 m dlhšej. Naopak zimných podmienkach vozidlo so zimnými pneumatikami už stálo a s letnými pneumatikami sa ešte pohybovalo rýchlosťou 42,7 km.h⁻¹ a zastavilo na dráhe o 9,1 m dlhšej.



Obr 9. Letné podmienky 21°C, porovnanie brzdných dráh
Fig. 9 Summer conditions 21°C, braking distance comparison



Obr 10. Zimné podmienky -5°C, porovnanie brzdných dráh
Fig. 10 Winter conditions -5°C, braking distance comparison

5 Literatúra

DOČKAL, V. – KOVANDA, J. – HRUBEC, F.: 1998. Pneumatiky. Praha: České vysoké učení technické, 1998. 71 s. ISBN 80-01-01882-2.

DONGES, E. 2012. Driver Behavior Models and Their Application in Vehicle Active Safety Assessment. Springer.

ERIKSSON, L. – NIELSEN, L. 2014. Modeling and Control of Engines and Drivelines. Diely.

GILLESPIE, T. D. 1992. Fundamentals of Vehicle Dynamics. Society of Automotive Engineers.

GUZZELLA, L. – SCIARETTA, A. 2013. Vehicle Propulsion Systems: Introduction to Modeling and Optimization. Springer.

HUDÁK, A.: 2010. Faktory ovplyvňujúce bezpečnosť styku pneumatiky a vozovky, elektronický časopis Žilinskej univerzity v Žiline 2010, ISSN 1336-7676.

HUCHO, W. H. 2013. Aerodynamics of Road Vehicles. SAE International.

NOVOSAD, J. 2017. Adhézne vlastnosti cestných pneumatík. Bakalárska práca. SPU: Technická fakulta, 2017. 49 s. Bez ISBN.

MARCÍN, J.: 1985 Pneumatiky, Nakladatelství technické literatury, Praha 1985. 492 s.

MECHL, V. – MUŠINSKÝ, M.: 2011. Gumárenská technologie v Barum Continental spol. s.r.o. Zlín: Centrum odborné přípravy, 2011. 97 s. ISBN: 978-80-905002-2-8.

MILLIKEN, W. F. – MILLIKEN, D. L. 1995. Race Car Vehicle Dynamics. Society of Automotive Engineers.

PACEJKA, H. B. 2012. Tire and Vehicle Dynamics. Butterworth-Heinemann.

RAJAMANI, R. 2012. Vehicle Dynamics and Control. Springer.

SEMETKO, J.: Vlastnosti motorových vozidiel., Nitra: ES VŠP, 1996. 104 s, ISBN 80-7137-268.

POLANSKÝ P., 2013, Závislost směsí pneumatiky vozu na jízdní vlastnosti, dostupné na internetu: http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/25423/polansk%c3%bd_2013_bp.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Súhrn

Práca sa zaoberá analýzou príľnavosti letných a zimných pneumatík v rôznych teplotných a poveternostných podmienkach. Cieľom výskumu bolo systematické testovanie adhézie pneumatík pri rozdielnych teplotách a overenie ich výkonnosti v reálnych jazdných situáciách. Experimentálna časť bola realizovaná na automobile Volkswagen Passat 2.0 TDI, pričom testované boli letné pneumatiky Continental Premium Contact 6 a zimné pneumatiky Matador Nordica MP 93. Výsledky meraní ukázali, že letné pneumatiky dosahovali optimálnu príľnavosť a stabilitu v letných podmienkach pri teplote 21°C. Naopak, zimné pneumatiky v rovnakých podmienkach vykazovali zhoršenie akceleračných a deceleračných vlastností spôsobené prehrievaním zmesi a deformáciou behúňa. V prechodnom období (7-10°C) sa preukázalo, že letné pneumatiky začínajú tvrdnúť a strácať príľnavosť, zatiaľ čo zimné pneumatiky si zachovali lepšiu trakciu. Najvýraznejší rozdiel bol zaznamenaný v zimných podmienkach (-3°C), kde letné pneumatiky stratili výraznú časť príľnavosti a predĺžila sa ich brzdná dráha, zatiaľ čo zimné pneumatiky si zachovali optimálny výkon. Výsledky potvrdili teoretické predpoklady o sezónnej vhodnosti pneumatík a zdôraznili význam správneho výberu pneumatík pre bezpečnosť cestnej premávky. Budúci výskum by sa mohol zamerať na dlhodobé opotrebenie pneumatík, ich ekonomickú efektívnosť a vývoj adaptívnych zmesí, ktoré by umožnili širšie použitie v prechodných podmienkach.

Kľúčové slová: dynamika vozidla, pneumatiky, adhézia, testovanie vozidla

KRÍMIDLO PRE PSY S AUTOMATICKÝM DÁVKOVANÍM

AUTOMATIC DOSING DOG FOOD

NIKOLAS BYSTRICKÝ – PATRIK MÁČIK – ĽUDOVÍT FÖLDES

Abstract

In this project we have been working on the solution of providing automatic feeding of food and water to animals. This issue has been increasingly in concern of many pet keepers especially during their absence or busyness. At the same time, it is also important to manage and control the pet's eating habits and its specific needs. We decided to design a dog feeder with an automatic dosing according to animal's needs, while taking into account its weight, scheduled feeding time and signalisation of food refilling. First, we collected all the necessary components such as food and water dispensers, timer, bell, electrical wires, etc. In the next step, we designed the wiring diagram of the electrical components. During the work we encountered several minor technical problems that could affect the operation. However, the research to find solution to the problems has been a great challenge and enjoyment for all participants. Further, we implemented the actual wiring and tested its functionality. By working on this project, we have deepened our practical and theoretical knowledge of the basics of electrical engineering. The contribution of smart bowls and feeders can be considered as significant simplification of animal care. We also see the practical aspect as highly important and useful for all dog keepers. It can be said that the automatic dog feeder provides multiple benefits, as the automatic feed dispenser regulates the amount of provided food, helps maintain the pet's optimum weight, and the owner does not have to be physically present at each feeding.

Key words: 3D printer, automatic feeder, smart bowls

1 Úvod

Automatizácia riadenia procesov je prirodzeným vývojom technického a spoločenského pokroku. V súčasnej dobe prispieva k rozvoju automatizácie aj rozvoj technológií a výroby. Automatizácia urýchľuje vedecko-technický pokrok, lepšie využíva pracovný čas aj výrobné prostriedky. Pomáha efektívnejšie využívať materiál a energiu. Mení sa pritom charakter práce a výroby, musí umožniť vytváranie a využívanie mnohých technológií. Tiež sa mení charakter práce človeka, s tým aj jeho úloha, presúva sa z oblasti priameho dozoru a priameho riadenia na dozor a riadenie automatizačného zariadenia. Automatizácia je prínosom aj v našom každodennom živote, uľahčuje nám aktivity bežného dňa.

Cieľom práce bolo vytvorenie krmidla pre psy prostredníctvom 3D tlačiarne s automatickým dávkovaním.

Hypotéza1: Je možné vytvoriť prostredníctvom 3D tlačiarne a programovacieho systému ARDUINO zariadenie ktoré bude v stanovený čas dopĺňať krmivo pre psa?

Hypotéza2: Je možné ovládanie krmidla na diaľku prostredníctvom wifi?

2 Materiál a metódy

Prvým krokom bolo zhromaždenie materiálu a komponentov:

- Filament (materiál pre tlač na 3D tlačiarňi),
- ARDUINO UNO - bolo neskôr nahradené spínačom,
- vodiče,
- inteligentný wifi spínač SONOFF,
- motorček,
- rezistor,
- tlačidlá,
- zdroj,
- remeň,
- osová tyč.

Original Prusa MK4 je pokročilá 3D tlačiareň od spoločnosti Prusa Research, ktorá stavia na úspechu svojich predchodcov a prináša množstvo vylepšení pre ešte kvalitnejšiu a efektívnejšiu tlač.

Hlavné vlastnosti:

Technológia tlače: Fused Deposition Modeling (FDM), ktorá umožňuje tlač z rôznych materiálov, ako sú PLA, PETG, ABS, ASA, Flex, HIPS, PA, PVA, PC, PP, CPE, PVB, NGEN a kompozitné filamenty.

Tlačový objem: Maximálne rozmery tlače sú 250 x 210 x 220 mm, čo poskytuje dostatočný priestor pre väčšinu projektov.

Extruder: Nový "Nextruder" s priamym pohonom (Direct Drive) a planetárnym prevodom s pomerom 10:1 zabezpečuje presné a spoľahlivé podávanie filamentu.

Teplotné rozsahy: Maximálna teplota trysky je 290 °C a vyhrievanej podložky 120 °C, čo umožňuje tlač z rôznych materiálov vrátane tých náročnejších na teplotu.

Kalibrácia: Plne automatická kalibrácia prvej vrstvy vďaka senzoru Load Cell zaručuje vždy dokonalú prvú vrstvu bez potreby manuálneho nastavovania.

Elektronika: Vlastná 32-bitová základná doska xBuddy s procesorom STM32 a ovládačmi krokových motorov Trinamic 2130 zabezpečujú plynulý a tichý chod tlačiarne.

Displej: Farebný 3,5" grafický displej s 65 tisíc farbami poskytuje prehľadné a intuitívne ovládanie tlačiarne.

Konektivita: Tlačiareň ponúka pripojenie cez USB, Ethernet a voliteľný Wi-Fi modul, čo umožňuje vzdialenú správu tlače a integráciu do siete.

Senzory: Pokročilé senzory, ako sú filament senzor, Load Cell senzor, Power Panic a štyri vysokopresné termistory, zvyšujú spoľahlivosť a bezpečnosť tlače.



Obr. 1 PRUSA MK4

Fig. 1 PRUSA MK4

Najskôr bolo potrebné vytvoriť návrh konštrukcie krmidla a jeho častí. Vymyslieť najvhodnejší systém dopĺňania krmiva. Následne sme pristúpili k učeniu sa pracovať s 3D tlačiarňou PRUSA MK4, vytvoreniu si návrhu modelu na základe ktorého dochádza k vymodelovaniu prvkov na tejto tlačiarňi.

Potom sme šli za majstrami odborného výcviku, ktorí nám odovzdali informácie ako pracovať s ARDUINO UNO a ako naprogramovať program, zároveň sme si časť poznatkov našli samoštúdiom a inšpirovali sa zo stránok na internete, aby sme mali čo najviac informácií ku krokovému motoru aby krmidlo pracovalo na systéme dávkovania jedla v 24 hodinovom intervale. Bádateľská stránka tejto fázy projektu bola veľmi zaujímavá, pretože nie vždy fungovalo všetko na prvýkrát a pri hľadaní príčiny neočakávaného správania systému sme sa naučili najviac.

Keď bol program hotový, prenášal sa na dosku plošného spoja ARDUINO UNO. Pristúpili sme k realizácii zapojenia elektro komponentov ako sú vodiče, tlačidlá, zdroj, motorček, rezistor a zvonček a osadenia dosky a komponentov ako remeňa, osová tyč valca, hnacie kolesá...

4. Pospájali sme diely vytlačené na 3D tlačiarňi a primontovali sme elektro podzostavu zloženú z Arduina a vodičov. Došlo k problémom s funkčnosťou, preto sme zvolili ako náhradu ARDUINA inteligentný wifi spínač SONOFF.

5. Testovanie funkčnosti a bezpečnosti zapojenia.

Sonoff Basic - Inteligentný WiFi spínač - určený na ovládanie elektrických spotrebičov vzdialene cez internet. Využíva jedno z najspoľahlivejších a najbezpečnejších cloudové prostredie od firmy Amazon Web Services pre zabezpečené pripojenie do internetu a ovládanie pomocou pripojenej aplikácie eWeLink z mobilného telefónu (Android aj iPhone) odkiaľkoľvek na svete. Aplikácia eWeLink a služby spojené s prevádzkou vypínačov sú poskytované zdarma (podpora aj Slovenského jazyka). Napájanie je riešené priamo z 230 V a výstupom (tiež 230 V) je možné ovládať spotrebiče až do záťaže 10 A.

Rezistor - súčiastka s definovanou závislosťou prúdu na napätí, sú konštruované ako pevné alebo premenné s prestaviteľnou hodnotou odporu. Pevné rezistory majú od výrobcu danú pevne menovitú hodnotu odporu. Zaťaženie závisí od chladenia, odvodu tepla do okolia. Drôtové rezistory sú tvorené odporovým drôtom navinutom na nosnom telese, konce sú vyvedené na kontakty vo forme jazyčkov, objímok alebo čapíčiek. Rezistory SMD sa vyrábajú pre povrchovú montáž s menovitým stratovým výkonom do 2W.

3 Výsledky a diskusia

Naučili sme sa programovať ARDUINO UNO, tlačit' na 3D tlačiarňi a využili sme poznatky zo základov elektrotechniky na to, aby sme dokázali vytvoriť funkčné zariadenie – krmidlo s automatickým dopĺňaním krmiva.

Hypotéza č.1 bola potvrdená čiastočne, dá sa zostaviť zariadenie pomocou 3D tlačiarne na základe vhodne zvoleného systému. Avšak ARDUINO to nebolo. Počas práce sme zistili, že Arduino nemá dosť napätia pre poháňanie motora, z tohto dôvodu sme sa rozhodli použiť inteligentný wifi spínač SONOFF.

Ktorý si dokáže zapamätať cyklus kŕmenia a tak zabezpečiť bezproblémový chod zariadenia. Výhodou je aj možnosť spustenia na diaľku. Prvotnú nedôveru psíka k novému krmidlu sa podarilo časom prekonať.

Hypotéza č.2 bola potvrdená. Krmidlo možno ovládať prostredníctvom Wifi na diaľku.



Obr. 2 Automatické krmidlo

Fig. 2 Automatic dog feeder

4 Záver

Naša práca nám umožnila prehliť teoretické aj praktické znalosti v oblasti elektrotechniky, programovania a 3D tlače. Počas práce na realizácii projektu sme sa stretli s viacerými technickými výzvami, ktoré sme riešili hľadaním informácií, konzultáciami s majstrom. Zistili sme, že hoci pôvodne plánované riešenie s Arduinoom nebolo vhodné pre pohon motora, podarilo sa nám nájsť efektívnu alternatívu v podobe inteligentného wifi spínača SONOFF.

Výsledkom našej práce je plne funkčné krmidlo pre psy s automatickým dávkovaním krmiva, ktoré je možné ovládať na diaľku prostredníctvom Wifi. Toto zariadenie prináša praktické výhody pre chovateľov domácich zvierat, zjednodušuje starostlivosť o ich stravovanie a pomáha udržiavať optimálnu hmotnosť zvierat.

Práca na projekte nás obohatila nielen o technické zručnosti, ale aj o schopnosť riešiť problémy, pracovať v tíme a efektívne využívať dostupné zdroje informácií. Vývoj inteligentných zariadení pre domácich miláčikov má veľký potenciál a náš projekt je dôkazom toho, že s dostatočným úsilím a kreativitou možno navrhnuť funkčné a užitočné riešenie.

5 Literatúra

BINDER, Róbert. 1987. Základy automatického riadenia. Bratislava : Alfa. 301 s.

CANDRÁKOVÁ, Eva et al. 2015. Pestovanie poľných plodín vo vyváženom osevnom postupe. Nitra : Slovenská poľnohospodárska univerzita. 145 s. ISBN 978-80-552-1352-1.

TKOTZ, Klaus et al. 2006. Příručka pro elektrotechnika. Praha : EurOpa-Sobotáles. 624 s. ISBN 80-86706-13-3.

Sonoff Basic - Inteligentný WiFi spínač. 2025. In sonoff.sk [online]. 2018 [cit. 2025-17-03]. Dostupné na: <<http://www.sonoff.sk/kategoria/inteligentne-ovladace-a-spinace/sonoff-basic-inteligentny-wifi-spinac/?srltid=AfmBOoq-GYZNVtKN8a2KMb0J0fdNKYc5QfYApnVyOGCKF3fgzQbFCy8>>

3D tiskárna Original Prusa MK4S.2025.In prusa3d.sk [online]. 2025 [cit. 2025-17-03]. Dostupné na: <[http: https://www.prusa3d.com/cs/produkt/3d-tiskarna-original-prusa-mk4s-5/](http://https://www.prusa3d.com/cs/produkt/3d-tiskarna-original-prusa-mk4s-5/)>

Súhrn

Chovatelia domácich zvierat čoraz častejšie vyhľadávajú riešenia na kŕmenie a napájanie svojich miláčikov počas ich neprítomnosti či zaneprázdnenosti a zároveň kontrolu nad ich stravovacími návykmi. Rozhodli sme sa navrhnuť krmidlo pre psy s automatickým dávkovaním podľa potreby s prihliadnutím na váhu, požadovaný čas kŕmenia a signalizáciu doplnenia krmiva. Najskôr sme zhromaždili potrebné komponenty ako napríklad dávkovač jedla a vody, časovač, zvonček, elektrické vodiče... Potom sme navrhli schému zapojenia elektrokomponentov. Vyskytli sa aj drobné technické problémy, ktoré ovplyvňovali fungovanie. Bábateľská stránka po hľadaní riešenia tohto problému nás veľmi bavila. Ďalej sme realizovali samotné zapojenie a testovanie funkčnosti. Vďaka práci na tomto projekte sme si prehĺbili praktické a teoretické vedomosti z oblasti základov elektrotechniky. Prínos inteligentných misiek a krmidiel možno považovať za zjednodušenie starostlivosti o zvieratá. Taktiež významná je ich praktická stránka. Poskytujú viaceré benefity, automatický dávkovač krmiva reguluje množstvo podávaného krmiva, pomáha udržiavať optimálnu hmotnosť domáceho maznáčika, a majitelia nemusia byť fyzicky prítomní pri každom kŕmení.

Kľúčové slová: 3D tlačiareň, automatické krmidlo, inteligentné misky

Podakovanie patrí pánovi majstrovi Ľudovítovi Földesovi za odborné rady a pomoc s praktickou realizáciou projektu a pani učiteľke Anne Hudecovej za pomoc s teoretickou časťou práce.

VYBRANÉ REOLOGICKÉ VLASTNOSTI PREVODOVÝCH OLEJOV TRAKTOROV V ZÁVISLOSTI OD TEPLoty

SELECTED RHEOLOGICAL PROPERTIES OF TRANSMISSION OILS FOR TRACTORS DEPENDING ON TEMPERATURE

KRISTÓF CSÓKÁS – PETER HLAVÁČ

Abstarct

The aim of the work was to compare the density, dynamic and kinematic viscosity of tractor transmission oils. We provided one type of transmission oil, one new and one used transmission oil. During the measurement, we used the following instruments: Mettler Toledo DM40 density meter; Brookfield DV2T viscometer; Julabo CORIO CD-200F auxiliary sample heater. After the measurement, we created tables and graphical dependences on temperature from the values. When measuring the density, we got identical values except for minor deviations. We measured the density from 0 °C to 90 °C. When measuring the dynamic viscosity, we got an 18% difference between the used and new sample. The decrease in dynamic viscosity could be caused by fluid fatigue, since the machine had worked more than 1000 mth.

Key words: density, viscosity, transmission oil, temperature

1 Úvod

Pre všetky typy traktorov je mimoriadne dôležitá kvalita maziva, čo zabezpečuje správny a bezporuchový chod prevodovky. To je obzvlášť dôležité, pretože väčšina výrobcov traktorov používa olej z rovnakej nádrže pre prevodový a pre hydraulický systém. Môže byť vážnejší problém, ak stroje ťahané traktorom sú naplnené iným typom oleja, ako olej používaný v prevodovke traktora, pretože môže dôjsť k ich premiešaniu. Pri zmiešaní olejov rôznej kvality sa postupne zhoršuje viskozita, obsah aditív a mazacie vlastnosti prevodového oleja z traktora, čo ohrozuje jeho prevádzku. Ak sa vynechá aj povinná výmena oleja, účinnosť oleja bude minimálna, čo môže v konečnom dôsledku spôsobiť poruchu prevodovky. Aby sme tomu zabránili, je potrebné minimalizovať možnosť premiešania oleja, ak je možnosť, tak treba používať podobný typ oleja aj v prevodovke aj v hydraulickej časti ťahaných strojov. Tým môžeme zvýšiť životnosť prevodovky, ale vždy je potrebné ponechať vykonanie povinných servisných prác na profesionálnych odborníkov (Axiál, 2025).

Jednou z najdrahších hlavných častí poľnohospodárskeho traktora je prevodovka, cena ktorej môže dosiahnuť (20 – 30) % hodnoty celého stroja. Nové konštrukcie prevodoviek zaisťujú nielen jazdný komfort, ale podporujú aj úsporu paliva (Varga, 2021).

Úlohy prevodovky sú: prenos výkonu; spájať motor s rozvodovkou; prenášať a v prípade potreby zvýšiť krútiaci moment motora; v závislosti od pracovných podmienok meniť rýchlosť traktora a pracovného náradia. Systém prenosu výkonu poháňa aj náradie pripojené k traktoru prostredníctvom prídavných zariadení (napr. hydraulické zdvíhacie zariadenie) a takzvaného vývodového hriadeľa (PTO – Power take-off). Prevodovka musí spĺňať mnohé

požiadavky a v mnohých prípadoch je kompaktné integrovaná s ostatnými konštrukčnými jednotkami zariadenia na prenos výkonu (Agrárágazat, 2013a).

V 60. rokoch sa objavili konštrukcie s viacerými rýchlostnými skupinami (off-road/road), ktoré sa líšili od najjednoduchších, najpopulárnejších tradičných prevodov tej doby. Skutočný prelom nastal koncom 60. a začiatkom 70. rokov, keď prišla éra prevodoviek s radením pod zaťažením (powershift). Tento typ prevodoviek je dodnes populárny. Ďalším významným míľnikom bol vznik dvojspojkových konštrukcií v 80. rokoch. Koncom 90. rokov a začiatkom 21. storočia nastala skutočná zmena: objavili sa bezstupňové prevodovky (Söjtöri, 2023).

Poľnohospodárska technika musí fungovať spoľahlivo aj pri veľkom zaťažení a jeden deň odstávky môže spôsobiť veľké škody v efektívnosti. Na to, aby poľnohospodárska technika fungovala bez prerušenia, v jej účinnosti zohrávajú mazivá významnú úlohu. Preto je veľmi dôležité zachovávať správny stav stroja a vykonávať jeho pravidelnú údržbu. Správne zvolené mazivá a správne hospodárenie s mazivami má významný vplyv na spoľahlivosť a na prevádzkové náklady. Prevodové oleje slúžia ako účinné mazivo medzi všetkými pohyblivými časťami v rámci prevodového systému, čím sa zaisťuje, že jednotlivé prevody vždy zaberajú a hladko sa otáčajú. Spoľahlivosť je závislá aj od typu prevodovky, od príslušných prevádzkových podmienok, preto prevodový olej musí mať čo najlepšie fyzikálne vlastnosti, aby dostatočne chránil a mazal prevodovku (Lisa, 2022).

Vybrať správny prevodový olej pre daný poľnohospodársky stroj, traktor, či kombajn nie je jednoduché, pretože pri výbere treba brať do úvahy viacero aspektov. Je potrebné skontrolovať, aký olej výrobcovia odporúčajú pre daný stroj. Pri prevádzkovaní traktora môžu nastať aj niektoré z nasledovných negatívnych možností: daný olej už neexistuje; nechceme ho použiť z dôvodu nespokojnosti; výrobca neodporúča daný olej pre poľnohospodársky stroj, pričom v tomto prípade výrobca poskytne fyzikálne údaje. V rozhodovaní pri výbere oleja nám pomôže, že prakticky každý traktorový alebo strojový olej má svoje vlastné meracie čísla (Favorit, 2022). Najčastejšie sú oleje charakterizované ich viskozitou, alebo je ich možné rozdeliť podľa výkonnostnej úrovne.

Viskozita je jednou z najdôležitejších vlastností motorových a prevodových olejov, pretože ovplyvňuje ich schopnosť premazávať a chrániť pohyblivé časti motora a prevodovky. Viskozita je miera odporu tekutiny proti deformácii pri toku alebo zmene tvaru pod vplyvom vonkajších síl. Zjednodušene povedané, viskozita určuje, ako "hustý" alebo "tekutý" je olej (Q-PARTS, 2023).

Hrúbka vrstvy prevodového oleja a iných kvapalín súvisí s jeho viskozitou. Aj keď existuje mnoho rôznych delení viskozity, štandardnou možnosťou pre prevodový olej a mnohé iné oleje je klasifikácia stanovená Spoločnosťou automobilových inžinierov (SAE – Society of Automotive Engineers). Čím vyššie je číslo triedy SAE, tým viskóznejší bude prevodový olej. Viskozita je ovplyvnená teplotou. Hodnoty kinematickej viskozity olejov uvedené na výrobných listoch produktu sa merajú pri teplotách oleja 40 °C alebo 100 °C, v závislosti od typu oleja. Zohriaty olej sa stáva oveľa menej viskóznym, kdežto pri jeho ochladzovaní sa viskozita zvyšuje (Lisa, 2022).

V roku 1926 táto spoločnosť (SAE) prvýkrát vyvinula viskozitné skupiny prevodových olejov spolu s motorovými olejmi a po niekoľkých úpravách je v súčasnosti v platnosti predpis SAE J 306 (Agrárágazat, 2013b).

Na klasifikáciu prevodových olejov podľa výkonnostnej úrovne bolo vyvinutých niekoľko systémov, ale systém klasifikácie API (American Petroleum Institute) je medzinárodne najpoužívanejší pre dopravné a poľnohospodárske vozidlá (Varga, 2017).

Rozlišujeme 6 rôznych API označení:

- a) API GL-1 - Prevodové pohony s ručným prepínaním a nehypoidnými zubami, nenáročné na prevádzku. Bez prísad. Na Obr. 2 je príklad hypoidného prevodu.
- b) API GL-2 - Prevodové pohony s ručným prepínaním a nehypoidnými zubami, prísnejšie prevádzkové podmienky ako GL-1. Obsahuje prísady proti opotrebovaniu.
- c) API GL-3 - Manuálne prevodovky a nehypoidné prevody, náročné prevádzkové podmienky. Mazací olej s miernym EP (extreme pressure) účinkom.
- d) API GL-4 - Hypoidné ozubené prevody s nízkym ťahom hriadeľa pre vysoké otáčky a nízke zaťaženie a nízke otáčky a vysoké zaťaženie. Mazací olej s EP efektom.
- e) API GL-5 - Hypoidné prevodovky so stredným ťahom hriadeľa, vysokými otáčkami a nízkym zaťažením, ako aj nízkymi otáčkami a vysokým zaťažením a pre nekritické spojkové pohony pri rázovom zaťažení. Mazací olej s vysokým efektom EP.
- f) API GL-6 - Hypoidné prevody s veľmi veľkým presadením hriadeľa, pre kritické spínacie pohony v prípadoch veľmi vysokého zaťaženia. Mazací olej s veľmi vysokým efektom EP (Agrárágazat, 2013b).

2 Materiály a metódy

Charakteristika meraných vzoriek

Na vykonanie meraní viskozity a hustoty sme museli zaobstarávať vzorky z olejov, ktorý sú určené pre prevodové ústrojenstvá traktorov. V tomto prípade to budú dve vzorky, z toho jeden nový a jeden použitý olej, z mechanickej stupňovej prevodovky s násobičom krútiaceho momenta (s čiastkovým riadením pod zaťažením, bez vypnutia spojky). V tomto prípade budeme porovnávať vybrané reologické vlastnosti použitého a nového oleja.

Orlen Transol CLP 220

Priemyselné prevodové oleje vyrábané zo selektívne rafinovaných minerálnych olejov a balíčka prísad typu EP – Extreme Pressure. Oleje určené pre vysoko namáhané mechanické prevodovky priemyselných zariadení pracujúcich pri teplotách do 120 °C. Oleje Transol CLP 220 je určený na mazanie vysoko zaťažených priemyselných prevodoviek, ktoré často prenášajú rázové zaťaženie, ako napr. valcovacie stolice v železiarňach, stavebné stroje, cementárske stroje, výtahy a prepravné zariadenia v lodnom priemysle, obrábacie stroje, prevodovky parných, plynových papierenskej stroje a ďalšie zariadenia pracujúce pri teplotách do 120 °C, vyžadujúce oleje so zvýšenou únosnosťou mazacieho filmu. Olej Transol CLP 220 sa môže používať aj pri vystavení ozubených kolies agresívnym vplyvom prostredia (voda, para, korozívne plyny) a rôznym teplotám okolia (žeriavy, zdvíhacie navijaky atď.) (Be-ma, 2025).

Tab. 1 Vlastnosti oleja Orlen Transol CLP 220

Tab. 1 Properties of Orlen Transol CLP 220 oil

Vlastnosť	Hodnota
Hustota pri 15 °C	897,9 kg/m ³
Kinematická viskozita pri 40 °C	221,9 mm ² /s
Viskozitný index	95
Bod tekutosti	- 24 °C
Bod vzplanutia	263 °C

Charakteristika použitých prístrojov

Meranie uskutočníme v laboratóriách v priestoroch výskumného centra Agrobiotech Slovenskej poľnohospodárskej univerzity v Nitre. Meranie hustoty aj dynamickej viskozity uskutočníme dvakrát, pričom zo získaných hodnôt vypočítame priemernú hodnotu, ktorú uvedieme v práci. Hustotu budeme merať hustomerom od 0 °C do 90 °C a dynamickú viskozitu

na rotačnom viskozimetri v intervale od 5 °C do 90 °C. Hodnoty budeme 29 odčítavať po 5 °C, čiže 5°C, 10 °C, 15°C, atď.

Hustomer Mettler Toledo DM40

Hustomer Mettler Toledo DM40 sa ľahko používa a má vysokú úroveň presnosti a spoľahlivosti. Vyznačuje sa rýchlymi meraniami vrátane jedinečnej koncepcie metódy/produktu s automatickou detekciou chýb a automatickým overovaním nastavenia.

Hustomer ponúka extrémne rýchle zahrievanie a ochladzovanie s reguláciou teploty a poskytuje spoľahlivé výsledky ešte pred dosiahnutím teplotnej rovnováhy. Zabudovaný algoritmus skracuje čas potrebný na meranie o 75 % a zároveň deteguje nehomogénne naplnenie meracej bunky (Cole-Parmer, 2023).

Viskozimeter Brookfield DV2T

Meranie dynamickej viskozity vzoriek uskutočníme pomocou rotačného viskozimetra Brookfield DV2T. Zariadenie má displej, ktorý sa ovláda dotykom. Na displeji zariadenie sú uvedené aktuálne merané a nastavené hodnoty. Z týchto hodnôt budú pre nás dôležité: krútiaci moment pri meracej sonde, otáčky sondy, aktuálna teplota a aktuálna dynamická viskozita danej vzorky. Základné časti zariadenia sú: držiaca konštrukcia, displej, meracia sonda valcového tvaru, držiak meracej tuby (Brookfield engineering, 2023).

Pomocné zariadenie na zahrievanie vzoriek Julabo CORIO CD-200F

Pomocné zariadenie Julabo CORIO CD-200F používame na zahrievanie a chladenie vzoriek takým spôsobom, že do zariadenia sa nalieva destilovaná voda. Stroj Julabo CORIO CD-200F zahrieva alebo chladí destilovanú vodu na požadovanú teplotu za stáleho miešania. Miešanie je uskutočnené s cirkuláciou tak, že destilovaná voda je privedená pomocou hadičiek do a z viskozimetra. Takto destilovaná voda zahrieva alebo chladí aj našu vzorku. Do zariadenia sú potrebné približne 4 litre destilovanej vody (Julabo, 2023).

Regresné rovnice

Závislosť hustoty od teploty vieme vyjadriť pomocou nasledovnej rovnice:

$$\rho = -A \left(\frac{t}{t_0} \right)^2 - B \left(\frac{t}{t_0} \right) + C \quad (1)$$

Kde: ρ – hustota [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]; A, B, C – koeficienty regresnej rovnice [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$];
t – teplota [$^{\circ}\text{C}$]; t_0 – 1 °C.

Where: ρ – density [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]; A, B, C – coefficients of regression equation [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$];
t – temperature [$^{\circ}\text{C}$]; t_0 – 1 °C (Bureš, 2002).

Teplotnú závislosť dynamickej viskozity môžeme popísať pomocou rovnice:

$$\eta = D e^{-E \left(\frac{t}{t_0} \right)} \quad (2)$$

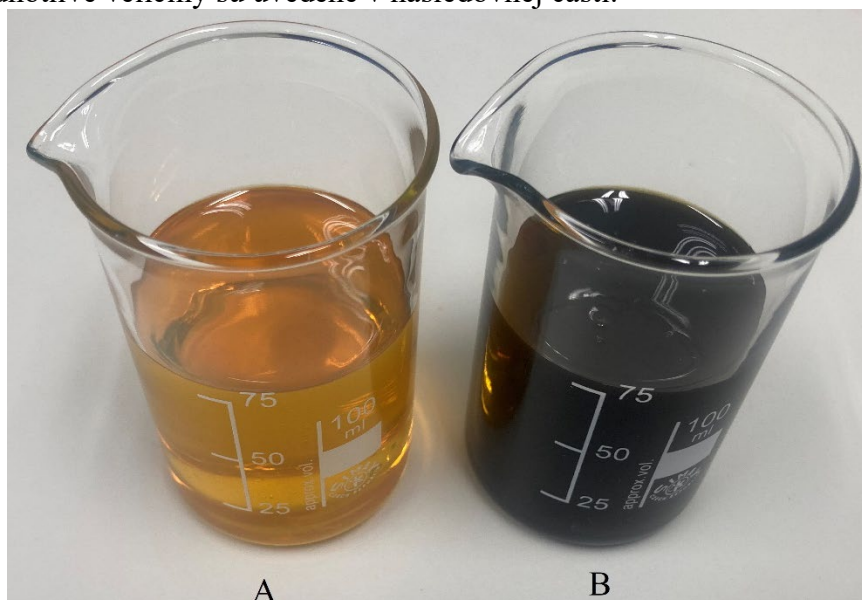
Kde: η – dynamická viskozita [$\text{mPa} \cdot \text{s}$];
D, E – koeficienty regresnej rovnice [D – $\text{mPa} \cdot \text{s}$; E – 1].

Where: η – dynamic viscosity [$\text{mPa} \cdot \text{s}$];
D, E – coefficients of regression equation [D – $\text{mPa} \cdot \text{s}$; E – 1] (Hlaváč et al., 2019).

3 Výsledky a diskusia

Vo výsledkovej časti práce sme uviedli výsledky meraní vykonaných aj pri použitých aj pri nových prevodových olejoch. Použitý prevodový olej bolo z traktora Zetor 16245 s mechanickou stupňovou prevodovkou s násobičom krútiaceho momentu (s čiastkovým riadením pod zaťažením, bez vypnutia spojky). Meraním sme zisťovali hodnoty dynamickej

viskozity a hustoty vzoriek v závislosti od teploty, v približnom teplotnom rozsahu (0 – 90) °C. Výsledky pre jednotlivé veličiny sú uvedené v nasledovnej časti.



Obr. 1 Merané vzorky; A – Orlen Transol CLP 220 nový; B - Orlen Transol CLP 220 použitý
Fig. 1 Measured samples; A – Orlen Transol CLP 220 new; B - Orlen Transol CLP 220 used

Meranie hustoty

V tejto časti sme uviedli a porovnali namerané hodnoty hustoty vzoriek nového a aj použitého prevodového oleja. V Tab. 2 sú uvedené namerané a vypočítané hodnoty.

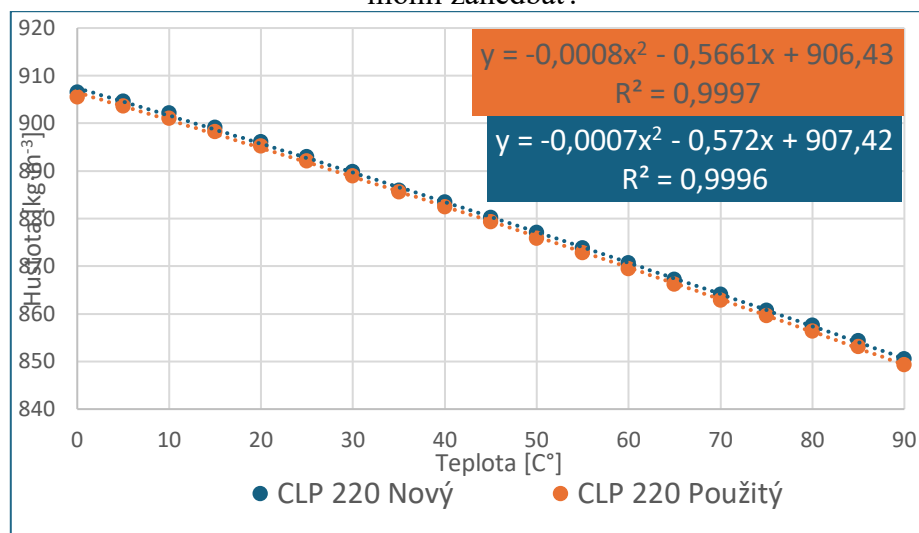
Tab. 2 Namerané a vypočítané hodnoty hustoty pri prevodových olejoch

Fig. 2 Measured and calculated density values for transmission oil

Teplota [°C]	Hustota [kg·m ⁻³]					
	Nový			Použitý		
	pod	nad	priemer	pod	nad	priemer
0	906,2	906,8	906,5	905,2	905,9	905,55
5	904,7	904,6	904,65			903,58
10	902,2	902,1	902,15	901,2	901	901,1
15	899,2	899	899,1	898,3	898,1	898,2
20	896,2	896,1	896,15	895,3	895,1	895,2
25	893	892,9	892,95	892,2	892	892,1
30	889,9	889,7	889,8	889	888,8	888,9
35	886	885,9	885,95	885,7	885,5	885,6
40	883,6	883,4	883,5	882,6	882,4	882,5
45	880,3	880,1	880,2	879,4	879,2	879,3
50	877,1	877	877,05	876	875,8	875,9
55	873,9	873,8	873,85	872,9	872,8	872,85
60	870,7	870,6	870,65	869,5	869,4	869,45
65	867,3	867,2	867,25	866,3	866,2	866,25
70	864,1	864	864,05	862,9	862,8	862,85
75	860,8	860,7	860,75	859,6	859,6	859,6
80	857,6	857,5	857,55	856,4	856,3	856,35

85	854,3	854,3	854,3	853,2	853,1	853,15
90	850,5	850,5	850,5	849,3	849,3	849,3

Výrobca udáva hodnotu hustoty pre nový prevodový olej pri teplote 15 °C, čo je 897,9 kg·m⁻³. Z Tab. 2 nám vyplýva, že údaj ktorý sme merali je väčšie o 1,2 kg·m⁻³, čo by sme mohli zanedbať.



Obr. 2 Grafická závislosť hustoty od teploty nového a použitého prevodového oleja Orlen Transol CLP 220

Fig. 2 Graphic dependence of density on temperature of new and used transmission oil Orlen Transol CLP 220

Z nameraných hodnôt nám vyplýva aj to, že použitý prevodový olej má nižšiu hustotu ako nový prevodový olej. Tento rozdiel je 0,9 kg·m⁻³. Tento zaujímavý rozdiel mohlo byť spôsobené tým, že použitý olej je z roku 2020, čiže neboli naraz vyrobené. Aj pri výrobe oleja sú maličké odchýlky, pretože aj základná ropa nie je vždy homogénna. Na Obr. 2 je znázornený závislosť oleja od teploty v intervale (0 – 90) °C. V Tab. 3 sú uvedené koeficienty regresných rovníc pre výpočet hustoty.

Tab. 3 Koeficienty regresných rovníc pre hustotu

Fig. 3 Coefficients of regression equations for density

Prevodový olej	Stav	A [kg·m ⁻³]	B [kg·m ⁻³]	C [kg·m ⁻³]	R ²
Orlen Transol CLP 220	Nový	0,0007	0,5661	906,43	0,9996
Orlen Transol CLP 220	Použitý	0,0008	0,572	907,42	0,9997

Dynamická viskozita

V tejto časti sme uviedli a porovnali namerané hodnoty dynamickej viskozity vzoriek nového a aj použitého prevodového oleja. V Tab. 4 sú uvedené namerané a vypočítané hodnoty.

Tab. 5 Koeficienty regresných rovníc pre dynamickú viskozitu

Fig. 5 Coefficients of regression equations for dynamic viscosity

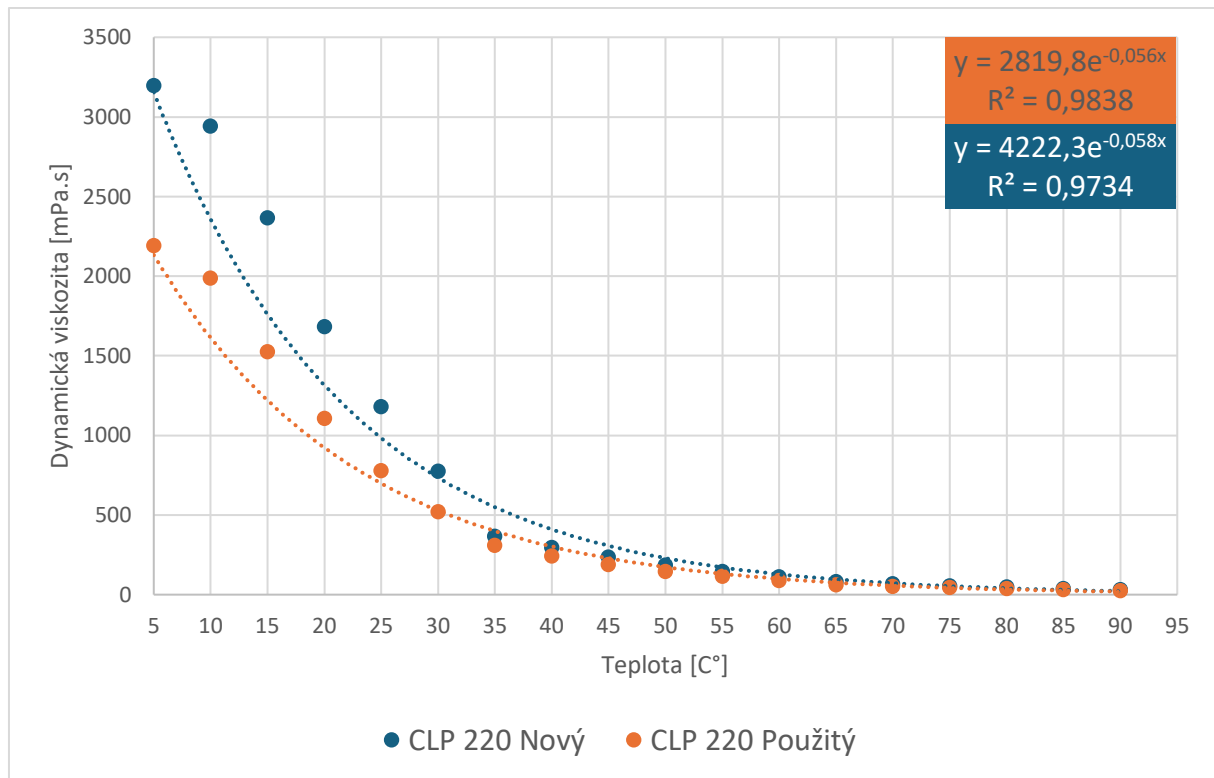
Prevodový olej	Stav	D [mPa·s]	E [-]	R ²
Orlen Transol CLP 220	Nový	4222,3	0,058	0,9734
Orlen Transol CLP 220	Použitý	2819,8	0,056	0,9838

Z Tab. 4 nám vyplýva, že dynamická viskozita použitého oleja je omnoho nižšia v celom teplotnom intervale. Pri teplote 40 °C dynamická viskozita použitého oleja je nižšia o 53,7 mPa·s, čo je pokles dynamickej viskozity približne o 18 %. Pri teplote 90 °C (čo je už prevádzková teplota) dynamická viskozita použitého oleja je nižšia o 5,555 mPa·s, v tomto prípade pokles je trochu menší, je okolo 17,7 %. Z Tab. 4 a z Obr. 3 sme dozvedeli, že tento

olej už je potrebné vymeniť v prevodovke, aby sa nedochádzalo k poškodeniu celého ústrojenstva. V Tab. 5 sú uvedené koeficienty regresných rovníc pre výpočet dynamickej viskozity.

Tab. 4 Namerané a vypočítané hodnoty dynamickej viskozity pri prevodových olejoch
Fig. 4 Measured and calculated dynamic viscosity values for transmission oil

Teplota [°C]	Dynamická viskozita [mPa·s]					
	Nový			Použitý		
	pod	nad	priemer	pod	nad	priemer
5	3198	3192	3195	2193	2190	2191,5
10	2946	2940	2943	1989	1983	1986
15	2370	2358	2364	1530	1518	1524
20	1692	1674	1683	1110	1104	1107
25	1182	1176	1179	780	774	777
30	780	768	774	522	516	519
35	366	364,2	365,1	309,6	307,8	308,7
40	295,8	294	294,9	241,8	240,6	241,2
45	234,6	233,4	234	189,6	188,4	189
50	183,6	183	183,3	145,2	144,6	144,9
55	144	142,8	143,4	114,6	114	114,3
60	111,6	110,4	111	88,2	87,6	87,9
65	80,5	80,2	80,35	60,77	60,6	60,685
70	66,8	66,8	66,8	52,26	51,09	51,675
75	55,7	55,2	55,45	43,11	43,03	43,07
80	46,2	46,1	46,15	36,26	36,17	36,215
85	38,7	38,6	38,65	30,86	30,86	30,86
90	31,5	31,3	31,4	25,89	25,8	25,845



Obr. 3 Grafická závislosť dynamickej viskozity od teploty nového a použitého prevodového oleja Orlen Transol CLP 220

Fig. 3 Graphical dependence of dynamic viscosity on temperature of new and used Orlen Transol CLP 220 transmission oil

Kinematická viskozita

Keďže pri meraní sme vedeli určiť len dynamicnú viskozitu prevodových olejov, museli sme kinematickú viskozitu vypočítať. Kinematická viskozita bola potrebná kvôli tomu, že všetci výrobcovia olejov v karte bezpečnostných údajov udávajú práve hodnotu kinematickej viskozity.

Tab. 6 Vypočítané hodnoty kinematickej viskozity pri prevodových olejoch

Fig. 3 Calculated kinematic viscosity values for transmission oil

Teplota [°C]	Kinematická viskozita [mm ² .s ⁻¹]	
	Nový	Použitý
5	3531,75	2425,35
10	3262,21	2203,97
15	2629,30	1696,73
20	1878,03	1236,60
25	1320,34	870,98
30	869,86	583,87
35	412,10	348,58
40	333,79	273,31
45	265,85	214,94
50	209,00	165,43
55	164,10	130,95
60	127,49	101,10

Po porovnaní vypočítaných hodnôt (z Tab. 6) s hodnotou, ktorú udáva výrobca sme zaznamenali väčší rozdiel. Nameraná hodnota pri teplote 40 °C nového oleja je 333,79 mm²·s⁻¹ ale hodnota ktorú udávala výrobca je 221,9 mm²·s⁻¹

4 Záver

V rámci článku sme sa zaoberali s prevodovými olejmi. V prvej časti sme definovali prevodový olej, ako sa delia prevodové oleje a prečo sa prečo sa tak delia. Dozvedeli sme, že prevodovka je jeden z najdrahších častí traktorov. Vymenovali sme, že čo potrebuje prevodovka na správne fungovanie. K praktickej časti práce sme potrebovali prevodový olej, jeden nový a jeden použitý. Tento nový olej bol Orlen Transol CLP 220 a použitý ten istý typ zo traktora Zetor 16245 s mechanickou stupňovou prevodovkou s násobičom krútiaceho momentu (s čiastkovým riadením pod zaťažením, bez vypnutia spojky). V procese merania sme merali hustotu prevodových olejov v teplotnom intervale (0 – 90) °C, kde sme používali hustomer Mettler Toledo DM40. Pri meraní hustoty podobný typ závislosti zaznamenal aj autor (Bureš, 2002). Pre meranie dynamickej viskozity sme používali viskozimeter Brookfield DV2T s pomocným zariadením na zohrievanie vzoriek Julabo CORIO CD-200F. Meranie dynamickej viskozity sme uskutočnili v teplotnom intervale (5 – 90) °C. Pri meraní dynamickej viskozity podobný typ závislosti zaznamenali aj autori (Hlaváč et al., 2019). Cieľom bolo potvrdiť, že prevodový olej už je potrebné vymeniť aby sa chránila prevodové ústrojenstvo traktora.

5 Literatúra

- AGRÁRÁGAZAT. 2013a. Korszerű traktor-erőátviteli berendezések. Online. Dostupné na: <https://agraragazat.hu/hir/korszeru-traktor-eroatviteli-berendezesek/> [zobrazené 2025-03-17].
- AGRÁRÁGAZAT. 2013b. Hajtóműolajok jelölése és alkalmazása. Online. Dostupné na: <https://agraragazat.hu/hir/hajtomuolajok-jelolese-es-alkalmazasa/> [zobrazené 2025-03-17].
- AXIÁL. 2025. Landini traktorok hajtóművének megóvása. Online. Dostupné na: <https://www.axial.hu/landini-traktorok-hajtomuvenek-megovasa> [zobrazené 2025-03-17].
- BE-MA. 2025. Orlen Transol CLP 220. Online. Dostupné na: <https://www.naauto.sk/p/27297/orlen-transol-clp-220?srsId=AfmBOorYryBhbx3bFnkH81dR8yoJdpYYRyG5JMVprVepQceEDYLVWXRQ> [zobrazené 2025-03-23].
- BROOKFIELD ENGINEERING. 2023. Gel Timer DV2T Instrument. Online. Dostupné na: <https://www.brookfieldengineering.com/contactus/about-us> [zobrazené 2025-03-20].
- BUREŠ, Jiří. 2002. Závislost hustoty destilované vody na teplotě. Online. Dostupné na: <http://www.converter.cz/tabulky/hustota-vody.htm> [zobrazené 2025-03-23].
- COLE-PARMER. 2023. Mettler Toledo DM40 LiquiPhysics Excellence Density Meter. Online. Vernon Hills. Dostupné na: <https://www.coleparmer.com/contact-us> [zobrazené 2025-03-21]
- FAVORIT. 2022. Favorit. Online. Publikované 2022-01-21. Dostupné na: https://www.favorit.hu/blog-olvas/ilyen-olajat-tolts-a-traktorodba?srsId=AfmBOoU9t99KX3ujzs_7gStF2Wr4I0TfVT281VoI3fFT4U918emBr5y [zobrazené 2025-03-23].

HLAVÁČ, Peter – BOŽIKOVÁ, Monika – PETROVIĆ, Ana. 2019. Selected Physical Properties Assessment of Sunflower and Olive Oils. In *Acta Technologica Agriculturae*, Vol. 22, No. 3, s. 86 – 91, ISSN 1335-2555.

JULABO. 2023. Corio CD-200F. Online. Dostupné na: <https://julabo.us/product/corio-cd-200f/> [zobrazené 2025-03-22].

LISA. 2022. Oil-store. Online. Publikované 2022-03-29. Dostupné na: <https://www.oil-store.co.uk/blog/understanding-gear-oils-and-weight-classification/> [zobrazené 2025-03-23].

Q-PARTS. 2023. Ako správne porozumieť údajom o viskozite motorového a prevodového oleja ? Čo znamenajú údaje na obale ? Online. Dostupné na: <https://q-parts.sk/garaz/blog/ako-spravne-porozumiet-udajom-o-viskozite-motoroveho-a-prevodoveho-oleja-co-znamenaju-udaje-na-obale> [zobrazené 2025-03-23].

SÖJTÖRI, Andor. 2023. Traktor-sebességváltók: a mechanikus váltóktól a fokozat nélküli hajtóművekig. *Gépmax*. Online. Vol. 23, no. 2. Dostupné na: <https://gepmax.hu/hir/gep-traktor-sebessegvaltok-mezogazdasag/> [dátum citovania 2025-03-17].

VARGA, Vilmos. 2021. A traktor-sebességváltók újabb kialakítása. *Agrárágazat*. Online. Vol. 21, no. 3. Dostupné na: <https://agraragazat.hu/hir/traktor-sebessegvaltok-kialakitasa-es-tipusai-mezogazdasag/> [dátum citovania 2025-03-17].

VARGA, Vilmos. 2017. Mezőgazdasági gépek kenőanyagai. *Agrárágazat*. Online. Publikované: 2017-09-19. Dostupné na: <https://agraragazat.hu/hir/mezogazdasagi-gepek-kenoanyagai/> [zobrazené 2025-03-23].

Súhrn

Cieľom práce bolo porovnávať hustotu, dynamickú a kinematickú viskozitu prevodových olejov traktorov. Zabezpečili sme jeden druh prevodového oleja, z toho jeden nový a jeden použitý prevodový olej. Pri meraní sme používali prístroje ako: hustomer Mettler Toledo DM40; viskozimeter Brookfield DV2T; pomocný zohrievač vzoriek Julabo CORIO CD-200F. Po meraní sme z hodnôt vytvorili tabuľky a grafické závislosti od teploty. Pri meraní hustoty sme dostali totožné hodnoty okrem malinkých odchýlok. Hustotu sme merali od 0 °C do 90 °C. Pri meraní dynamickej viskozity sme dostali 18 % rozdiel medzi použitej a novej vzorke. Pokles dynamickej viskozity mohlo byť spôsobené únavou kvapaliny, keďže stroj odpracoval viac ako 1000 mth.

Kľúčové slová: hustota, viskozita, prevodový olej, teplota

Pod'akovanie: Táto publikácia bola podporená Kultúrnou a edukačnou grantovou agentúrou Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR v rámci projektu KEGA 020SPU-4/2023: Implementácia virtualizácie fyzikálnych laboratórií pomocou riadiacich a automatizačných systémov v odbore Strojárstvo. Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Dopytovo-orientovaný výskum pre udržateľné a inovatívne potraviny, Drive4SIFood 313011V336, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

LABORATÓRNE SKÚŠKY UNIVERZÁLNEJ EKOLOGICKEJ KVAPALINY

LABORATORY TESTS OF UNIVERSAL ECOLOGICAL FLUID

SAMUEL DANIS – JÁN KOSIBA – MARTIN EŠŠE

Abstract

The aim of this thesis was to experimentally verify the properties of the ecological hydraulic fluid MOL Biohyd 46 from Slovnaft and to compare its flow characteristics through a hydraulic gear pump under different operating conditions. The testing was carried out on the laboratory concurrent testing equipment of the Technical Faculty of SPU in Nitra, while the development of flow rate and flow efficiency as a function of rpm was monitored in the time range of 50 hours. The results showed that the investigated environmental fluid maintained stable properties under the testing conditions, while the decrease in flow efficiency did not exceed the expected values. It was found that the largest decrease in efficiency was observed at the lowest rpm, which may be due to the change in the hydrodynamic properties of the fluid.

Key words: hydraulic fluid, ecological fluid, hydraulic gear pump, flow efficiency, laboratory testing.

1 Úvod

V súčasnej dobe, keď sa globálna pozornosť čoraz viac zameriava na trvalo udržateľný rozvoj a ochranu životného prostredia, narastá tlak na všetky odvetvia priemyslu vrátane hydraulických systémov, aby prešli na ekologickejšie alternatívy. Ekologické kvapaliny, často označované aj ako biologicky rozložiteľné (z anglického slova biodegradable), predstavujú významnú súčasť tohto úsilia, najmä v oblastiach, kde môže dochádzať k úniku a kontaminácii životného prostredia, ako napríklad v poľnohospodárstve, stavebníctve alebo dopravnom sektore.

Hydraulické kvapaliny sú kľúčovým prvkom hydraulických systémov, ktoré sú neoddeliteľnou súčasťou mnohých strojov a zariadení. Tieto systémy umožňujú prenos energie a výkonu medzi jednotlivými komponentmi, pričom kvalita a vlastnosti použitej kvapaliny zásadne ovplyvňujú efektívnosť, spoľahlivosť a životnosť systému. V tradičných hydraulických kvapalinách sa však často používajú petrochemické zložky, ktoré sú škodlivé pre životné prostredie. Preto sa ekologické kvapaliny stávajú čoraz dôležitejšou alternatívou, pretože majú schopnosť biologickej rozložiteľnosti a nižší environmentálny dopad v prípade úniku.

Vývoj a testovanie ekologických hydraulických kvapalín predstavuje významný výskumný trend, pretože ekologické alternatívy musia preukázať svoju schopnosť nahradiť tradičné kvapaliny bez kompromisu v technických parametroch, ako sú viskozita, prietoková účinnosť, odolnosť voči opotrebeniu, mazacie schopnosti a iné. Napríklad v rámci štandardizovaných testov, ako sú Vickers Pump testy alebo podobné skúšky hydrogenerátorov, sa sleduje degradácia kvapaliny počas prevádzky v extrémnych podmienkach vrátane vysokých tlakov a teplôt. Tieto testy poskytujú cenné informácie o tom, ako kvapalina reaguje na záťaž a či si udržiava svoje vlastnosti počas dlhodobého používania.

Táto diplomová práca sa zaoberá laboratórnymi testami ekologickej hydraulikkej kvapaliny od spoločnosti Slovnaft, ktorá je navrhnutá ako univerzálna ekologická náhrada pre tradičné hydraulické kvapaliny. Testovanie bude prebiehať na základe skúšok prietokovej účinnosti pomocou zubového hydrogenerátora, čo predstavuje simuláciu reálnych prevádzkových podmienok, v ktorých sa hydraulické kvapaliny bežne používajú.

Táto práca má potenciál prispieť k hľadaniu udržateľných riešení v oblasti hydraulických systémov a poskytne užitočné dáta pre ďalšie zlepšovanie ekologických kvapalín, čím napomôže prechodu k ekologickejšej a udržateľnejšej technológii.

2 Materiál a metódy

Táto kapitola poskytuje podrobný popis použitých zariadení, skúšobných metód a spôsobu vyhodnotenia výsledkov v rámci laboratórných skúšok univerzálnej ekologickej hydraulikkej kvapaliny.

2.1 Použité zariadenia a prístroje

Na realizáciu experimentálnych testov bolo využité Súbežné testovacie zariadenie SPU TF (Tkáč et al. 2016), ktoré umožňuje simuláciu pracovných podmienok hydraulických systémov. Hlavné prvky laboratórných testov:

- Testovací prvok – Zubový hydrogenerátor GHD17R, ktorý zabezpečoval cirkuláciu kvapaliny v hydraulickom obvode (Jihostroj).
- Testovaná kvapalina – Experimentálne skúšky boli vykonané s biologicky odbúrateľnou hydraulickou kvapalinou vyrobenou z rastlinných olejov MOL Biohyd 46 od spoločnosti Slovnaft. Odporúčaný teplotný rozsah použitia: od -20°C do $+45^{\circ}\text{C}$ (Slovnaft).
- Meracie zariadenia – HYDAC:
 - snímač tlaku HDA 4748-H-0400-000 s presnosťou $\leq \pm 0,25 \%$,
 - snímač prietoku EVS 3108-H-0060 s presnosťou $\leq 2 \%$,
 - snímač teploty ETS 4148-H-006-000 s presnosťou $\leq \pm 0,4 \%$,
 použité na kontinuálne monitorovanie skúšobných parametrov (Hydac).
- Záznamová jednotka – HYDAC HMG 3010 zaznamenával priebežné hodnoty tlaku, teploty a prietoku počas testovacích fáz (Hydac, 2012).
- Riadiaci systém – počítač s programom LabView, slúžiacim na nastavenie otáčok elektromotora.

2.2 Skúšobné podmienky a metodika merania

Testovacia metóda vychádza z testovacieho prístupu Vickers 35VQ25 Pump test (Johnson, Lewis, 1996).

Zaťažujúci tlak produkovaný hydraulickým obvodom bude slúžiť na simulovanie prevádzkových podmienok tzn. ako keby hydraulická kvapalina pracovala v obvode reálnej mobilnej techniky a musela prekonávať zaťažujúce sily. Predpísaná prevádzková teplota predpísaná výrobcom MOL Biohyd 46 je 45°C . Na požiadavku výrobcu testy podstúpime pri zvýšenej teplote 65°C , čo nám umožní kvapalinu otestovať pri nadmernom zaťažení, ktorému kvapalina v prevádzke mobilnej techniky môže podľahnúť. Takéto predimenzované testy sa bežne vykonávajú z dôvodu stanovenia istoty prevádzky v predpísanej hraničnej hodnote.

Meracia fáza bude prebiehať pri zaťažujúcom tlaku 0 MPa resp. bez zaťaženia. Význam testovania hydraulikkej kvapaliny pri nulovom zaťažení (0 MPa) je dôležitou metódou na hodnotenie základných vlastností kvapaliny a čerpadla v podmienkach voľného prietoku. Tento typ skúšky poskytuje referenčné hodnoty pre porovnanie s testami vykonávanými pod vyššími tlakmi a umožňuje lepšie pochopiť mechanické vlastnosti systému. Jedným z hlavných dôvodov testovania pri nulovom zaťažení je sledovanie čistej práce čerpadla bez tlakového

odporu. Pri tomto režime sa hydraulická kvapalina pohybuje len vplyvom mechanickej energie dodávanej čerpadlom, bez dodatočného odporu spôsobeného spätným tlakom.

Tab. 1 Podmienky skúšky

Parametre	Hodnoty	
Fáza	Zaťažovacia	Meracia
Otáčky	1800 min ⁻¹	500 - 2500 min ⁻¹
Zaťažujúci tlak	20 MPa	0 MPa
Vstupný tlak	max. 0,15 MPa	
Vstupná teplota	65 °C	
Čas	50 hodín	10 s každých 12,5h
Opakovania	1	5

Vyhodnotenie skúšky:

- Zaznamenávanie prietoku na v závislosti na otáčkach po dobu 10 sekúnd v 12,5–hodinových intervaloch. Merané hodnoty sú od 500 do 2500 ot./min so stúpaním po 500 ot./min . To znamená 10 sekundové meranie pri každej hodnote.
- Maximálny žiadaný pokles prietoku kvapaliny o 3,75%.

2.3 Metódy vyhodnotenia výsledkov

Na spracovanie výsledkov boli použité nasledovné štatistické metódy:

- Deskriptívna štatistika – na výpočet priemerných hodnôt prietoku.
- Regresná analýza – aplikácia polynomiálnych trendových čiar na vyjadrenie vzťahu medzi otáčkami hydrogenerátora a prietokovou účinnosťou.
- Štandardná odchýlka (STDEV) – analyzovala stabilitu prietoku v jednotlivých meraniach (Freund, 2010).
- Z-skóre – metóda identifikujúca extrémny v dátach. Predstavuje mieru, o koľko štandardných odchýlok sa konkrétna hodnota odlišuje od priemeru danej distribúcie (Moore, 2012).
- Prietoková účinnosť – okrem prietoku samotného zohľadňuje pri práci hydrogenerátora aj otáčky a geometrický objem a tým lepšie vykresľuje efektivitu jeho práce resp. účinnosť (Rundo, 2017).

Dáta boli spracované pomocou softvérov MS Excel, kde boli vizualizované pomocou trendových grafov.

2 Výsledky a diskusia

Ako prvé sme pri štatistickom spracovaní údajov identifikovali a vylúčili extrémny pomocou metódy Z-skóre.

Následne sme vykonali analýzu štandardnej odchýlky, zobrazenú v Tab. 2, a bolo zistené, že rozptyl meraných hodnôt prietoku bol najvyšší pri 0 hodinách testovania a následne sa postupne zmenšoval a stabilizoval. Tento jav možno vysvetliť viacerými faktormi, ktoré ovplyvňujú hydraulický systém na začiatku meraní. V prvých fázach testovania môže dochádzať k počiatočnej nestabilite systému, ktorá je spôsobená nezahriatou hydraulickou kvapalinou, ako aj postupným ustálením mechanických komponentov hydrogenerátora. Tieto zmeny ovplyvňujú dynamiku prúdenia, a tým aj variabilitu meraných hodnôt prietoku.

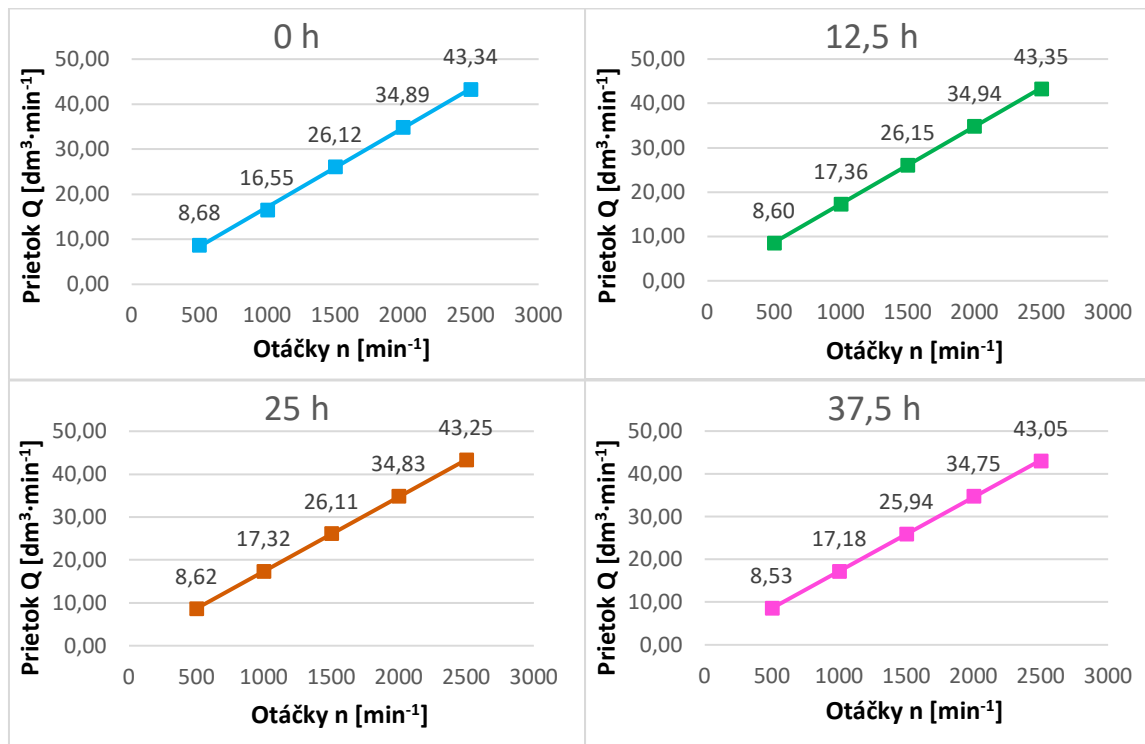
Po prvých hodinách testovania bolo pozorované postupné znižovanie rozptylu dát, čo naznačuje, že systém dosiahol ustálené prevádzkové podmienky.

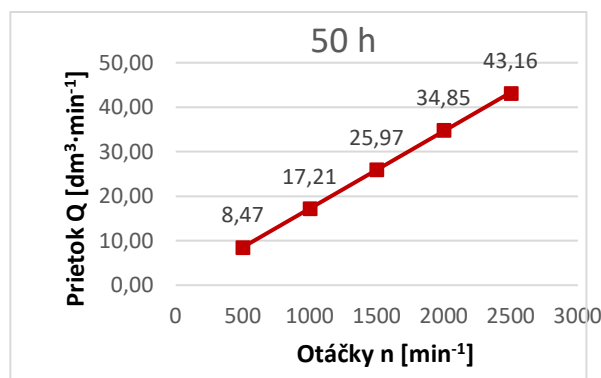
Z výsledkov meraní vyplýva, že pri dlhodobjšom hodnotení hydraulických systémov je potrebné zohľadniť úvodné obdobie testovania ako fázu stabilizácie. V tejto fáze môže byť rozptyl hodnôt vyšší, avšak následne sa ustáli, čo umožňuje presnejšie hodnotenie zmien hydraulickej kvapaliny a hydrogenerátora v ďalších fázach testovania. Ak by sa počas 50 hodín testovania objavil trend zvyšovania rozptylu, mohlo by to indikovať degradáciu hydraulickej kvapaliny, opotrebenie hydrogenerátora alebo iné zmeny v systéme.

Tab. 2 Hodnoty Štandardnej odchýlky počas všetkých meraní

Otáčky n [min^{-1}]	Štandardná odchýlka dát prietoku				
	0 h	12,5 h	25 h	37,5 h	50 h
500	0.10	0.08	0.11	0.10	0.10
1000	0.65	0.06	0.05	0.04	0.06
1500	0.88	0.07	0.06	0.09	0.09
2000	0.74	0.07	0.10	0.09	0.11
2500	0.62	0.22	0.11	0.28	0.31

Nasledujúci krok bol vyhodnotenie priemeru údajov pri daných otáčkach. Toto bolo uplatnené na celý rozsah otáčok a časov merania. Obr. 1 opisuje grafy prietoku hydrogenerátora v závislosti na otáčkach v celom spektre meraní. Z grafov závislostí môžeme pozorovať lineárny nárast prietoku pri náraste otáčok pri všetkých časoch merania. V grafickom spracovaní bol zvolený lineárny trend na základe koeficientu determinácie. Z dôvodu skoro identických výsledkov nebol zostrojený graf, kde sú všetky trendy znázornené spolu nakoľko by sa prekrývali.





Obr. 1 Grafy prietoku hydrogenerátora v závislosti na otáčkach v celom spektre meraní

Tab. 3 Rovnice trendu závislosti prietoku na otáčkach a koeficient determinácie

Meranie	Rovnica trendu závislosti prietoku na otáčkach	Koeficient determinácie
0 h	$y=0.0174x+0.0171$	$R^2 = 1$
12,5 h	$y=0.0174x-0.0417$	$R^2=0.9999$
25 h	$y=0.0174x-0.007$	$R^2=0.9999$
37,5 h	$y=0.0173x-0.0902$	$R^2=0.9999$
50 h	$y=0.0174x-0.1752$	$R^2=0.9999$

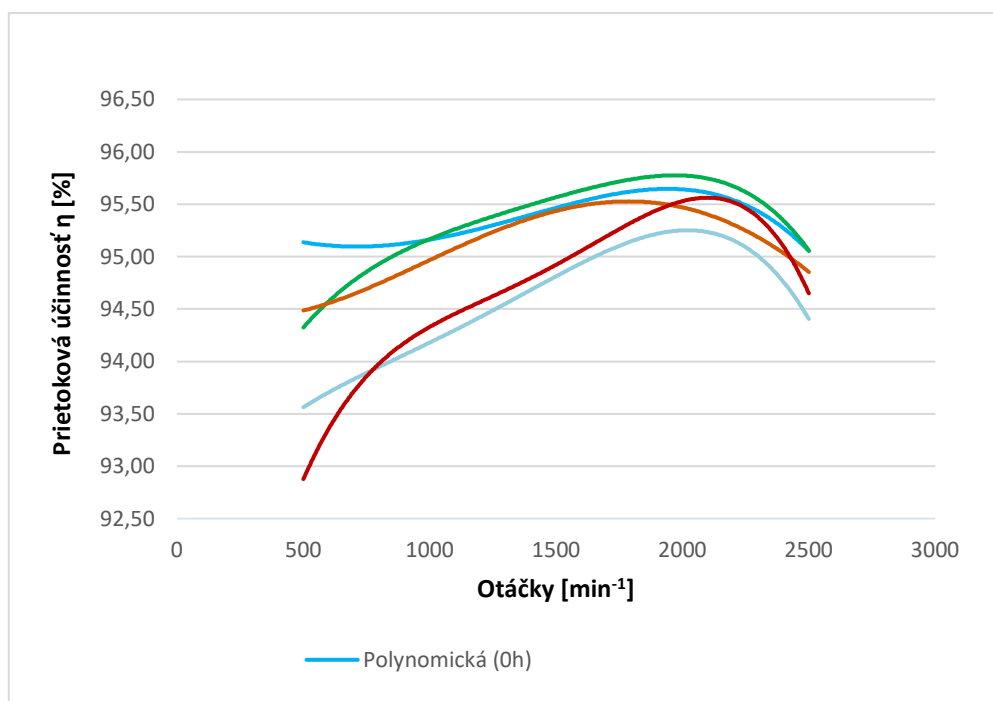
Tab. 4 Pokles prietoku po 50 h zaťažovaní hydraulickéj kvapaliny

Otáčky n [min⁻¹]	500	1000	1500	2000	2500
Pokles prietoku Q [dm³·min⁻¹] po 50 h	0.21	0.15	0.15	0.04	0.19

Tab. 4 znázorňuje pokles prietoku 0 odpracovaných hodín a po odpracovaní 50 hodín. Najvyšší pokles prietoku bol pri 500 ot./min a to $0,21 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$, čo je zanedbateľný výsledok. Môžeme vyhodnotiť že trendy nárastu sú pri všetkých hodinách merania skoro identické a bez výkyvov. Prietok ako taký však nevypovedá o vhodnosti systému. Je potrebné vypočítať prietokovú účinnosť ktorá zohľadňuje viac faktorov a to geometrický objem hydrogenerátora a jeho otáčky. Prietoková účinnosť sa vypočíta pre každú z 500 hodnôt a následne sa z nich spraví priemer rovnako ako sme spravili z prietoku.

Tab. 5 Priemerné hodnoty prietokovej účinnosti hydrogenerátora v celom spektre meraní

Otáčky n [min⁻¹]	Prietoková účinnosť η [%]				
	0 h	12,5 h	25 h	37,5 h	50 h
500	95.14	94.32	94.49	93.56	92.88
1000	95.16	95.17	94.97	94.18	94.33
1500	95.47	95.57	95.44	94.81	94.92
2000	95.64	95.77	95.47	95.25	95.53
2500	95.05	95.06	94.85	94.40	94.65



Obr. 2 Graf prietokových účinností hydrogenerátora v závislosti na otáčkach v celom spektre meraní

Tab. 6 Rovnice trendu závislosti prietokovej účinnosti na otáčkach a koeficient determinácie

Meranie	Rovnica trendu závislosti prietokovej účinnosti na otáčkach	Koeficient determinácie
0 h	$y = -2E-13x^4 + 2E-10x^3 + 9E-07x^2 - 0.0013x + 95.571$	$R^2 = 1$
12,5 h	$y = -7E-13x^4 + 4E-09x^3 - 8E-06x^2 + 0.0081x + 91.786$	$R^2 = 1$
25 h	$y = 1E-13x^4 - 1E-09x^3 + 3E-06x^2 - 0.0014x + 94.624$	$R^2 = 1$
37,5 h	$y = -6E-13x^4 + 3E-09x^3 - 4E-06x^2 + 0.0041x + 92.293$	$R^2 = 1$
50 h	$y = -2E-12x^4 + 9E-09x^3 - 2E-05x^2 + 0.0186x + 87.312$	$R^2 = 1$

Tab. 7 Pokles prietokovej účinnosti po 50 h zaťažovaní hydraulickéj kvapaliny

Otáčky n [min ⁻¹]	500	1000	1500	2000	2500
Pokles prietokovej účinnosti η [%] po 50 h	2.26	0.83	0.54	0.11	0.41

Na Obr. 2 môžeme vidieť priebeh prietokových účinností vychádzajúce z Tab. 5.

V grafickom spracovaní bola na znázornenie trendu zvolená funkcia polynóm 6. rádu na základe koeficientu determinácie.

Pri všetkých hodinách merania môžeme pozorovať rovnaký trend vývoja a to:

- Nárast prietokovej účinnosti od 500 ot./min po 2000 ot./min.
- Najvyššiu hodnotu prietokovej účinnosti hydrogenerátor dosiahne pri 2000 ot./min.
- Po 2000 ot./min sledujeme pokles prietokovej účinnosti.
- Prietoková účinnosť sa v závislosti na otáčkach menila maximálne o 2,65 %.

Z týchto pozorovaní môžeme súdiť, že pre najefektívnejšiu prácu hydrogenerátora je najlepšie voliť 2000 ot./min, teda pracuje horšie pri nižších otáčkach ale aj vyšších.

V porovnaní s prietokom kedy pri najvyšších otáčkach dosahujeme najvyšší prietok, prietoková účinnosť pri najvyšších otáčkach nedosahuje najvyššiu hodnotu.

Najvyššiu hodnotu prietokovej účinnosti dosiahol hydrogenerátor pri 12,5 h práce a to 95,77 % pri 2000 ot./min. Najnižšiu hodnotu mal hydrogenerátor pri 50 h práce a to 92,88 % pri 500 ot./min.

So zvyšujúcimi sa otáčkami sa menila prietoková účinnosť minimálne, rádovo v rozmedzí do maximálne 2,65 %.

Tab. 7 sleduje pokles prietokovej účinnosti po 50 hodinách zaťažovania hydraulickéj kvapaliny. Pokles sa počítal z hodnoty pri 0 h a 50 h pri rovnakých otáčkach. Pozorovali sme minimálny pokles prietokovej účinnosti pri všetkých otáčkach až na prietokovú účinnosť pri 500 ot./min kde bol pokles o 2,26 %. V podmienkach skúšky Vickers sme mali dané, že prietoková účinnosť nesmie klesnúť o 3,75 %. Túto podmienku naše testy splnili.

Výraznejší pokles, ktorý sme pozorovali pri 500 ot./min mohol vzniknúť degradáciou kvapaliny. Jedným z najvýraznejších faktorov ovplyvňujúcich jej správanie je viskozita, ktorá sa môže meniť v dôsledku prevádzky a starnutia kvapaliny. Počas testovania došlo k poklesu prietokovej účinnosti pri 500 ot./min po 50 hodinách prevádzky, pričom pri vyšších otáčkach bol tento pokles minimálny. Tento jav možno vysvetliť tým, že pri nižších otáčkach je prietok hydraulickéj kvapaliny pomalší a viac závislý od jej viskozity. Ak počas testovania došlo k degradácii hydraulickéj kvapaliny, napríklad v dôsledku oxidácie alebo straty prísad, mohla sa zmeniť jeho schopnosť efektívne pretekať pri nízkych otáčkach. Naopak, pri vyšších otáčkach je dynamika prúdenia výraznejšia a čiastočne eliminuje vplyv zmenenej viskozity, čo vysvetľuje, prečo bol pokles účinnosti pri vyšších otáčkach zanedbateľný.

3 Záver

Cieľom tejto práce bolo experimentálne otestovať univerzálnu ekologickú hydraulickú kvapalinu MOL Biohyd 46 od spoločnosti Slovnaft a zhodnotiť jej prietokové charakteristiky a technickú životnosť pri rôznych pracovných podmienkach. Testovanie prebiehalo na laboratórnom skúšobnom obvode, kde boli analyzované parametre kvapaliny pri rôznych otáčkach zubového hydrogenerátora, pričom merania prebiehali v časových intervaloch do celkového trvania 50 hodín. So súhlasom výrobcu sme testovanú kvapalinu zaťažovali pri predimenzovanej teplote a to 65 °C. Prevádzková teplota udávaná výrobcom je 45 °C.

Výsledky ukázali, že prietokové vlastnosti kvapaliny zostali stabilné počas celého testovania aj napriek zvýšenej zaťažujúcej teplote udávanej výrobcom. Hodnoty prietokovej účinnosti nevykazovali výrazné odchýlky, pričom sa podarilo identifikovať len minimálny pokles účinnosti v rámci experimentálnych podmienok. Najvyšší pokles účinnosti bol zaznamenaný pri najnižších otáčkach (500 min⁻¹), čo naznačuje mierne opotrebenie hydraulickéj kvapaliny, ktoré sa preukázalo zmenou vlastností len pri najnižších otáčkach. Táto zmena bola však minimálna a stále v norme. Naopak, pri vyšších otáčkach sa kvapalina správala konzistentne, pričom objemové straty boli minimálne.

V priebehu testovania neboli zaznamenané výrazné známky degradácie kvapaliny, peny alebo vzduchových inklúzií, čo potvrdzuje jej vhodnosť na dlhodobé použitie v hydraulických obvodoch.

Je možné konštatovať, že testovaná ekologická kvapalina dosahuje porovnateľné vlastnosti s konvenčnými hydraulickými kvapalinami na báze minerálnych olejov, pričom jej výhodou je nižší negatívny dopad na životné prostredie. Výsledky tejto práce tak môžu poslúžiť ako východiskový bod pre ďalšie štúdie zamerané na ekologické hydraulické kvapaliny a ich širšiu implementáciu v priemyselnej praxi.

PodĎakovanie

" Táto publikácia vznikla vĎaka podpore v rámci operačného programu Výskum a inovácie pre projekt: Podpora výskumných aktivít na SPU v Nitre v oblasti energetiky, 313011X029, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja"

4 Literatúra

FREUND, J. E. 2010. Mathematical statistics with applications. Vol. 8. Pearson.

HYDAC. 2012. Portable data recorder HMG 3010. Operating manual. Hauptstrase 27 D-66128 Saarbrucken, Germany.

HYDAC. Flow Rate Transmitter With Hsi-Sensor Recognition. Operating manual. Hauptstrase 27 D-66128 Saarbrucken, Germany.

HYDAC. Temperature Transmitter. Operating manual. Hauptstrase 27 D-66128 Saarbrucken, Germany.

HYDAC. Pressure Transmitter With Hsi-Sensor Recognition. Operating manual. Hauptstrase 27 D-66128 Saarbrucken, Germany.

JIHOSTROJ. Zubová hydraulická čerpadla QHD. [online]. [cit.2025-01-09]. Dostupné na: <<https://www.jihostroj.com/hydraulika/vyrobn-program/zubova-hydraulicka-cerpadla/qhd1.html>>

JOHNSON, H. T. – LEWIS, T. I. 1996. Vickers' 35VQ25 Pump Test. In G. E. Totten, G. H. Kling, – D. J. Smolenski (Eds.), Tribology of Hydraulic Pump Testing, ASTM STP 1310. American Society for Testing and Materials.

MOORE, D. S. et al. 2012. Introduction to the Practice of Statistics. Vol. 7. W. H. Freeman.

RUNDO, M. 2017. Models for Flow Rate Simulation in Gear Pumps: A Review. Energies. [online]. 2017 [cit.2025-01-12]. Dostupné na: <https://www.researchgate.net/publication/319262636_Models_for_Flow_Rate_Simulation_in_Gear_Pumps_A_Review>

SLOVNAFT. MOL BIOHYD 46. [online]. [cit. 2024-12-28] Dostupné na: <<https://slovnaft.sk/sk/maziva/priemysel/produkty/priemyselne-maziva/hydraulicke-oleje/mol-biohyd-46/>>

TKÁČ, Z. – HUJO, Ľ. – JABLONICKÝ, J. 2016. Súbežné testovacie zariadenie na meranie prietokových charakteristík a technickej životnosti hydrostatických prevodníkov. Databáza patentov Slovenska. SK7427Y1.

Súhrn

Cieľom tejto práce bolo experimentálne overiť vlastnosti ekologickej hydraulickej kvapaliny MOL Biohyd 46 od spoločnosti Slovnaft a porovnať jej prietokové charakteristiky zubovým hydrogenerátorom pri rôznych prevádzkových podmienkach. Testovanie bolo realizované na laboratórnom súbežnom testovacom zariadení Technickej fakulty SPU v Nitre, pričom bol v časovom rozsahu 50 hodín sledovaný vývoj prietoku a prietokovej účinnosti v závislosti na otáčkach. Výsledky ukázali, že skúmaná ekologická kvapalina si v podmienkach testovania zachovala stabilné vlastnosti, pričom pokles prietokovej účinnosti neprekročil očakávané

hodnoty. Zistilo sa, že najväčší pokles účinnosti bol zaznamenaný pri najnižších otáčkach, čo môže byť spôsobené zmenou hydrodynamických vlastností kvapaliny.

Kľúčové slová: hydraulická kvapalina, ekologická kvapalina, zubový hydrogenerátor, prietoková účinnosť, laboratórne testovanie.

NEDEŠTRUKTÍVNE SKÚŠKY ZVAROVÝCH SPOJOV VYBRANÝCH KONŠTRUKČNÝCH OCELÍ PRE POTREBY PREDVÝROBNEJ SKÚŠKY PODĽA EN ISO 15085

NON-DESTRUCTIVE TESTS OF WELDED JOINTS OF SELECTED STRUCTURAL STEELS FOR PRE-PRODUCTION TESTING ACCORDING TO EN ISO 15085

BARBORA FERKOVÁ – RASTISLAV MIKUŠ

Abstract

The aim of the article is to assess the quality properties of welded joints of selected structural materials in order to evaluate them for the requirements of pre-production testing according to EN ISO15085. To meet the objective, low-carbon structural materials with similar chemical composition were selected and the welded joints were made using MMA, TIG and MAG welding technologies. The formed welded joints were subsequently subjected to non-destructive testing on the basis of which the qualitative properties of the investigated welded joints were declared. The evaluation of the results was carried out in accordance with the requirements of EN ISO 15085 and proved the suitability of the quality properties of the welded joints investigated.

Key words: structural steel, welded joint, pre-production test, non-destructive testing

1 Úvod

Posledné desaťročia dokazujú významný vývoj technológií zameraných na vytváranie zvarových spojov, na základe ktorých možno sledovať ich rozmach vo viacerých odvetviach priemyslu. Zváranie teda zaraďujeme medzi veľmi často používané metódy tvorby nerozoberateľných spojov (Čevik, 2018). Technológia vytvárania nerozoberateľných spojov slúži na výrobu súčastí strojov, prípadne umožňuje vyhotovenie zostáv prostredníctvom spájania jednotlivých dielov. Zváranie našlo uplatnenie počas výroby, ale i pri údržbe alebo renovácii (Sejč, 2013). Kvalitatívne vlastnosti zvarových spojov je možné ovplyvniť už pred začatím zvárania nastavením vhodných zvaracích parametrov, ktoré značne vplyvajú na kvalitu zhotoveného zvarového spoja (Čevik, 2018). Počas návrhu zvarového spoja je tiež potrebné stanoviť účel použitia a na jeho základe zaistiť dostatočné mechanické vlastnosti zvaru. Vzhľadom na to, že počas zvárania dochádza vplyvom vnášania tepla k zmene mechanických vlastností v zvarovom spoji a jeho okolí, je potrebné stanoviť vhodný postup vyhotovenia zvarového spoja. Kvalita vyhotoveného zvarového spoja je závislá od spojitosti tepelných cyklov a zmien mikroštruktúry. Zaistením kompaktnosti plôch zvarových spojov je možné eliminovať vznik nedostatkov v zvarovom spoji, a tým zabezpečiť požadované kvalitatívne vlastnosti (Toyoda, Mochizuki, 2004).

Podľa Fajrin – Sutrisno - Putra (2024) je skúšanie vizuálnou metódou pokladané za najjednoduchšiu a zároveň najlacnejšiu metódu s cieľom získania informácií o povrchovej kvalite zvarových spojov. Schröder – Biedermann - Vilbrandt (2013) vo svojej publikácii popisuje skúšku s použitím penetrantu ako obvyklý proces nedeštruktívneho skúšania, na základe ktorého je možné spozorovať chyby povrchu, ktoré môžu predpokladať potenciál k vzniku zlyhania zvarového spoja. Peng a kol. (2018) uvádzajú vo svojej publikácii dôležitosť využitia ultrazvukových vĺn s cieľom detegovať trhliny nachádzajúce sa v skúmanom materiáli, ktoré môžu vyvolať jeho následne deštrukciu.

Cieľom príspevku bolo hodnotenie zvarových spojov pre účely predvýrobnej skúšky podľa normy EN ISO 15085 prostredníctvom nedeštruktívnych skúšok. Zrealizovaná predvýrobná skúška bola súčasťou prípravy technologického postupu zvarovania otočného mechanizmu stavebného koľajového vozidla. Skúšky boli vykonávané na overenie vhodnosti parametrov zvarovania v súlade s požiadavkami normy a účelom použitia.

2 Materiál a metódy

Charakteristika základných materiálov

Na hodnotenie kvalitatívnych vlastností zvarových spojov boli zvolené konštrukčné ocele S355J2+N a S460ML. Použité základné materiály sa vyznačujú nízkym obsahom uhlíka. Ich chemické zloženie je uvedené v Tab. 1.

Tab. 1 Chemické zloženie skúmaných ocelí (Leždík – Mičian - Patek, 2016)

Tab. 1 Chemical composition of investigated steels S355J2+N and S460ML

Materiál	Chemické zloženie [%]													
	C	Si	Mn	P	S	Nb	V	Al	Ti	Cr	Ni	Mo	Cu	N
S355J2+N	0,17	-	1,5	0,035	0,035	-	-	-	-	0,03	0,03	-	0,3	0,014
S460ML	0,16	0,6	1,7	0,025	0,02	0,05	0,12	0,02	0,05	0,3	0,8	0,2	0,55	0,025

Na základe chemického zloženia uvedeného v Tab.1 je možné vidieť rozdielnosť skúmaných ocelí. Oceľ S460ML možno charakterizovať ako termomechanicky valcovanú jemnozrnnú konštrukčnú oceľ s prítomnými legujúcimi prvkami kremíkom a molybdénom, ktoré zabezpečujú vyššiu pevnosť, tvrdosť a odolnosť proti opotrebeniu. Preto je vhodná pre náročné konštrukčné použitie vrátane použitia pri výstavbe mostov alebo budov. Konštrukčná oceľ S355J2+N je vzhľadom na zanedbateľné množstvá legujúcich prvkov zaradovaná medzi nelegované konštrukčné ocele. Symbol +N v označení vyjadruje stav spracovania ocele procesom normalizačného žihania. Vhodnosť jej použitia je všeobecná, je vhodná pre bežné konštrukčné aplikácie vo viacerých priemyselných odvetviach. Základné materiály sú dodávané v platniach s rozličnou hrúbkou. Pre potreby hodnotenia boli základné materiály delené na zvolený rozmer 130x200x8mm.

Technológie vyhotovenia zvarových spojov

Prvotnou úlohou potrebnou k realizácii hodnotení bolo vytvorenie zvarových spojov zvolenými technológiami zvarovania. Zvarové spoje boli realizované v súlade s normou EN ISO 5817 v polohe natupo a zvolenými metódami zvarovania, ktorými boli ručné oblúkové zvarovanie obalenou elektródou MMA (111), oblúkové zvarovanie netaviacou sa elektródou v inertnom plyne TIG (141) a zvarovanie taviacou sa elektródou v ochranných atmosférach

plynov MAG (135). Príprava pred vyhotovením vzoriek zahŕňala stanovenie parametrov zvarovania (Tab. 2) pre jednotlivé ocele na základe teoretických znalostí, prevádzkových vedomostí a požiadaviek daných normou. Bezprostredne pred začatím zvarovania boli pomocou frézy na vzorkách základných materiálov vytvorené úkosové hrany s maximálnou šírkou 2 mm (pri koreni zvaru) a sklonom 60°. Následne boli vzorky prebrúsené brúsnym kotúčom SMT 624 so zrnitosťou 40 a celý povrch vzoriek bol odmastený technickým benzínom S6207. Realizácia zvarových spojov prebiehala v 3 fázach a to vytvorením koreňovej, zvarovej a krycej vrstvy.

Tab. 2 Parametre zvarovania
Tab. 2 Welding parameters

Materiál	Vrstva / húsenica	Spôsob zvarovania	Prídavný materiál Ø [mm]	Zvarací prúd [A]	Napätie [V]	Čas zvarovania
S355J2+N	1	111	2,5	52	14	186
	2	111	2,5	93	16	121
	3	111	2,5	88	15	156
S460ML	1	111	2,5	51	14	191
	2	111	2,5	90	16	130
	3	111	2,5	92	15	151
S355J2+N	1	141	2,0	105	10	285
	2	141	2,0	142	13	239
	3	141	2,0	122	12	308
S460ML	1	141	2,0	104	10	295
	2	141	2,0	143	13	234
	3	141	2,0	126	12	306
S355J2+N	1	135	1,2	152	18	32
	2	135	1,2	230	27	25
	3	135	1,2	225	27	35
S460ML	1	135	1,2	145	18	56
	2	135	1,2	225	27	23
	3	135	1,2	233	29	35

Nedeštruktívne skúšanie

K splneniu cieľa publikácie bolo potrebné vykonať skúšanie zvarových spojov prostredníctvom vykonania nedeštruktívnych skúšok. Skúmanie bez narušenia zvarového spoja bolo realizované vizuálnou, penetračnou a ultrazvukovou metódou. Vizuálna metóda prebiehala pozorovaním zvarových spojov očami a následne s použitím mierky G.A.L. 269-465-5750 s meracím rozsahom od -6mm do 6mm, kedy predmetom skúmania bolo identifikovať prípadne nedostatky vo forme nedostatočného prievaru alebo nadmerného prievaru, pretečenia, neúplného vyplnenia zvaru alebo studeného spoja.

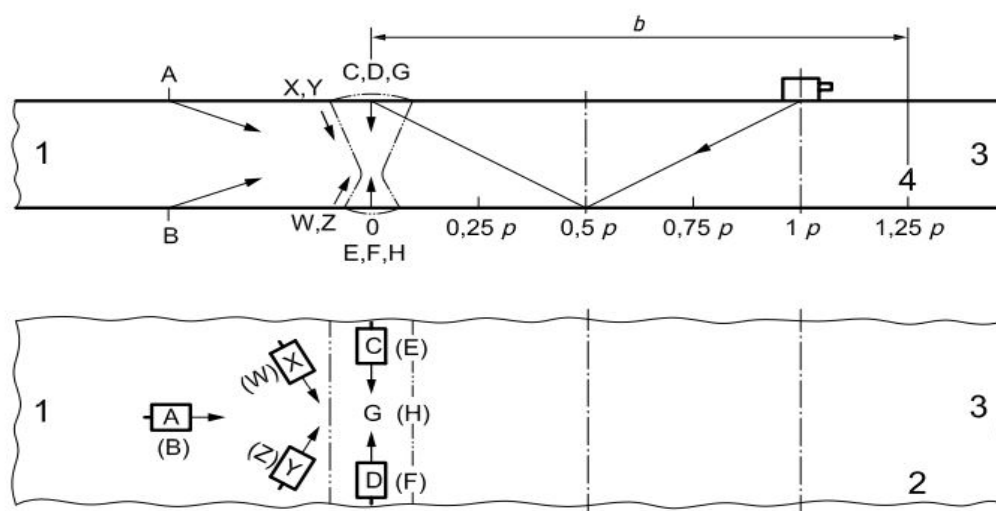
Stanovenie výsledku penetračnej skúšky prebiehalo na základe normy EN ISO 23277 a úrovne prípustnosti 1. Penetračná skúška vyžadovala použitie špeciálnych prípravkov METACLEAN, PENTRIX, RIVELEX v sprejovej forme. Vyhotovené zvarové spoje boli zbavené hrubých nečistôt s použitím ocelevej kefy. Následne bol nanosený čistiaci prostriedok METACLEAN. Po očistení bol nanosený penetrant PENTRIX, ktorý pôsobil 15 minút. Po odstránení penetrantu bola nanosená vývojka RIVELEX s časom pôsobenia 15 minút pre prvé hodnotenie a 30 minút pre druhé hodnotenie.

Skúmanie zvarov prostredníctvom ultrazvukovej skúšky prebiehalo podľa normy EN ISO 11666 a úrovne prijateľnosti 2. Analýza zvarových spojov prostredníctvom šírenia ultrazvukových vln bola uskutočňovaná s ohľadom na viaceré normy. Skúmanie zvarových spojov prebiehalo v súlade s normou EN ISO 5817 a zvolenou úrovňou kvality pre nedokonalosti B, ktorú norma vymedzuje ako najprísnejšiu. Na základe kvalitatívnej úrovne B, udáva norma EN ISO 17 640 skúšobnú úroveň B, ktorá vymedzuje podmienky skúšania ultrazvukom (Tab. 3). Berúc do úvahy podmienky skúšobnej úrovne uvedené v Tab. 3, bolo potrebné stanoviť smery skúšania podľa obr. 1. Realizácia skúšky ultrazvukom podliehala stanoveniu metodiky skúšania podľa normy EN ISO 17640. Vzorky zvarových spojov boli pred skúškou odmastené a následne bol nanesený väzobný prostriedok. Ultrazvuková analýza prebiehala s použitím prístroja Smartor od výrobcu SIUI (Čínska ľudová republika), pomocou priamej (kolmo na povrch vzorky) a uhlovej sondy (pod uhlom 60°). Dráhy pohybu sondy sú zobrazené na obr. 1, parametre merania pre skúšobnú úroveň B a hrúbku základného materiálu 8 mm sú uvedené v Tab. 3.

Tab. 3 Skúšobná úroveň (podľa EN ISO 17640:2018)

Tab. 3 Test level (according EN ISO 17640:2018)

Pozdĺžne indikácie				Priečne indikácie		
Požadovaný počet			Počet skenov	Požadovaný počet		Počet skenov
Uhly sondy	Polohy sondy	Šírka zóny skenovania		Uhly sondy	Polohy sondy	
L-skenovanie			2	T-skenovanie		4
1	A alebo B	1,25 p		1	(X a Y) alebo (W a Z)	



Obr. 1 Dráhy pohybu sondy (EN ISO 17640:2018)

Fig. 1 Probe trajectories (EN ISO 17640:2018)

3 Výsledky a diskusia

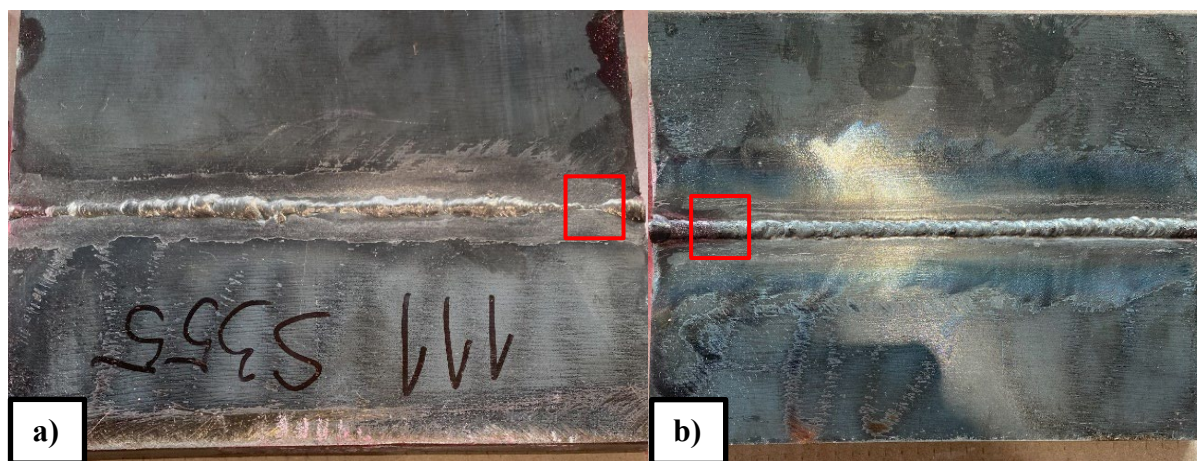
Pre potreby predvýrobnej skúšky podľa normy EN ISO 15085 boli realizované hodnotenia zvarových spojov vykonaním nedeštruktívneho skúšania. Na analýzu povrchovej vrstvy bola zvolená vizuálna metóda testovania. Detekcia povrchových a podpovrchových

diskontinuit bola zabezpečená vykonaním penetračnej skúšky. Skúmanie podpovrchovej štruktúry bolo vykonané využitím ultrazvukového šírenia vln.

Vizuálna skúška

Vykonanie nedeštruktívneho skúšania zvarových spojov zabezpečilo hodnotenie kvalitatívnych vlastností zvarových spojov bez porušenia vyhotoveného zvaru. Hodnotená bola krycia a následne koreňová vrstva jednotlivých zvarov najskôr voľným okom a po zistení nedostatkov bola použitá mierka G.A.L 269-465-5750. Zvarové spoje materiálu S460ML nevykazovali počas skúmania zrakom žiadne nedostatky, preto nebolo potrebné ich premeranie mierkou. Zvary základného materiálu S355J2+N vykazovali počas skúmania zrakom menšie nedostatky, ktoré boli následne premerané s použitím meracej mierky.

Zistené nedostatky boli porovnané s požiadavkami normy EN ISO 5817 a stanovenou hranicou nedokonalosti B. Kontrola chýb zvarovania podľa normy EN ISO 5817 vymedzuje rozsah prípustnosti chýb, ktoré je možné objaviť na povrchu zvaru (Elektrolas, 2024). Zvarový spoj základného materiálu S355J2+N vyhotovený technológiou zvarovania MMA vykazoval slabší prievar koreňa, s miestom výskytu 25 mm od okraja zvarového spoja v dĺžke 1 mm (obr. 2a). Táto časť zvarového spoja nie je vzhľadom na ustálenie oblúka súčasťou hodnotiacej oblasti a na základe toho je možné zvar vyhodnotiť ako vyhovujúci. Vyhotovenie zvarového spoja metódou zvarovania TIG materiálu S355J2+N prejavovalo nedostatok v prievare koreňa vo forme nadmerného prievaru s výškou 2,2 mm (obr. 2b). Na základe porovnania s požiadavkami normy bol nedostatok vyhodnotený ako prípustný bez zníženia kvalitatívnych vlastností zvaru.



Obr. 2 Defekty zvarov zistené vizuálnou metódou

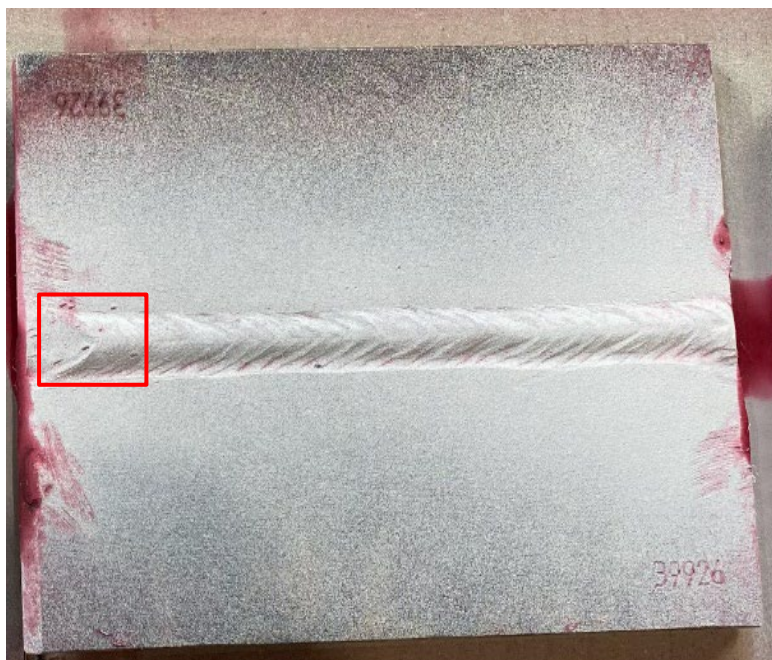
a) MMA zvarový spoj ocele S355J2+N, b) TIG zvarový spoj ocele S355J2+N

Fig. 2 Weld defects detected by visual method

a) MMA welded joint of S355J2+N steel, b) TIG welded joint of S355J2+N steel

Penetračná skúška

Neodmysliteľnou súčasťou nedeštruktívneho testovania zvarových spojov je analýza penetračnou metódou. Pozorovanie prebiehalo podľa postupu uvedeného v metodike (kap. 2) voľným okom, počas ktorého bol zaznamenaný defekt (obr. 3) zvarového spoja materiálu S355J2+N vyhotoveného technológiou MAG. Nedostatok bol vyhodnotený ako jemné stopy vzniknuté čistením pred vykonaním nedeštruktívneho skúšania, ktoré nemajú významný vplyv na pokles kvalitatívnych vlastností.



Obr. 3 Defekt zvarového spoja S355J2+N

Fig. 3 Weld discontinuity S355J2+N

Ultrazvuková skúška

Vykonaním ultrazvukového skúšania zvarových spojov bola preverená podpovrchová štruktúra. Skúšanie prebiehalo s ohľadom na zvolenú úroveň kvality B, ktorú norma EN ISO 5817 definuje ako najprísnejšiu. Stanovená úroveň kvality B zároveň podliehala hodnoteniu podľa normy EN ISO 11666, ktorá udáva stupne prípustnosti chýb pre ultrazvukovú skúšku (Tab. 4).

Tab. 4 Stupne prípustnosti chýb (ISO 11666:2018)

Tab. 4 Error acceptance levels (ISO 11666:2018)

Úroveň kvality v súlade s ISO 5817:2014	Úroveň testovania v súlade s ISO 176540	Úroveň prípustnosti s ISO 11666
B	Aspoň B	2
C	Aspoň A	3
D	Aspoň A	3

Na základe Tab. 4 bola skúška vykonávaná prostredníctvom šírenia ultrazvukových vln klasifikovaná do úrovne prípustnosti 2. Prístroj pre ultrazvukovú skúšku bol pred začatím skúšania nastavený podľa parametrov základného materiálu. Využitím priamej sondy bolo možné vykonávať skúšanie, ktorého cieľom bolo odhaliť zmeny hrúbky materiálu. Počas testovania vzoriek zvarových spojov oboch materiálov neboli zistené skrátené trajektórie šírenia dráhy ultrazvukových vln, ktoré by poukazovali na výskyt chýb. Následne bolo potrebné, vzhľadom na požiadavky normy, previesť testovanie aj s použitím uhlovej sondy so sklonom 60 metódou DAC, ktorá na monitore vytvorila hodnotiacu krivku. Počas skúšky boli zaznamenané jemné šumy echa, ktoré boli vyhodnotené ako šumy prostredia a ich hodnoty menšie ako -6.0 dB boli pre analýzu nepodstatné. Významné zvýšenia echa na -6.0 dB nastalo počas priebehu testovania zvarového spoja materiálu S460 ML vyhotoveného metódou TIG.

Echo pretínajúce krivku bolo detegované 3 mm od osi zvaru v hĺbke 4 mm a rozsahu 4 mm (obr. 4).



Obr. 4 Echo detegovanej chyby

Fig. 4 Return signal of the detected error

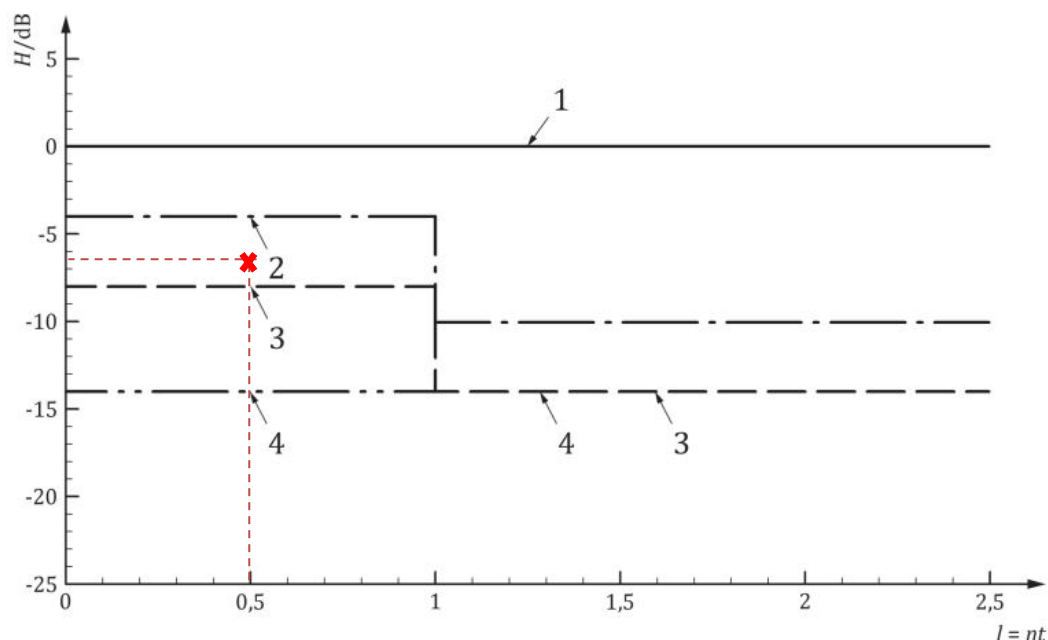
Úroveň chyby bola určená podielom dĺžky chyby l a hrúbky materiálu t . Dĺžka chyby bola zistená pomalým prechodom sondy v mieste zvýšenej hodnoty echa zľava doprava.

$$l = n \cdot t \rightarrow n = \frac{l}{t} = \frac{4 \text{ mm}}{8 \text{ mm}} = 0,5 \quad (1)$$

Kde: l - dĺžka chyby, mm,
 t - hrúbka základného materiálu, mm
 n - koeficient, -.

Where: l - defect length, mm,
 t - base material thickness, mm
 n - multiplier, -.

Po stanovení hodnoty úrovne chyby bolo možné realizovať grafické vyhodnotenie vynesím hodnoty koeficientu n a výšky amplitúdy echa H do grafického znázornenia úrovni chýb podľa normy EN ISO 11666 (obr. 5). Výsledný prienik jasne definoval umiestnenie chyby v záznamovej úrovni, ktorá je v grafickom zobrazení znázornená oblasťou 3. Chyba bola vyhodnotená ako prípustná a bolo ju potrebné uviesť v protokole o vykonaní ultrazvukového skúšania.



Obr. 5 Grafické vyhodnotenie závažnosti identifikovanej chyby (ISO 11666:2018)
Fig. 5 Graphical evaluation of the severity of the identified error (ISO 11666:2018)

4 Záver

Vykonanie nedeštruktívnych skúšok zvarových spojov je neodmysliteľnou súčasťou preukázania ich kvalitatívnych vlastností. Konštrukčné ocele, ktoré boli v publikácii skúmané sú používané na bežné konštrukčné účely, ale i na viac namáhané konštrukcie, pri ktorých je bezchybnosť zvarového spoja nevyhnutnosťou. Ich rozdielnosť zabezpečuje prítomnosť legujúcich prvkov v základnom materiáli S460 ML, ktorý možno používať aj v náročnejších podmienkach. Na vyhotovenie zvarových spojov bola zvolená poloha zvarovania natupo a boli použité technológie zvarovania MMA, TIG a MAG. Cieľom príspevku bolo overenie kvalitatívnych vlastností zvarových spojov na základe vykonania nedeštruktívnych skúšok - vizuálnej kontroly, penetračnej skúšky a ultrazvukovej skúšky.

Vizuálna skúška ako prvotná kontrola zvarov identifikovala povrchové nedostatky vo forme nadmerného prievaru koreňa zvarového spoja S355J2+N vyhotoveného metódou TIG a výškou 2,2 mm. Po porovnaní s požiadavkami normy bola táto chyba vyhodnotená ako prijateľná bez ovplyvnenia zvaru.

Prostredníctvom penetračnej metódy boli zistené jemné ryhy na povrchu zvaru materiálu S355J2+N vyhotoveného metódou MAG, ktoré avšak nebolo spôsobené účinkom zvarovania. Zistená chyba vzniknutá čistením zvarového spoja teda neovplyvňuje kvalitu daného zvaru a je skôr estetickým nedostatkom, ktorým je potrebné sa vyvarovať.

V rámci ultrazvukového testovania priamou sondou bolo možné skonštatovať, že dráhy ultrazvukových vln boli takmer totožné s hrúbkou materiálu, čo vypovedalo o kvalite zvarových spojov bez výskytu tvarových odchýlok. Pri skúške uhlovou sondou bol zistený výskyt chyby v zvarovom spoji materiálu S460 ML vyhotovenom technológiou TIG. Prostredníctvom grafického vyhodnotenia bola diskontinuita vyhodnotená ako prípustná. Nachádzala sa v oblasti záznamovej úrovne a bolo ju potrebné uviesť v protokole o ultrazvukovom testovaní.

5 Literatúra

ÇEVİK B. 2018. Analysis of welding groove configurations on strength of S275 structural steel welded by FCAW. In *Journal of Polytechnic* [online], 2018; 21(2) : 489-495 [cit. 2025-03-08]. ISSN: 2147-9429. Dostupné na: <<https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/421764>>.

ELEKTROLAS. 2024. Visual welding inspection according to ISO 5817. *Elektrolas*. Online. Aktualizované 2025-03-10. Dostupné: <<https://www.elektrolas.com/en/visual-welding-inspection-iso5817>> [zobrazené 2025-03-10].

EN ISO 17640. 2018. *Non-destructive testing of welds – Ultrasonic testing – Technique, testing levels, and assessment*.

FAJRIN A. – SUTRISNO R. – PUTRA L. G. J. 2024. NDT Testing with Visual Testing Method in the Inside Upper Frame 6015 Area with GMAW Welding Based on 1E0099. [online], vol. 4, no. 1 [cit. 2025-03-10]. ISSN 2776-3536. Dostupné na: <<https://ejurnal.itats.ac.id/jmesi/article/download/5125/3930>>.

ISO 11666. 2018. *Non-destructive testing of welds – Ultrasonic testing – Acceptance levels*

LEŽDÍK, V. – MIČIAN, M. – PATEK, M. 2016. *Schvaľovanie postupov zvarovania kovových materiálov a plastov*. Žilina: P+M, s.r.o. 204s. ISBN 978-80-969599-2- 1.

PENG CH. – BAI L. – ZHANG J. – DRINKWATER B.W. 2018. The sizing of small surface-breaking fatigue cracks using ultrasonic arrays. In: *NDT and E International*. [online], vol. 99, issues 64-71, pp. 1-154 [cit. 2025-03-12]. ISSN 0963-8695. Dostupné na: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963869518301567?via%3Dihub>>.

SEJČ, P. 2013. *Technológia I. Zváranie*. Bratislava. Slovenská technická univerzita. 98s. ISBN 978-80-227-4099-9.

SCHRÖDER M. – BIEDERMANN CH. – VILBRANDT R. 2013. On the applicability of dye penetrant tests on vacuum components: Allowes or forbidden? In: *Fusion Engineering and Design*. [online], vol. 88, issues 9-10, pp. 1947-1950 [cit. 2025-03-10]. ISSN 0920-3796. Dostupné na: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0920379612005352>>.

TOYODA M. – MOCHIZUKI M. 2004. Control of mechanical properties in structural steel welds by numerical simulation of coupling among temperature, microstructure, and macro-mechanics. In *Science and Technology of Advanced Materials 5* [online], 2004; 255-266 [cit. 2025-03-08]. ISSN 1878-5514. Dostupné na: <<https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1016/j.stam.2003.10.027>>.

Súhrn

Zámerom článku je posúdenie kvalitatívnych vlastností zvarových spojov zvolených konštrukčných materiálov s cieľom ich hodnotenia pre nároky predvýrobnej skúšky podľa normy EN 15085. K splneniu cieľa boli zvolené nízkouhlíkové konštrukčné materiály s podobným chemickým zložením, pričom vyhotovenie zvarových spojov bolo realizované technológiami zvarovania MMA, TIG a MAG. Vytvorené zvarové spoje boli následne testované nedeštruktívnymi skúškami (vizuálna kontrola, penetračná skúška, ultrazvuková skúška), na

základe ktorých bolo zistené splnenie kvalitatívnych parametrov skúmaných zvarových spojov podľa príslušných noriem. Hodnotenie výsledkov prebiehalo v súlade s požiadavkami normy EN 15085 a dokazovalo vhodnosť kvalitatívnych vlastností skúmaných zvarových spojov pre výrobu.

Kľúčové slová: konštrukčná oceľ, zvarový spoj, predvýrobná skúška, nedeštruktívne skúšanie

Autori vyjadrujú poďakovanie Ing. Adamovi Gubovovi a Bc. Tomášovi Novákovi zo spoločnosti LEWEMA ŠVEC a SPOL, s. r. o. za pomoc pri vyhotovení zvarových spojov a realizácii nedeštruktívneho skúšania.

ZNÍŽOVANIE ÚRAZOVOSTI PROSTREDNÍCTVOM AUDITOV BEZPEČNOSTI PRÁCE NA VYBRANOM PRACOVISKU

REDUCING ACCIDENT RATES THROUGH OCCUPATIONAL SAFETY AUDITS AT A SELECTED WORKPLACE

MIROSLAVA FANČOVIČOVÁ – MIROSLAV ŽITŇÁK

Abstract

This study addresses the issue of reducing workplace accidents through safety audits conducted in the form of a questionnaire. In the context of the increasing emphasis on occupational safety in industrial sectors, safety auditing represents a key tool for identifying and eliminating potential risks. The paper presents the creation and application of a questionnaire focused on determining hazards and risks during the performance of work at Plastic Omnium Auto Exteriors, s.r.o. Hlohovec. The analysis of data obtained from the questionnaire, completed by production line operators, focuses on the pressing plant and loading dock departments, with the aim of examining the results of individual questions in detail and proposing effective measures to reduce accident rates.

Key words: occupational safety, audit, questionnaire, accident rate, industry, Plastic Omnium Auto Exteriors, s.r.o.

1 Úvod

V súčasnom priemyselnom prostredí predstavuje bezpečnosť na pracovisku kritický faktor pre ochranu zamestnancov a zabezpečenie efektívnosti výrobných procesov. S ohľadom na inherentné riziká spojené s výrobnými zariadeniami a procesmi, systematické bezpečnostné audity sú nevyhnutné pre identifikáciu nebezpečenstiev, minimalizáciu rizík a implementáciu preventívnych opatrení. Táto štúdia skúma význam auditov bezpečnosti práce a ich aplikáciu v spoločnosti Plastic Omnium Auto Exteriors, s.r.o. Hlohovec, s využitím dotazníkovej metódy na získanie postojov zamestnancov k bezpečnosti a identifikáciu hlavných rizikových faktorov na pracovisku. Audity sú kľúčovým prvkom každého manažérskeho systému vrátane BOZP MS. Audit je definovaný ako systematický, nezávislý a zdokumentovaný proces získavania objektívnych dôkazov a ich objektívneho hodnotenia s cieľom určiť, do akej miery sú splnené kritériá auditu (STN EN ISO 19011, 2019). Proces hodnotenia rizík sa môže výrazne líšiť v závislosti od špecifických rizík spojených s podnikaním a predpisov o dodržiavaní predpisov relevantných pre jeho odvetvie. Napriek tomu, bez ohľadu na typ podnikania alebo odvetvie, môžu organizácie dodržiavať tieto všeobecné kroky (Drahoš; Weiss, 2019).

Pri hodnotení zdravotných rizík pre zamestnancov na interných aj externých pracoviskách sa proces opiera o poznatky získané z monitorovania podmienok a výsledkov

kvalitatívnych alebo kvantitatívnych hodnotení rôznych faktorov. Tieto faktory zahŕňajú sociálne, chemické, biologické a iné prvky, ktoré sú súčasťou pracovného prostredia, vrátane fyzickej a psychickej záťaže. Súhrnne sa tieto faktory označujú ako faktory práce a pracovného prostredia (Drahoš; Weiss, 2019).

Cieľom práce je analyzovať možnosti znižovania úrazovosti prostredníctvom auditov bezpečnosti práce v spoločnosti Plastic Omnium Auto Exteriors, s.r.o. Hlohovec.

Špecifické ciele zahŕňajú:

- Tvorbu a aplikáciu dotazníka na hodnotenie bezpečnosti práce.
- Identifikáciu hlavných bezpečnostných rizík na pracovisku.
- Vyhodnotenie efektivity zavedených bezpečnostných opatrení.
- Formulovanie odporúčaní pre zlepšenie bezpečnosti práce.
- Analýzu implementácie preventívnych opatrení a návrh ich zefektívnenia.
- Porovnanie výsledkov auditu s aktuálnymi legislatívnymi normami a trendmi BOZP

2 Materiál a metódy

Štúdia využíva kvantitatívnu metódu zberu dát prostredníctvom dotazníka, ktorý bol navrhnutý na meranie vnímania bezpečnosti zamestnancami. Dotazník obsahoval sekcie zamerané na identifikáciu nebezpečenstiev, hodnotenie osobných ochranných pracovných prostriedkov (OOPP), zaznamenávanie prípadov úrazovosti a subjektívne hodnotenie pracovných podmienok. Po pilotnom testovaní na malej vzorke zamestnancov bol dotazník distribuovaný v tlačenej forme operátorom všetkých výrobných liniek. V dotazníku boli použité tieto typy otázok:

- Aplikovateľné pre všetky oddelenia, ale konkrétne.
- Prevažne uzavreté (ÁNO/NIE), s možnosťou hodnotiacej stupnice.
- Založené na preskúmaní pracovného prostredia, inšpirované NIP.
- Jasné, stručné, relevantné, s možnosťou "N/A".
- Pokrývajúce spektrum možných odpovedí.

Okrem dotazníka boli analyzované interné bezpečnostné predpisy spoločnosti, pravidlá BOZP a súvisiace legislatívne požiadavky. Výsledky boli komparované s odporúčaniami normy ISO 45001, ktorá stanovuje štandardy pre systémy riadenia bezpečnosti a ochrany zdravia pri práci.

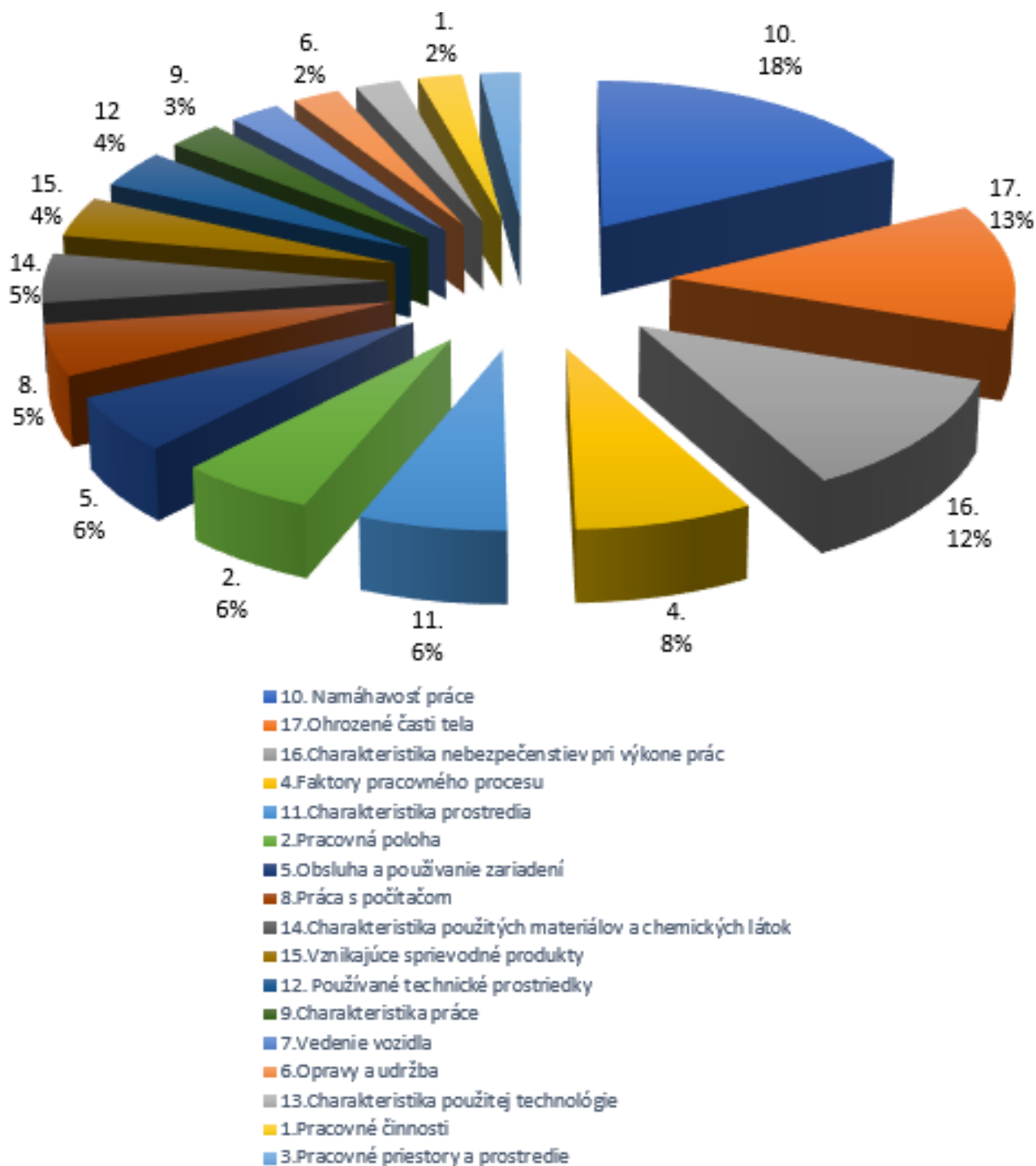
3 Výsledky a diskusia

V rámci štúdie realizovanej v spoločnosti Plastic Omnium Auto Exteriors, s.r.o. Hlohovec sa pomocou dotazníka medzi zamestnancami analyzovali bezpečnostné faktory a hlavné riziká na pracovisku.

Práca analyzuje odpovede zamestnancov v Plastic Omnium Auto Exteriors, s.r.o. Hlohovec, kde pracuje približne 600 zamestnancov. Výroba sa zameriava na exteriérové časti automobilov (napr. nárazníky, spojler, zadné dvere) pre značky Stellantis, Jaguar Land Rover a Volkswagen.

Dotazník sa aplikoval na oddeleniach lisovne, lakovne, montáže a logistiky, pričom sa špecificky analyzovali odpovede z lisovne a nakládka v lakovni. Výsledky ukázali, že najrizikovejšie faktory v práci sú (Obr.1) :

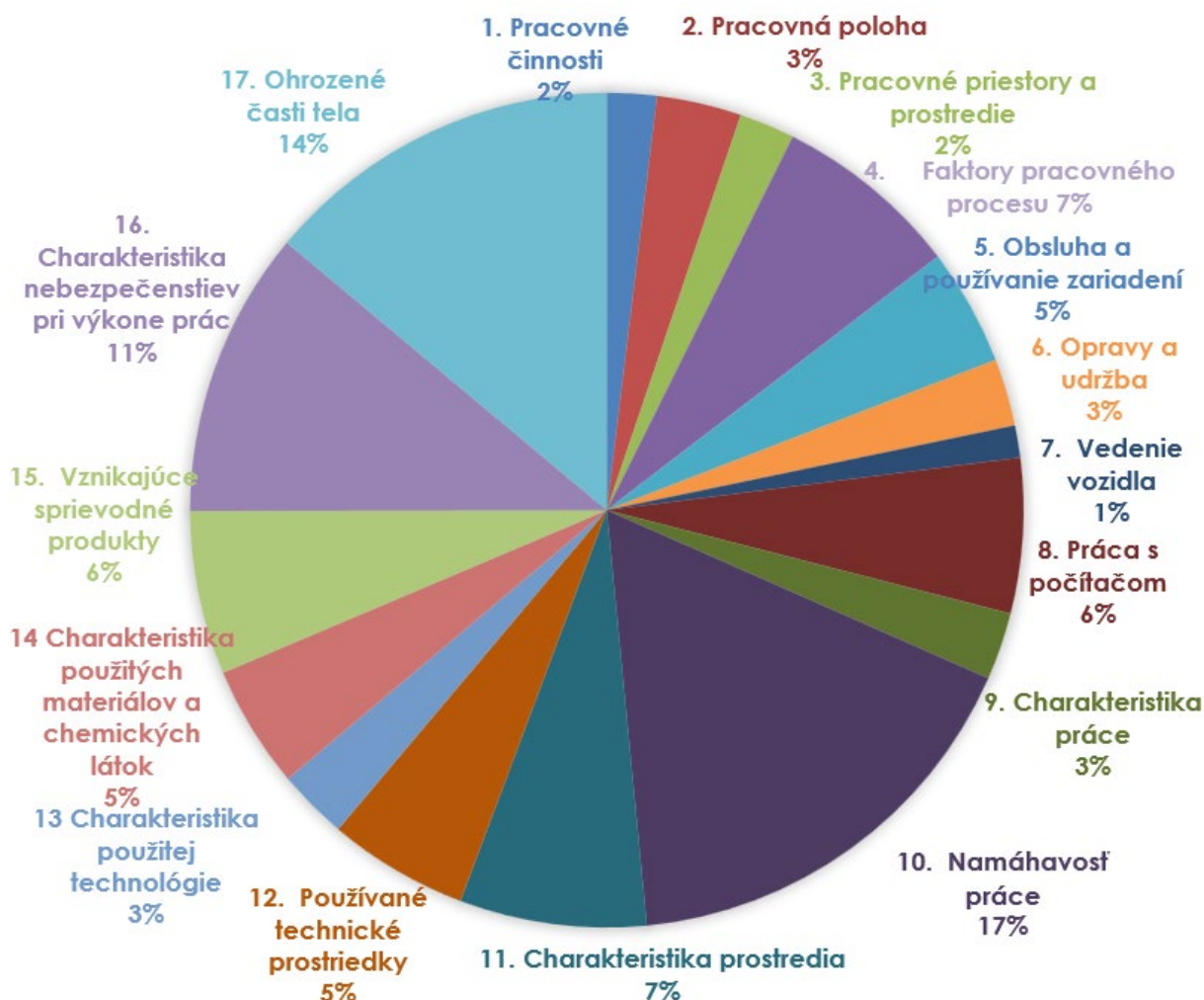
- **Namáhavosť práce** (18 % zamestnancov označilo ako hlavný problém)
- **Ohrozené časti tela** (13 %) – chrbtica, končatiny, zrak, sluch, koža
- **Charakteristika nebezpečenstiev** (12 %) – pošmyknutie, zakopnutie, porezanie, preťaženie, hluk



Obr.1 Výsledky z dotazníku - všetky výrobné linky
Fig.1 Results from the questionnaire - all production lines

V rámci našej analýzy sa teraz zameriame na konkrétne oddelenia lisovne a nakládky v spoločnosti Plastic Omnium Auto Exteriors, s.r.o. Tieto oddelenia predstavujú kľúčové miesta výroby, kde sa realizujú náročné operácie s potenciálne vysokým rizikom pre zamestnancov

3.1.1. Lisovňa výsledky:

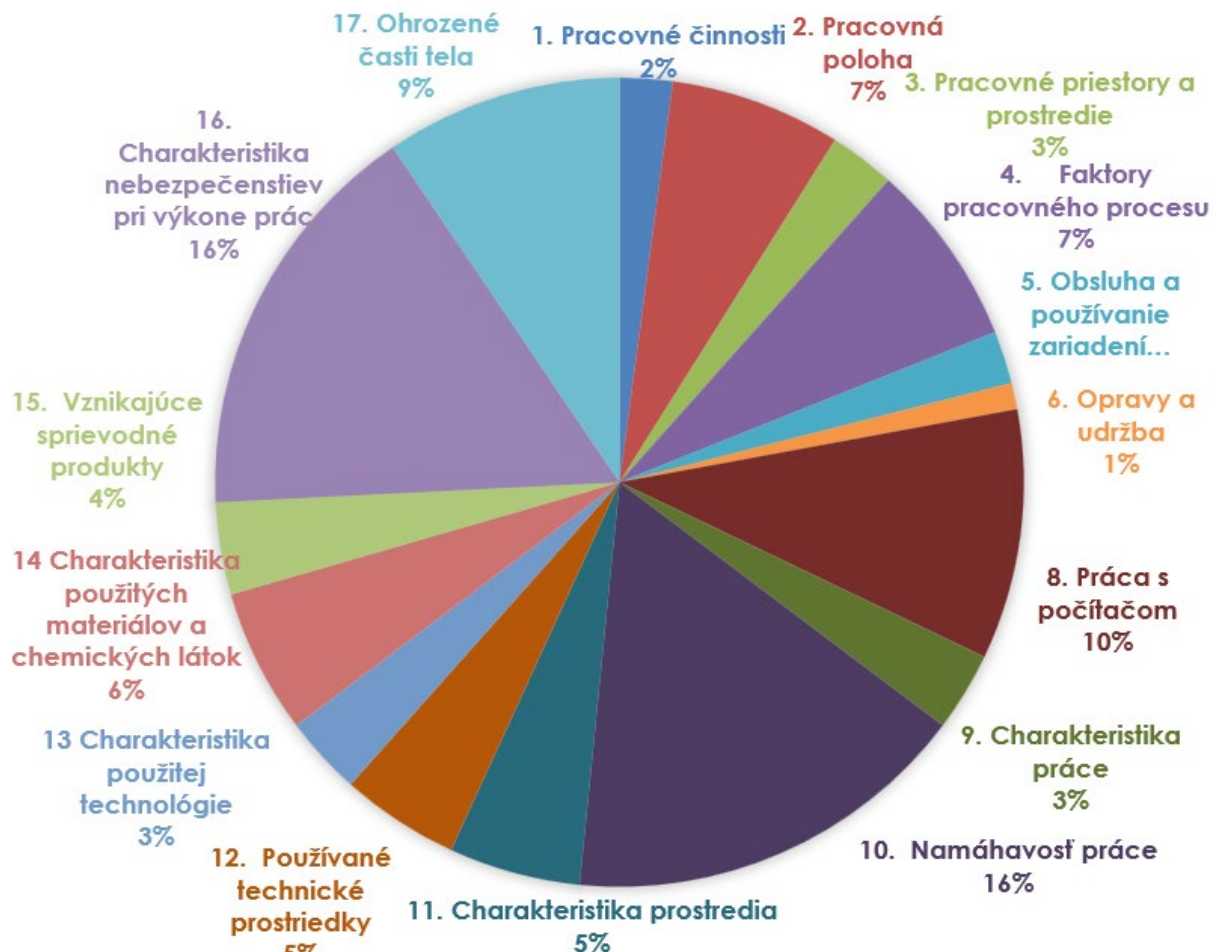


Obr. 2 Výsledky z lisovne
Fig. 2 Results from the injection

Analýza výsledkov dotazníkov zameraných na vnímanie rizík operátormi na lisovni odhalila tri kľúčové oblasti (Obr.2), ktoré respondenti vnímali ako najvýznamnejšie z hľadiska potenciálnych ohrození bezpečnosti práce.

1. **Namáhavosť práce 17%**
2. **Ohrozené časti tela 14%**
 - napr. dlaň a prsty, končatiny, chrbtica
3. **Charakteristika nebezpečenstiev pri výkone prác 11%**
 - napr. hluk, zakopnutie, pošmyknutie, preťaženie chrbtice

3.1.2. Nakládka výsledky:

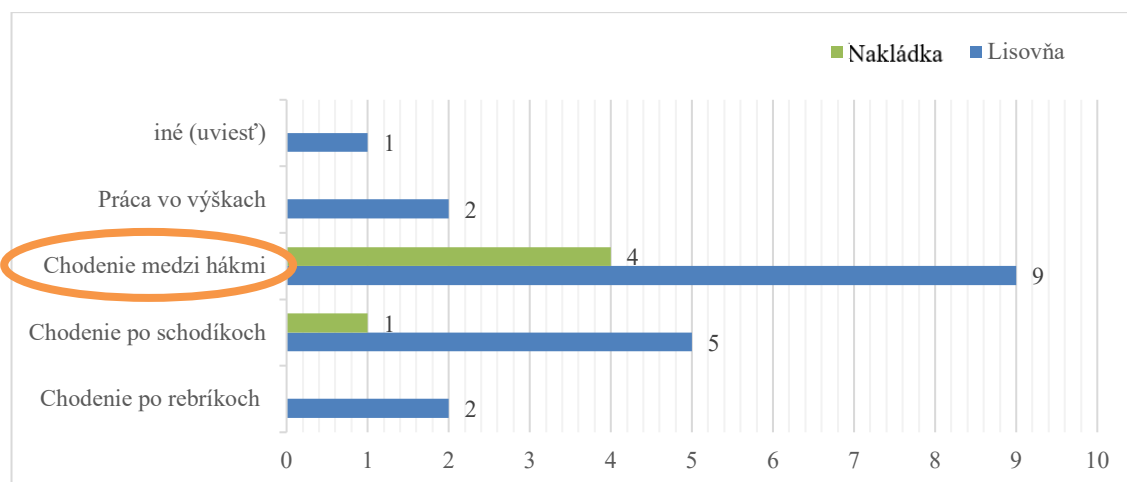


Obr. 3 Výsledky z nakládky
Fig. 3 Results from the loading area (paint shop)

Podľa výsledkov dotazníkového prieskumu na nakládke sa ako najvýznamnejšie faktory ovplyvňujúce bezpečnosť práce javili (Obr.3) :

1. Namáhavosť práce 16%
2. Charakteristika nebezpečenstiev pri výkone prác 16%
- napr. výbuch, hluk, vdýchnutie nebezpečných látok)
3. Práca s počítačom 10%
4. Faktory pracovného procesu 7%
- napr. nočná práca, zhon, stres)

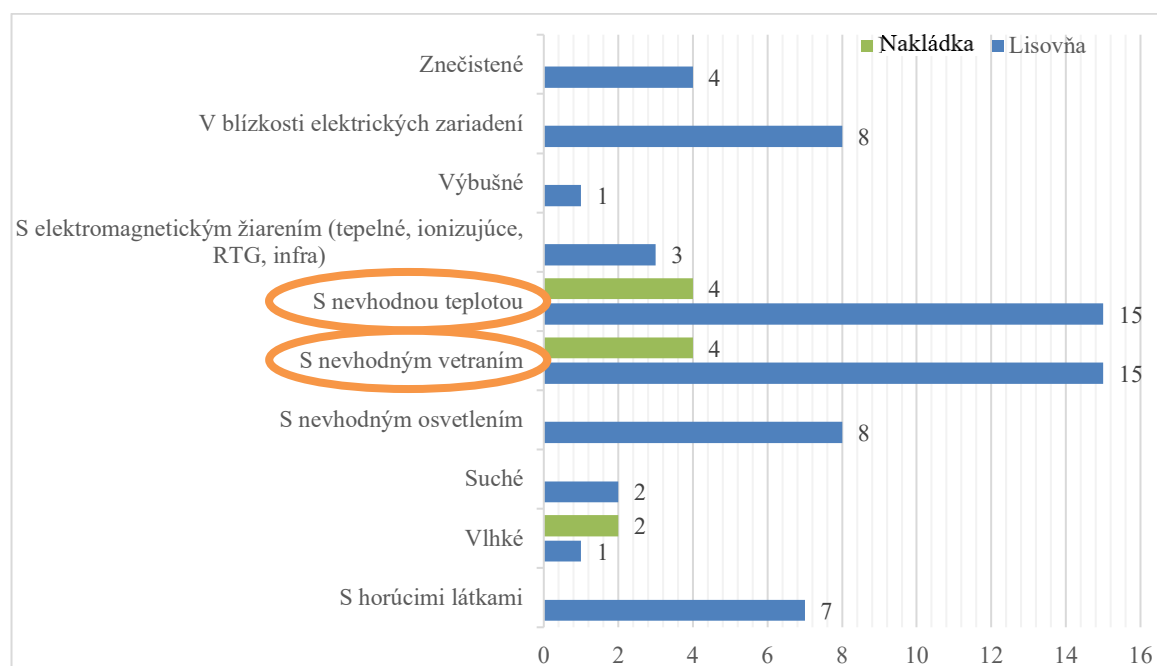
3.2. Porovnanie odpovedí z vybraných otázok

PRACOVNÉ PRIESTORY A PROSTREDIE (Otázka č. 3)

Obr. 4 Porovnanie odpovedí operátorov z nakládky a lisovne

Fig. 4 Comparison of operators' responses from the loading area and pressing plant

V rámci analýzy pracovných priestorov v oddeleniach lisovne a nakládky bola identifikovaná významná riziková oblasť spojená s pohybom medzi hákmi (Obr.4). Operátori v oboch oddeleniach sa pravidelne pohybujú v priestoroch s hákmi, či už pri prechádzaní cez pracovisko alebo pri samotnom vešaní dielov, čo vytvára zvýšené riziko narazenia do týchto pevných prvkov. Okrem toho, pracovné priestory obsahujú výškové rozdiely, ktoré predstavujú potenciálne nebezpečenstvo pádu z výšky pre zamestnancov. V kategórii "iné" bola identifikovaná aj práca pri lisoch ako ďalší rizikový faktor.

CHARAKTERISTIKA PROSTREDIA (Otázka č. 11)

Obr. 5 Porovnanie odpovedí operátorov z nakládky a lisovne

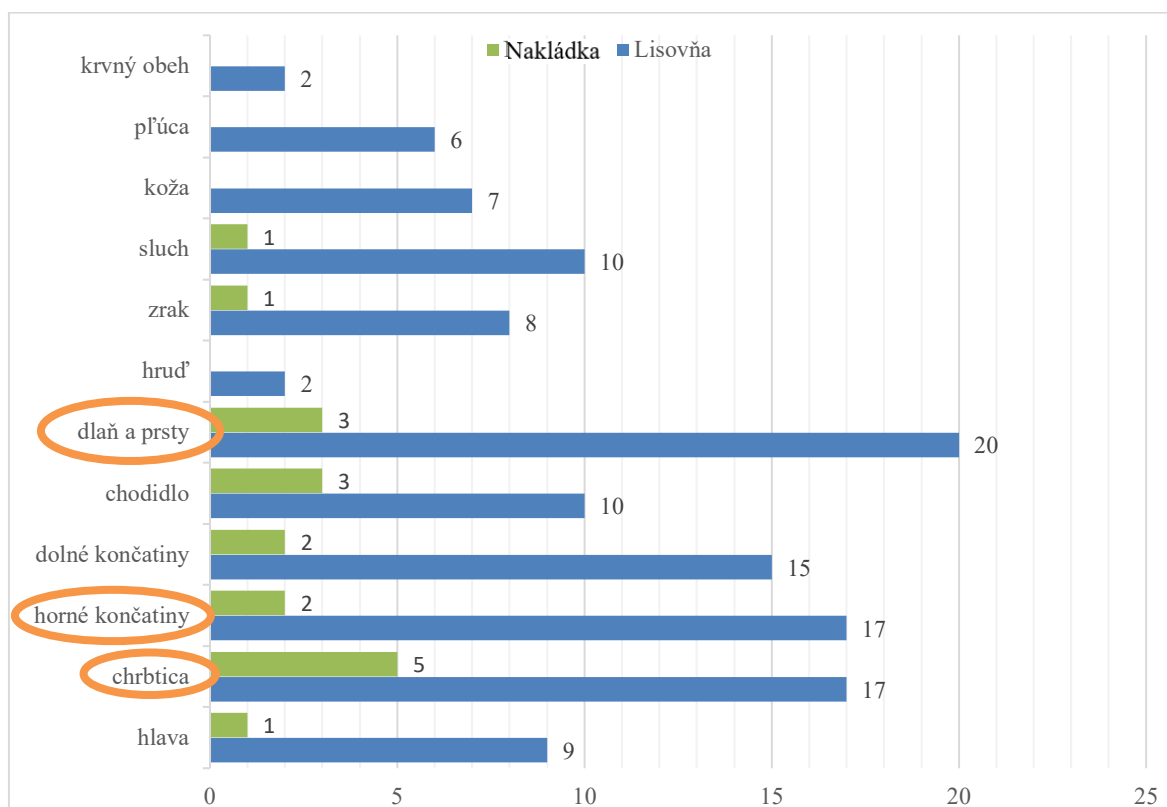
Fig. 5 Comparison of operators' responses from the loading area and pressing plant

Operátori v oddeleniach lisovne a nakládky vnímajú riziká spojené s nepriaznivými vplyvmi pracovného prostredia ako významný faktor ovplyvňujúci ich bezpečnosť a zdravie (Obr.5). Pracovné prostredie v týchto oddeleniach sa vyznačuje vysokými teplotami, najmä v letných mesiacoch, a nedostatočným vetraním, čo vytvára náročné podmienky pre zamestnancov. Navyše, výpary z lakovne, ktoré sa šíria do oddelenia nakládky, môžu ešte zhoršiť situáciu a negatívne ovplyvniť dýchanie a celkovú pohodu pracovníkov.

Vystavenie vysokým teplotám predstavuje pre pracovníkov riziko dehydratácie a iných zdravotných problémov spojených s tepelným stresom. Zabezpečenie pravidelných prestávok na oddych a hydratáciu, ako aj poskytnutie prístupu k pitnej vode, sú preto nevyhnutné opatrenia na ochranu zdravia zamestnancov.

Nedostatočné vetranie môže viesť k hromadeniu škodlivých plynov, pár a prachu v pracovnom prostredí, čo môže spôsobiť dýchacie problémy a iné zdravotné komplikácie. Implementácia efektívnych ventilačných systémov a monitorovanie kvality ovzdušia sú preto kľúčové pre zabezpečenie bezpečného a zdravého pracovného prostredia.

OHROZENÉ ČASTI TELA (Otázka č. 17)



Obr. 6 Porovnanie odpovedí operátorov z nakládky a lisovne

Fig. 6 Comparison of operators' responses from the loading area and pressing plant

Analýza dát z dotazníka identifikovala dlane a prsty, horné a dolné končatiny a chrbticu ako najrizikovejšie časti tela, ktoré sú najviac vystavené zraneniam a namáhaniu počas pracovnej činnosti (Obr.6). Táto zistená skutočnosť signalizuje potrebu hlbšej analýzy pracovných podmienok s cieľom identifikovať konkrétne faktory, ktoré prispievajú k zvýšenému riziku zranení v týchto oblastiach.

Možné príčiny zvýšeného rizika môžu zahŕňať opakované pohyby, manipuláciu s ťažkými bremenami, neergonomické pracovné pozície alebo špecifické pracovné operácie,

ako je napríklad odstrihovanie vtokov. Identifikácia týchto faktorov je kľúčová pre implementáciu efektívnych preventívnych opatrení, ktoré minimalizujú riziko zranení a zlepšujú celkovú bezpečnosť práce v danom prostredí.

Kontroly bezpečnosti sú pomerne obmedzené vo svojom rozsahu. Sú cieľovou a lokalizovanou hodnotiacou činnosťou. Majú tendenciu sústrediť sa na jedno konkrétne riziko, jednu pracovnú úlohu. Bezpečnostné audity sa pozerajú na širší, celkový obraz bezpečnostného programu spoločnosti a jeho výkonnosti. Snažia sa zhodnotiť bezpečnosť na organizačnej úrovni, namiesto toho, aby sa identifikovali konkrétne bezpečnostné problémy na pracovisku. Rôzne aspekty danej práce, použité vybavenie a pracovné prostredie by mali byť predmetom pravidelných kontrol, aby sa rýchlo identifikovali a odstránili riziká.

Vzhľadom na ich široký rozsah sa bezpečnostné audity vykonávajú oveľa menej často. Typicky sa audity uskutočňujú raz za rok. Avšak väčšie spoločnosti, spoločnosti bojujúce s problémami s dodržiavaním predpisov a tie, ktoré pôsobia v odvetviach s vysokým rizikom, sa môžu rozhodnúť pre polročné alebo štvrťročné bezpečnostné audity (Baksh, 2024).

Tieto audity sa môžu realizovať rôznymi spôsobmi, vrátane fyzických prehliadok, hodnotenia dokumentácie, technických auditov, rozhovorov s personálom a analýzy údajov. Každá metóda poskytuje jedinečný pohľad na bezpečnostné riziká a prispieva k identifikácii nedostatkov a zlepšeniu preventívnych opatrení. Kombinácia týchto prístupov umožňuje organizáciám komplexný pohľad na bezpečnosť a lepšie riadenie rizík v pracovnom prostredí. Kontrolný zoznam je jednou z najužitočnejších metód pri vykonávaní bezpečnostného auditu. Poskytuje štruktúrovaný rámec, ktorý audítorom umožňuje postupovať krok za krokom a zabezpečuje, že sa žiadne dôležité aspekty nezabudnú. Týmto spôsobom kontrolný zoznam zvyšuje presnosť, efektívnosť a konzistentnosť celého auditového procesu, čím pomáha zabezpečiť bezpečnosť a ochranu zamestnancov a aktív organizácie.

Pracovanie s kontrolným zoznamom dáva každému audítorovi jasnú predstavu o tom, ktoré úlohy musia vykonať. Ak je kontrolný zoznam správne usporiadaný, tiež ich bude sprevádzať každým krokom v logickom poradí. Tento proces robí oveľa efektívnejším s menej plytvania času (Baksh, 2024).

Audit bezpečnosti na pracovisku môže byť oživený inovatívnym prístupom, ktorý zahŕňa odmeňovanie zamestnancov za ich aktívnu účasť na zlepšovaní bezpečnostných štandardov. Jedným z nástrojov tohto prístupu je odmeňovanie zamestnancov za ich účasť na auditoch bezpečnosti. Keď sa zamestnanci zapájajú do procesu auditu a aktívne prispievajú k identifikácii bezpečnostných rizík a vylepšení, zaslúžia si uznanie a odmenu za ich úsilie. Odmeňovanie môže byť realizované rôznymi spôsobmi. Dôležité je, aby odmeny boli spravodlivé, transparentné a motivujúce pre zamestnancov (McVanel, 2024).

Zamestnanci sa cítia ocenení za svoje úsilie a majú väčší záujem o dodržiavanie bezpečnostných noriem a postupov. Celkovo možno povedať, že odmeňovanie zamestnancov za ich účasť na auditoch bezpečnosti je efektívny spôsob, ako podporiť bezpečnostnú kultúru v organizácii a zvýšiť angažovanosť a zodpovednosť zamestnancov voči bezpečnosti na pracovisku (McVanel, 2023).

Ďalšou metódou môže byť vykonanie auditu prostredníctvom dotazníkov, čo sa nám ukázalo aj v našej práci, kde sme audit týmto spôsobom vykonali ako efektívny spôsob vykonávania auditu, pretože v pomerne krátkom čase dokážeme získať potrebné informácie. Výhody auditov bezpečnosti vykonaných prostredníctvom dotazníkov sú zreteľné. Tieto dotazníky umožňujú zamestnancom rôznych úrovní a oddelení vyjadriť svoje názory a skúsenosti s bezpečnosťou. Ďalšou výhodou je možnosť vyjadriť obavy a názory anonymne, čo podporuje úprimnosť a otvorenú komunikáciu.

Tieto dotazníky sú taktiež relatívne jednoduchým a rýchlym spôsobom zhromažďovania informácií o bezpečnosti. Na rozdiel od metódy odmeňovania nie je nutné čakať na podnety od zamestnancov. Avšak, táto rýchlosť môže mať svoje nevýhody. Niektorí zamestnanci môžu vyplniť dotazník len z povinnosti, čo môže zvrátiť výsledky. Je dôležité zabezpečiť, aby boli dotazníky vyplnené úprimne a dôkladne, aby výsledky boli čo najpresnejšie a najužitočnejšie pre zlepšenie bezpečnosti v pracovnom prostredí. Takýto prístup umožňuje rýchlejšie zlepšenie bezpečnostných opatrení a podporuje bezpečnejšie pracovné prostredie pre všetkých zamestnancov.

Správne položené otázky môžu pomôcť odhaliť koreňové príčiny bezpečnostných problémov, odhaliť silné a slabé stránky systému riadenia bezpečnosti a poskytnúť cennú spätnú väzbu a odporúčania na zlepšenie. Naopak, nesprávne položené otázky môžu viesť k povrchným alebo nepresným zisteniam, prehliadnutým príležitostiam a plytvaniu zdrojmi (Hussain, 2023).

4 Záver

Táto štúdia potvrdila, že auditovanie bezpečnosti práce (BOZP) prostredníctvom dotazníkovej metódy predstavuje efektívny nástroj pre identifikáciu potenciálnych rizík a návrh účinných preventívnych opatrení. Získané výsledky zdôrazňujú potrebu pravidelných kontrol, komplexných školení zamestnancov a zlepšenia celkových pracovných podmienok v analyzovanej spoločnosti.

Implementácia navrhnutých opatrení má potenciál výrazne znížiť úrazovosť, zlepšiť pracovné prostredie a zvýšiť produktivitu zamestnancov. Zistenia tejto štúdie môžu byť využité nielen v analyzovanom podniku, ale aj v iných priemyselných podnikoch, kde je BOZP kľúčovým faktorom pre úspešnú a bezpečnú prevádzku. Pravidelné audity a preventívne opatrenia sú nevyhnutné pre vytvorenie bezpečného pracovného prostredia a ochranu zdravia zamestnancov vo všetkých odvetviach.

5 Literatúra

BAKSH, Kurina, 2024. The Proper Way to Conduct a Safety Audit. *SAFEOPEDIA*. Online. 2024. Dostupné na: <<https://www.safeopedia.com/the-proper-way-to-conduct-a-safety-audit/2/4787>> [cit. 2024-04-23].

DRAHOŠ, Milan; WEISS, Peter, 2019. Legislatívne a finančné aspekty súvisiace s vykonávaním rizikových prác. *Bezpečnosť práce v praxi*. Online. vol. 19, no. 12. Dostupné na: <<https://www.pracovnepravo.sk/sk/casopis/bezpecnost-prace-v-praxi/legislativne-a-finančne-aspekty-suvisiace-s-vykonavaním-rizikových-prac.m-39.html>> [cit. 2024-02-04]

HUSSAIN, Muhammad. 2023. Augmented reality sickness questionnaire (ARSQ): A refined questionnaire for augmented reality environment. *Safety Science*. Online, vol. 97. Dostupné na: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/>> [cit. 2024-04-02].

McVANEL, 2023. Let's Talk Health and Safety: 5 Ways You Can Recognize Safety at Work All Year Long. *Greatness Magnified*. Online, ©2024. Dostupné na: <https://greatnessmagnified.com/lets-talk-health-and-safety-5-ways-you-can-recognize-safety-at-work-all-year-long/?trk=article-ssr-frontend-pulse_little-text-block> [cit. 2024-03-28].

McVANEL, 2024. Building a Safety Culture: Expert Advice on Rewards and Recognition. *LinkedIn*. Online. ©2024. Dostupné na: <<https://www.linkedin.com/pulse/building-safety-culture-expert-advice-rewards-sarah-hmhhc>> [cit. 2024-03-28].

ÚRAD PRE NORMALIZÁCIU, METROLÓGIU A SKÚŠOBNÍCTVO SR. 2019. STN EN ISO 19011: 2019 (01 0330). *Návod na auditovanie systémov manažérstva*.

Súhrn

Táto štúdia sa zaoberá problematikou znižovania úrazovosti na pracovisku prostredníctvom auditov bezpečnosti práce, realizovaných formou dotazníka. V kontexte rastúceho dôrazu na bezpečnosť práce v priemyselných odvetviach, auditovanie bezpečnosti práce predstavuje kľúčový nástroj pre identifikáciu a elimináciu potenciálnych rizík. Práca prezentuje tvorbu a aplikáciu dotazníka zameraného na stanovenie nebezpečenstiev a rizík pri výkone zamestnania v spoločnosti Plastic Omnium Auto Exteriors, s.r.o. Hlohovec. Analýza dát získaných z dotazníka, vyplneného operátormi výrobných liniek, sa zameriava na oddelenia lisovne a nakládky, s cieľom detailne preskúmať výsledky jednotlivých otázok a navrhnúť efektívne opatrenia na zníženie úrazovosti.

Kľúčové slová: bezpečnosť práce, audit, dotazník, úrazovosť, priemysel, Plastic Omnium Auto Exteriors, s.r.o.

DETEKCIA A ZÁZNAM TRAJEKTÓRIE JEDNOTLIVÝCH KĽBOV VYBRANÝCH ZVIERAT POMOCOU KAMEROVÉHO SNÍMANIA A ANALÝZY OBRAZU

DETECTION AND RECORDING OF THE TRAJECTORY OF INDIVIDUAL JOINTS OF SELECTED ANIMALS USING CAMERA IMAGING AND IMAGE ANALYSIS

KAROL GÖRČI – LADISLAV TÓTH

Abstract

The aim of the work was to develop image processing algorithms to track and record the movement of contrast points (targets) located on the joints of a dog in motion. The resulting algorithm was created in the C Sharp programming language, using the WinForms graphical interface. An integral part was the calibration of the camera using a calibration scale, which was used to calculate the distances of the individual targets from the origin of the coordinate system. The program works with recorded video, but parameterization and adjustment of individual filters is possible in real time. The resulting program can greatly facilitate the work when investigating imperfections in the gait of a dog or other animal. However, the potential of the program is limited to 2 planes (2D), and the difficulty of detecting individual targets depends on the quality of the recorded video (lighting conditions, frames per second, camera resolution, etc.).

Key words: Image processing, Camera calibration, Blob detection, Joints of a dog

1 Úvod

V súčasnosti sa analýza pohybu zvierat stáva dôležitou súčasťou výskumu v oblastiach veterinárnej medicíny, etológie či biomechaniky. Presné a objektívne hodnotenie pohybu má zásadný význam pri diagnostike porúch pohybového aparátu, pri hodnotení účinnosti rehabilitácie, ako aj v športovej príprave zvierat. Tradičné metódy, ako sú vizuálne pozorovanie alebo manuálne vyhodnocovanie videí, sú však časovo náročné a subjektívne. Z tohto dôvodu rastie záujem o využitie metód počítačového videnia a spracovania obrazu, ktoré umožňujú automatickú a kvantitatívnu analýzu pohybu (Sturaro et al., 2017).

Moderné prístupy často využívajú značkovanie kĺbov zvierat kontrastnými bodmi, ktoré sú následne sledované počas pohybu. Kľúčovým predpokladom pre získanie presných metrik je správna kalibrácia kamery a korekcia jej optického skreslenia. Z týchto dôvodov je dôležité vytvoriť spoľahlivý nástroj, ktorý umožní nielen sledovanie značiek v obraze, ale aj prepočet ich pozícií na reálne vzdialenosti v milimetroch (Zhang, 1998; Heikkilä a Silvén, 1997; Letanovská, 2014).

Cieľom práce bolo navrhnúť a implementovať algoritmus na sledovanie kontrastných bodov umiestnených na tele psa počas pohybu na bežeckom páse. Súčasťou riešenia je kalibrácia kamery pomocou referenčnej mierky, spracovanie obrazu pomocou binarizácie, filtrácie a morfológických operácií, ako aj automatická identifikácia a sledovanie bodov v čase. Výsledky práce majú potenciál uľahčiť analýzu chôdze zvierat v klinickej alebo výskumnej praxi.

2 Materiál a metódy

Na záznam bežiacieho psa na páse s kontrastnými bodmi a vytvorenie algoritmu sme použili nasledujúce prístroje:

- Webkamera A4tech PK-910P HD WebCam

Tab. 1 Špecifikácia kamery A4tech PK.910P HD WebCam
Tab. 1 Specifications of camera A4tech PK.910P HD WebCam

Rozlíšenie:	1280 x 720 pixelov
Zorný uhol:	68°
Typ zaostrenia:	Pevné
Rozsah zaostrenia:	600 mm a viac
Počet snímkov za sekundu:	30 fps
Výstupný formát:	MJPEG

- Bežecký pás pre psa Dog Runner Tracks

Tab. 2 Parametre bežeckeho pásu pre psov
Tab. 2 Parameters of the runner track for dogs

Rozmery zariadenia (D x Š x V):	1650 x 560 x 1000 mm
Hmotnosť zariadenia:	43 kg
Maximálna povolená hmotnosť:	120 kg
Rozsah rýchlostí:	0,8 – 13 km/h

- Notebook Victus by HP 16-D0811NC

Tab. 3 Parametre použitého počítača na spracovanie obrazu
Tab. 3 Parameters of the computer used for image processing

Operačný systém:	Windows 11
RAM:	8 GB DDR4
Grafická karta:	NVIDIA GeForce RTX 3050
Disk:	512 GB SSD

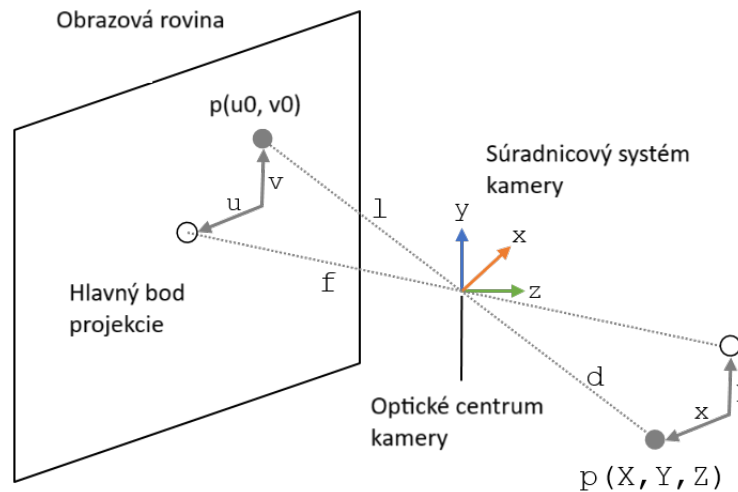
Metódy kalibrácie kamery

Kroky potrebné pri kalibrácii kamery vo všeobecnosti môžeme popísať nasledovne:

- Nájdenie matice kamery, ktorá popisuje vnútorné a vonkajšie parametre kamery,
- Výpočet koeficientov skreslenia šošovky kamery (Letanovská, 2014).

Vnútorne a vonkajšie parametre kamery

Tieto parametre sú kľúčové pre pochopenie toho, ako kamera premieta 3D body do 2D obrazu. Taktiež opisujú geometriu zobrazovania v rámci samotnej kamery a nie sú závislé od jej polohy alebo orientácie v priestore (ZHANG, 1998).



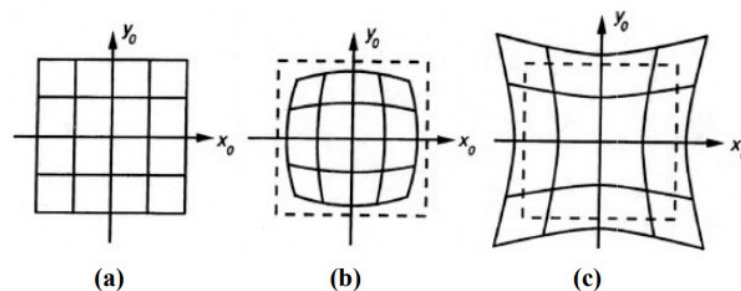
Obr. 1 Zjednodušený model perspektívnej projekcie
Fig. 1 Simplified model of perspective projection

Parametre skreslenia objektívu

Skreslenie objektívu je optická chyba, ktorá spôsobuje, že priame čiary v reálnej scéne sa v obraze javia ako zakrivené alebo deformované. Medzi základné typy skreslenia objektívu (šošoviek) patria:

Radiálne skreslenie – vzniká v dôsledku zakrivenia šošoviek, svetelné lúče sa nesprávne ohýbajú pri prechode objektívom (priame čiary sa javia ako zakrivené) (Letanovská, 2014).

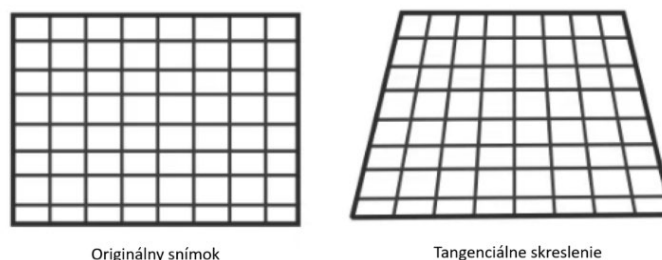
Pri radiálnom skreslení rozlišujeme ďalšie dva typy skreslení, a to: sudové skreslenie a vankúšové skreslenie. Sudové skreslenie môžeme pozorovať najmä pri širokouhlých objektívoch, kde platí, že objekt na obraze sa „vydúva“ smerom von, pričom okraje sú viac rozťahnuté. Naopak, vankúšové skreslenie je typické pre teleobjektívy, kde sa obraz javí ako „stiahnutý“ do stredu, teda priame čiary, ktoré by mali byť rovné, sa ohýbajú smerom dovnútra obrazu (Intrinsic camera parameters calibration, 2019).



Obr. 2 Druhy radiálneho skreslenia (a) obraz pred skreslením, (b) sudové skreslenie, (c) vankúšové skreslenie

Fig. 2 Types of radial distortion (a) image before distortion, (b) barrel distortion, (c) pincushion distortion

Tangenciálne skreslenie – nazývané aj decentrácia obrazu, je skreslenie spôsobené posunutou optickou osou objektívu voči obrazovému snímaču (optická os nie je kolmá na obrazový snímač). Toto skreslenie je dané nesprávnym zarovnaním šošoviek z výroby, alebo mechanickými vadami. Dôsledkom sú napr. posunuté objekty na jednej strane snímku viac ako na druhej strane, ide teda o asymetrické deformácie obrazu (Heikkilä a Silvén, 1997).



Obr. 3 Znáznornenie tangenciálneho skreslenia
Fig. 3 Tangential distortion illustration

Spracovanie obrazu v programovacom jazyku C Sharp

Neoddeliteľnou súčasťou detekcie terčiekov je spracovanie obrazu, na ktoré nám v programovacom jazyku C# slúži wrapper (obal) knižnice OpenCV, Emgu CV (Emgu CV, 2025). Spracovanie obrazu by sme mohli rozdeliť na tieto základné kroky:

- Získanie obrazu (napr. kamera),
- Konverzia na binárny obraz,
- Filtrácia a odstránenie šumu,
- Detekcia požadovaných hrán a kontúr,
- Výpočet alebo analýza dát (Dobeš, 2008).

Pri konverzii obrazu na binárny obraz môžeme chápať tento proces ako transformáciu obrazu na taký obraz, kde každý pixel môže nadobudnúť len dve možné hodnoty. Základné metódy binarizácie obrazu sú: prahovanie (thresholding), adaptívne prahovanie a špeciálna forma aplikovania farebnej masky `InRange()`, ktorá segmentuje obraz na základe zadaného farebného rozsahu (Uchida, 2013).

a)

```
public static double Threshold(
    IInputArray src,
    IOutputArray dst,
    double threshold,
    double maxValue,
    ThresholdType thresholdType
)
```

b)

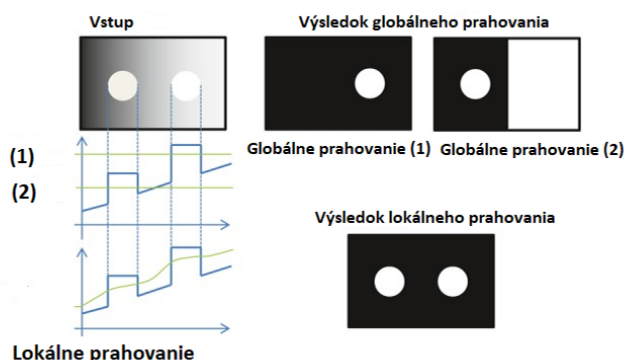
```
public static void AdaptiveThreshold(
    IInputArray src,
    IOutputArray dst,
    double maxValue,
    AdaptiveThresholdType adaptiveType,
    ThresholdType thresholdType,
    int blockSize,
    double param1
)
```

Obr. 4 Parametre prahovania a) parametre globálneho prahovania b) parametre adaptívneho prahovania

Fig. 4 Threshold parameters a) global threshold parameters b) adaptive threshold parameters

Rozdiel medzi jednoduchým globálnym prahovaním a adaptívnym prahovaním je aplikácia jednej prahovej hodnoty na plochu obrazu. Zatiaľ čo adaptívne prahovanie počíta prahovú hodnotu lokálne pre každú oblasť, globálne prahovanie aplikuje jednu prahovú

hodnotu na celý obraz (Uchida, 2013).



Obr. 5 Porovnanie globálneho a lokálneho prahovania

Fig. 5 Comparison of global and local thresholding

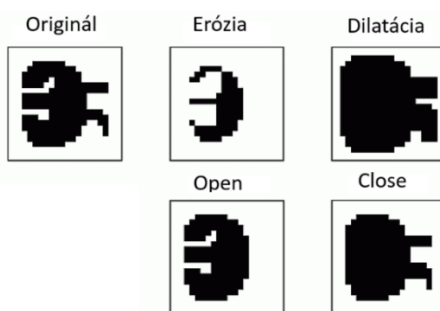
Filtrácia a odstránenie šumu

Po binarizácii obrazu je často potrebné odfiltrovať nežiadúce objekty, ktoré nepredstavujú objekt záujmu. V binárnom snímku môže nastať aj opačný prípad, kedy objekt záujmu je roztrieštený, vtedy sú potrebné morfológické operácie (Dobeš, 2008).

Filtrovanie podľa geometrických vlastností objektov patrí medzi základné techniky, ako obmedziť počet detegovaných objektov. Knihnica EmguCv nám dovoľuje filtrovať podľa nájdenej kontúry: plochu, kruhovitosť, obvod, pomer strán atď. V prípade plochy, obvodu nám dovoľuje knižnica tieto hodnoty získať priamo, zatiaľ čo kruhovitosť a pomer strán musíme vypočítať (Dobeš, 2008).

Morfológické operácie v programovacom jazyku C# sú kľúčové pri spracovaní binárnych snímok. Umožňujú meniť (zväčšovať, zmenšovať) tvar detekovaných objektov na základe definovaného jadra, taktiež dokážu vyplniť medzery, alebo oddeliť spojené objekty. Medzi základné morfológické operácie patrí: erózia, dilatácia a ich kombinácie open, close (Srisha – Khan, 2013).

Eróziu môžeme opísať ako operáciu, ktorá odstraňuje pixely na hraniciach objektov, teda pixel zostáva biely len vtedy, ak definované jadro pasuje do bielej oblasti. Dilatácia, naopak, pixely pridáva k hraniciam objektov, ak aspoň časť definovaného jadra zasiahne bielu oblasť. Aj keď sa môže zdať, že erózia a dilatácia sú navzájom inverzné operácie, nie je tomu tak, pretože pri operácii open, kde najprv na binárny snímok aplikujeme eróziu a potom dilatáciu, nedostaneme ten istý obraz ako na začiatku (Srisha – Khan, 2013).



Obr. 6 Porovnanie jednotlivých morfológických operácií

Fig. 6 Comparison of individual morphological operations

3 Výsledky a diskusia

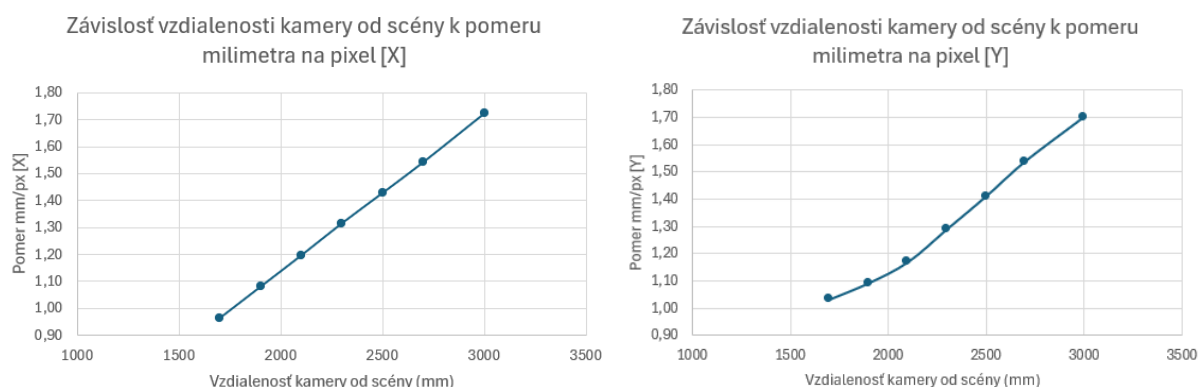
Kalibrácia kamery

Na kalibráciu použitej kamery sme použili mierku s neónovo – zelenou farbou, ktorá nám uľahčila detekciu etalónu (pomôcky) z určitej vzdialenosti. Túto mierku sme zaznamenali z niekoľkých vzdialeností, kým nás neobmedzilo rozlíšenie kamery, pričom sme dbali na skreslenie, či na osi X, tak aj na osi Y. Odfotené fotky sme následne spracovali pomocou algoritmu, kde sme určili pomer medzi vzdialenosťou kamery od mierky a počtom pixelov na osi X, ale aj na osi Y. Jednotlivé údaje sme štatisticky analyzovali, z čoho sme následne určili matematický vzťah medzi vzdialenosťou kamery a počtom pixelov na jednotku vzdialenosti v realite.

Tab. 4 Namerané a vyhodnotené údaje pri kalibrácii
Tab. 4 Measured and evaluated data during calibration

Vzdialenosť kamery (mm)	Dĺžka dosky X (mm)	Dĺžka dosky Y (mm)	X (px)	Y (px)	X (mm/px)	Y (mm/px)
1700	1000	1000	1038	968	0,963391136802	1,033057851
1900	1000	1000	926	915	1,079913606911	1,09290
2100	1000	1000	836	855	1,196172248804	1,16959
2300	1000	1000	760	775	1,315789473684	1,29032
2500	1000	1000	700	709	1,428571428571	1,41044
2700	1000	1000	648	650	1,543209876543	1,53846
3000	1000	1000	580	588	1,724137931034	1,70068

V tabuľke 4 je možné vidieť, že bolo nameraných 14 meraní pri každej vzdialenosti kamery od scény: dvakrát jedno meranie pre os X, ďalšie pre os Y. V stĺpci X(px), Y(px) je možné vidieť nepomer medzi pixelmi, čo je spôsobené radiálnym skreslením kamery. V posledných dvoch stĺpcoch je vypočítaná hodnota pomeru jedného milimetra k pixelu.

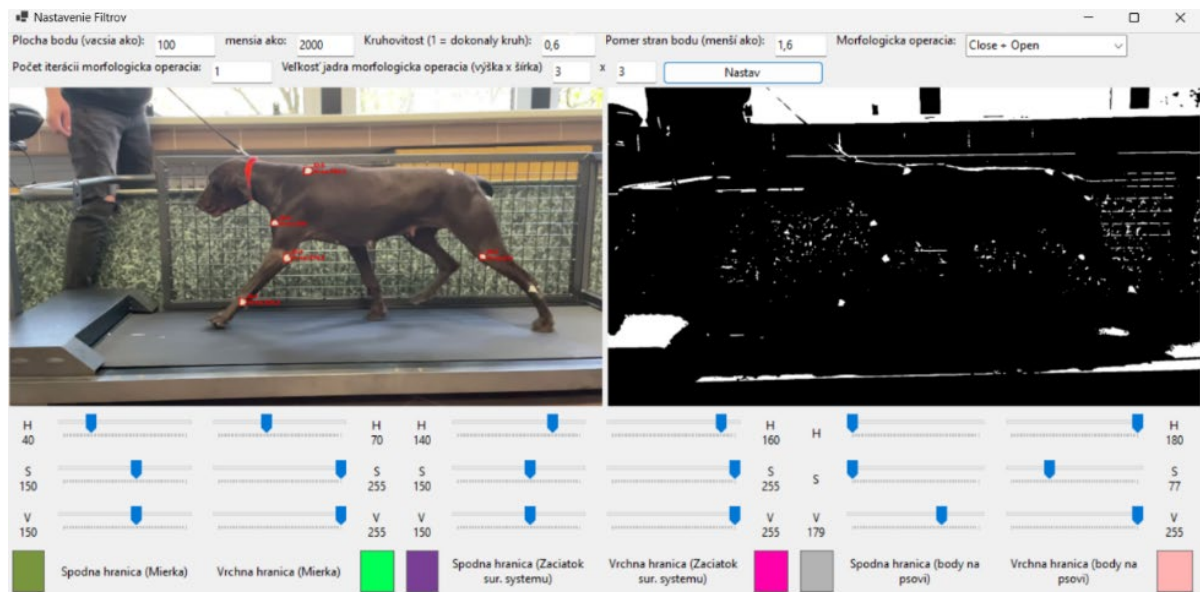


Obr. 7 Závislosť vzdialenosti kamery od scény k pomeru milimetra na pixel pre osy X a Y
Fig. 7 Dependence of camera distance from scene on millimeter per pixel ratio for X and Y axis

Algoritmus spracovania videa a detegovania svetlých bodov na psovi

V grafickom spracovaní programu sme sa snažili zapracovať jednoduché ovládanie pre používateľa. V prvom kroku je však nutné nastaviť potrebné filtre pre detegovanie terčikov, počiatku súradnicového systému, prípadne mierky. Na túto úlohu nám slúži formulár

„Nastavenie filtrov“, pričom tento formulár obsahuje dva hlavné komponenty „picturebox“, kde je zobrazený živý prenos z kamery (ľavá strana) a binárny snímok podľa nastavených filtrov (pravá strana).

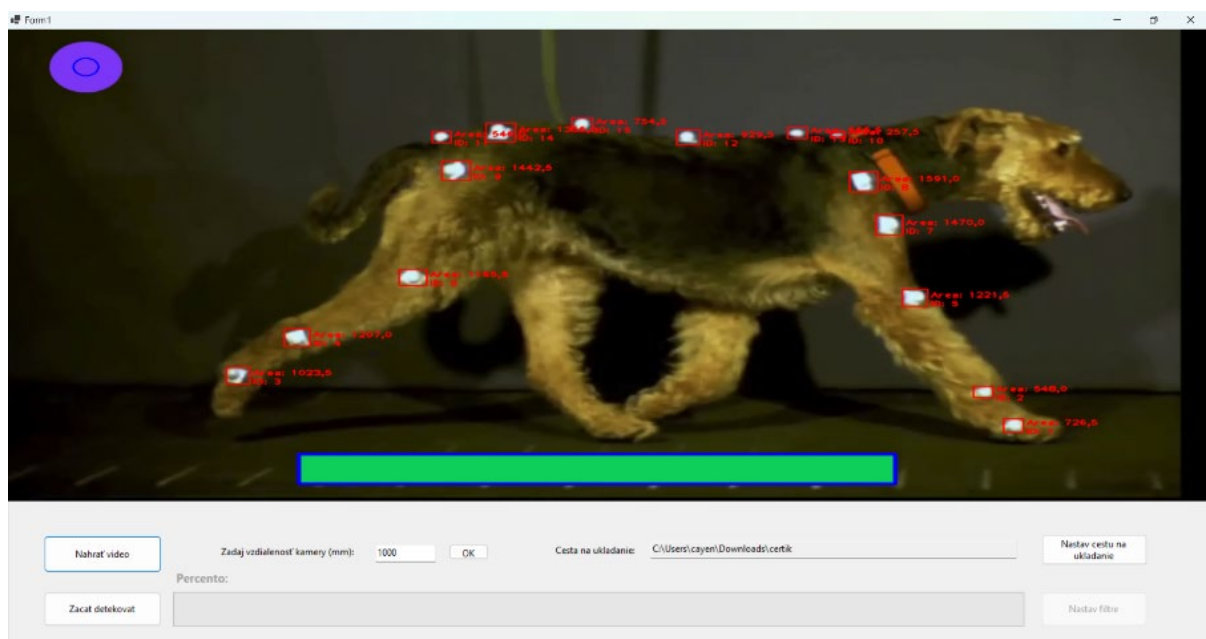


Obr. 8 Okno pre nastavenie filtrov

Fig. 8 Filter settings window

Vo formulári si môžeme všimnúť, že nastavenie farieb funguje cez farebný model HSV, pričom tento model sme vybrali z dôvodu toho, že má najbližšie k vnímaniu farieb ľudským okom. V hornej oblasti formulára má možnosť používateľ nastaviť filtre pre detekciu bielych bodov v rôznych kombináciách pre čo najlepší výsledok.

Po úspešnom nastavení filtrov v hlavnom formulári má používateľ možnosť nahráť hotové video, kde je predpoklad, že video vzniklo pri rovnakých svetelných podmienkach ako pri nastavení filtrov.

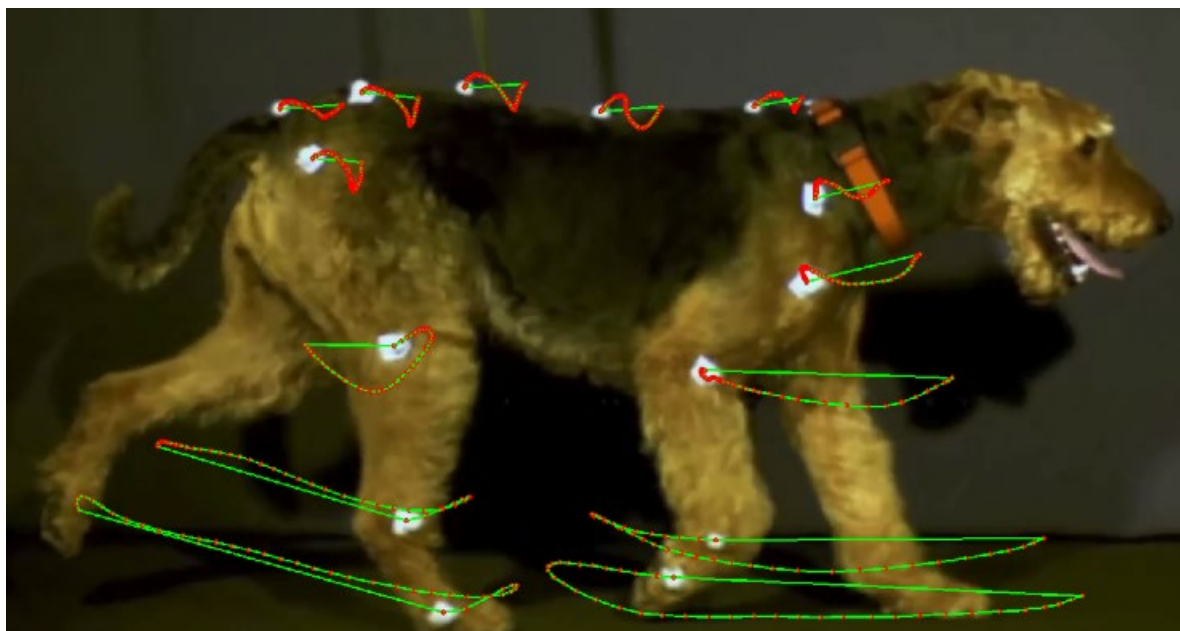


Obr. 9 Hlavné okno aplikácie

Fig. 9 Main application window

Po nahratí videa algoritmus automaticky prideli detegovaným bielym bodom ID, kde je dôležité poznamenať, že tieto ID sú nemenné a pri detegovaní má jeden bod vždy to isté ID. V ďalšom bode je možné začať proces detekcie a výpočtu vzdialeností jednotlivých bodov od počiatku súradnicového systému. Začatie detegovania je podmienené nastavením cesty na ukladanie výstupného súboru vo formáte „.txt“, v ktorom budú uložené jednotlivé vzdialenosti v priebehu detegovania. Taktiež je potrebné zadať hodnotu vzdialenosti kamery od scény, ktorá je nevyhnutná pre správny výpočet vzdialeností.

Celý algoritmus výpočtu a držania ID v priebehu videa funguje na princípe porovnávania aktuálneho snímku videa s referenciou. V prípade druhého snímku je našou referenciou prvý snímok a pod. Pre každý snímok videa ukladáme informácie o každom detegovanom bode, ktorý bude referenciou pre ďalší snímok.

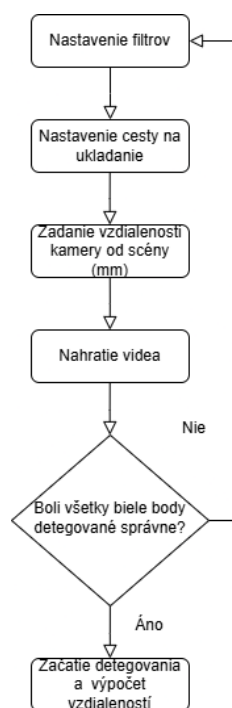


Obr. 10 Ukážka procesu detegovania s trajektóriami jednotlivých bodov
Fig. 10 Demonstration of the detection process with trajectories of individual points

Program prejde snímok po snímku až do konca videa. Po skončení užívateľ dostane informáciu o skončení a následne je možné otvoriť textový súbor, v ktorom sú uložené informácie o vzdialenostiach.

```
ID1: 2025-03-07 10:48:59: 1605@905@1777,70 mm
ID2: 2025-03-07 10:48:59: 1557@828@1695,07 mm
ID3: 2025-03-07 10:48:59: 366@790@781,97 mm
ID4: 2025-03-07 10:48:59: 463@704@740,41 mm
ID5: 2025-03-07 10:48:59: 1444@612@1492,59 mm
ID6: 2025-03-07 10:48:59: 645@567@744,84 mm
ID7: 2025-03-07 10:48:59: 1404@446@1396,70 mm
ID8: 2025-03-07 10:48:59: 1365@347@1332,09 mm
ID9: 2025-03-07 10:48:59: 715@322@668,46 mm
ID10: 2025-03-07 10:48:59: 691@245@618,56 mm
ID11: 2025-03-07 10:48:59: 1085@247@1023,52 mm
ID12: 2025-03-07 10:48:59: 1259@236@1202,59 mm
ID13: 2025-03-07 10:48:59: 785@236@711,98 mm
ID14: 2025-03-07 10:48:59: 916@217@843,24 mm
ID1: 2025-03-07 10:48:59: 1605@905@1777,70 mm
ID2: 2025-03-07 10:48:59: 1557@828@1695,07 mm
ID3: 2025-03-07 10:48:59: 366@790@781,97 mm
ID4: 2025-03-07 10:48:59: 463@704@740,41 mm
ID5: 2025-03-07 10:48:59: 1444@612@1492,59 mm
```

Obr. 11 Namerané vzdialenosti jednotlivých kĺbov od referenčného bodu – dáta txt
Fig. 11 Measured distances of individual joints from the reference point – data txt



Obr. 12 Zjednodušený vývojový diagram aplikácie
Fig. 12 Simplified application flowchart

4 Záver

V tejto práci bol úspešne navrhnutý a implementovaný algoritmus na automatickú detekciu a sledovanie pohybujúcich sa terčikov umiestnených na tele psa. Použitie metód spracovania obrazu v prostredí C# s využitím knižnice Emgu CV umožnilo efektívnu binarizáciu obrazu, filtrovanie podľa geometrických vlastností a aplikáciu morfológických operácií, ktoré sú štandardne využívané aj v podobných štúdiách z oblasti pohybovej analýzy (Wang a Liang, 2020).

Výsledky kalibrácie kamery preukázali, že medzi vzdialenosťou kamery a pomerom milimetra na pixel existuje spoľahlivá matematická závislosť, ktorá umožňuje prevod pixelových údajov na reálne vzdialenosti. Tento krok je zásadný pre dosiahnutie objektívnych a porovnateľných výsledkov. Zaznamenané rozdiely v meraniach na osiach X a Y zároveň poukázali na prítomnosť optického skreslenia, ktoré bolo korektne zohľadnené pomocou aplikácie korekčných vzorcov.

V porovnaní s inými metódami sledovania pohybu (napr. optické sledovacie systémy, značkovanie infračervenými bodmi) je navrhnuté riešenie dostupnejšie, nenáročné na hardvér a využiteľné v rôznych podmienkach. Výsledný program umožňuje jednoduché nastavenie filtrov a generovanie výstupných údajov v použiteľnej forme. Obmedzením zostáva dvojrozmernosť analýzy a závislosť presnosti detekcie od kvality videozáznamu. Tieto obmedzenia však otvárajú priestor pre ďalší výskum a vylepšenie systému napríklad o 3D rekonštrukciu pohybu alebo využitie strojového učenia.

Cieľ práce, ktorým bolo vytvoriť algoritmus na sledovanie kontrastných bodov a výpočet ich reálnej vzdialenosti od referenčného bodu, bol úspešne splnený. Navrhnutý systém tak predstavuje základ pre rozšíriteľné a prakticky využiteľné riešenie v oblasti pohybovej analýzy zvierat.

5 Literatúra

DOBEŠ, Michal. 2008. *Zpracování obrazu a algoritmy v C#*. Praha : BEN. 144 s. ISBN 978-80-7300-266-6.

Emgu CV. 2025 [online] [cit. 2025-20-03]. Dostupné na: <https://www.emgu.com/wiki/index.php/Main_Page/>.

HEIKKILÄ, J., SILVÉN, O. A four-step camera calibration procedure with implicit image correction [online]. San Juan, Puerto Rico: IEEE, 1997, [cit. 2025-21-03]. 1106 p. ISBN 0-8186-7822-4. Dostupné na: <<https://doi.org/10.1109/CVPR.1997.609468/>>

Intrinsic camera parameters calibration. 2019 [online] London : University College London, [cit. 2025-20-03]. Dostupné na: <https://mphy0026.readthedocs.io/en/latest/calibration/camera_calibration.html/>.

LETANOVSKÁ, Lucia. 2014. *Kalibrácia vnútorných parametrov kamery*: dizertačná práca. Bratislava : STU. 126 s.

SEIICHI Uchida. *Image processing and recognition for biological images* [online]. Japonsko : Kyushu University, 2013 [cit. 2025-20-03]. 28 p. Dostupné na: <https://www.researchgate.net/publication/236125496_Image_processing_and_recognition_for_biological_images>.

SRISHA Ravi – KHAN Am. *Morphological Operations for Image Processing: Understanding and its Applications* [online]. India : Mangalore University, 2013 [cit. 2025-20-03]. 4 p. Dostupné na: <https://www.researchgate.net/publication/272484795_Morphological_Operations_for_Image_Processing_Understanding_and_its_Applications>.

STURARO, E., RAMANZIN, M. et al. *A review of methods for the automatic monitoring of animal behavior*. 2017, 95 s. 2306–2314. ISSN 0021-8812.

WANG, H., LIANG, M. *Vision-based animal motion tracking using colored markers*. [online]. 2020, [cit. 2025-23-03]. 173 p. ISSN 0168-1699. Dostupné na: <<https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105396/>>

ZHANG, Zhengyou. *A Flexible New Technique for Camera Calibration* [online]. Microsoft Research, Microsoft Corporation . : USA., 1998 [cit. 2025-20-03]. 23 p. Dostupné na: <https://www.researchgate.net/publication/3193178_A_Flexible_New_Technique_for_Camera_Calibration>.

Súhrn

Cieľom práce bolo vytvoriť algoritmy spracovania obrazu na sledovanie a záznam pohybu kontrastných bodov (terčikov) umiestnených na kĺboch psa v pohybe. Výsledný algoritmus bol vytvorený v programovacom jazyku C Sharp, za pomoci grafického rozhrania WinForms. Neoddeliteľnou súčasťou bola kalibrácia kamery pomocou kalibračnej mierky, na základe ktorej sa počítajú vzdialenosti jednotlivých terčikov od počiatku súradnicového systému. Program pracuje s nahratým videom, avšak parametrizácia a nastavenie jednotlivých

filtrův je možná v reálnom čase. Výsledný program dokáže značne uľahčiť prácu pri skúmaní nedokonalostí chôdze psa, alebo iného zvierat'a. Potenciál programu je avšak limitovaný na 2 roviny (2D) a náročnosť detekcie jednotlivých terčikov závisí od kvality nahraného videa (svetelné podmienky, počet snímkov za sekundu, rozlíšenie kamery a pod.).

Kľúčové slová: spracovanie obrazu, kalibrácia kamery, detekcia bodov, kĺby psa

ENERGETIC EXAMINATION OF ALL-TERRAIN VEHICLE

MÁTÉ BENDEGÚZ HAJDU - PÉTER KISS

Abstract

The goal of the whole paper was to find out the climbing ability of the Husky A200 robotic terrain vehicle. To reach our goal we firstly measured the weight of the vehicle, the maximum tractive force, the rolling resistance and the wheel radius. After the measurements I calculated rolling resistance coefficient and maximum adhesion coefficient. I used these coefficients to solve the differential equation of vehicle motion. The solution has given the maximum slope angle α that the vehicle can climb. I put the results in a table which shows the value of angles in every case we measured.

Key words: unmanned off-road vehicle, climbing ability

1 Introduction

Off-road vehicles play a crucial role in human life. They are widely used in agriculture, including tractors, combines, and other harvesting machines, all designed for rough terrain. Military vehicles predominantly operate off-road, and even hunters require off-road vehicles to access hunting grounds. These examples highlight the ongoing significance of such vehicles. One of the most critical properties of an off-road vehicle is its energy efficiency, which can predict its off-road capability.

All measurements in this study were conducted on a Clearpath Husky A200 off-road vehicle. While its size is considerably smaller than commonly used off-road vehicles, the fundamental principles remain the same. This is why I chose this vehicle for the study. The energetic analysis required multiple measurements since the ultimate goal of my research was to determine the steepest slope the vehicle could still climb. Answering this question required high accuracy. These calculations were performed for various terrain surfaces; however, the results are only valid under identical conditions. The basis of the calculations is the differential equation of vehicle motion, which justified the necessity of these measurements.

The measurements included the following: measuring rolling resistance, measuring wheel radius, determining the maximum tractive force, and measuring the vehicle's resting mass. After the literature review, I first introduce some measurable parameters of the terrain, followed by the measurements and their evaluation. Finally, the calculations and their results are presented.

2 Literature review

This section serves as the foundation for the entire study, explaining its rationale. The mathematical basis of the climbing ability of the vehicle is the differential equation of vehicle motion, which will now be introduced. The equation expresses that the tractive force is equal to the sum of all resistance forces:

$$F = E_g + E_l + E_e + E_t, \quad (1)$$

where: F - tractive force, N

E_g - rolling resistance, N

E_l - aerodynamic resistance, N

E_e - gradient resistance, N

E_t - inertial resistance, N

Rolling resistance (E_g) always occurs due to wheel and bearing friction, converting the necessary work into heat. Aerodynamic resistance (E_l) is a type of drag force and also generates heat. Gradient resistance (E_e) increases the potential energy of the vehicle and is therefore theoretically recoverable. When going uphill, it has a positive value; on a flat surface, it is zero; and when going downhill, it has a negative value. Inertial resistance (E_t) also functions as an energy storage component: it increases the kinetic energy of the vehicle and is also recoverable. (Vas, 1998) During deceleration, it appears as additional tractive force. When traveling at a constant speed, there is no inertial resistance. During braking, the excess potential or kinetic energy of the vehicle is converted into heat by the brakes. The tractive force varies widely during vehicle movement. It can be positive, equal to zero during free rolling, and when braking, a negative tractive force must be exerted. The tractive force is generated by the engine, while the braking force is partially produced by the engine but mostly by the brakes. The differential equation, when substituting the values of tractive force and resistance forces, can be expressed as:

$$\frac{M_m \cdot i_s \cdot i_0 \cdot \eta_e}{r_k} = mgf \cos \alpha + Wv^2 + mg \sin \alpha + \delta m \frac{dv}{dt} \quad (2)$$

where: M_m – engine torque, Nm

i_s – transmission ratio of gearbox, -

i_0 – transmission ratio of final drive, -

η_e – efficiency of transmission, -

r_k – rolling radius, m

m – vehicle mass, kg

g – acceleration of gravity, $m \cdot s^{-2}$

f – rolling resistance ratio, -

α – inclination angle, deg.

W – drag coefficient, $N \cdot s^2 \cdot m^{-2}$

v – velocity of the vehicle, -

δ - reduction coefficient of rotary mass, -

3 Materials and Methods

The Husky A200 off-road vehicle was developed and manufactured by Clearpath Robotics. According to the manufacturer, it has a resting mass of 50 kg and can exert a

maximum tractive force of 700 N, generated by an electric motor, which plays a crucial role in the study. The *first figure* shows the Husky A200 Terrain vehicle.



Figure 1: Husky A200 off-road vehicle

The terrain's properties depend on various factors such as moisture content, soil composition, vegetation, and the presence of organisms that influence soil structure and surface properties. The primary determinant of the results was friction, specifically the interaction between the rubber tires and the soil surface. Since the terrain's physical properties are highly heterogeneous, this interaction varies significantly. The nature of the vehicle's motion—whether it is stationary or moving—also impacts the measurements.

The measurements were conducted on sandy loam soil found on the Szent István Campus of MATE university.

Rolling Resistance Measurement

To calculate rolling resistance, the following measurement was performed. The off-road vehicle is equipped with an onboard computer that provides real-time torque data for the driven wheels. The torque values for the left and right wheels are displayed separately and are calculated based on the electrical current drawn by the motor. Since idle current consumption is included, it accounts for drivetrain resistance as well.

The measurements were conducted in both loaded and unloaded conditions using a 20 kg certified weight as the load. Measurements were performed on four different surfaces: soft soil, hard soil, grass-covered soil, and concrete. Each measurement was repeated four times for accuracy.

The evaluation process involved:

1. Averaging the torque values for the left and right wheels.
2. Representing the data using a scatter plot.
3. Identifying the steady torque interval and calculating its arithmetic mean.

Since these torques correspond to the average torque on a given surface, the rolling resistance coefficients determined are the average values for each surface.

Wheel Radius Measurement

During the measurement of the wheel radius, the static wheel radius of the vehicle was recorded. Several types of wheel radii exist, such as the kinetic wheel radius during movement, which continuously changes and is difficult to measure precisely. Due to the many variables affecting it, the results would be less accurate, making it more practical to use the static wheel radius in calculations.

In this study, the wheel radius is defined as the distance between the wheel center and the contact patch, as this represents the moment arm for rolling resistance torque.

The measurement results were used to determine the rolling resistance coefficients. The measurement was conducted at 0 bar (0 PSI) and 1.379 bar (20 PSI) tire pressure, both in loaded and unloaded conditions using the previously mentioned certified weight. The variations in wheel radius were found to be negligible, so a single radius value was used for all rolling resistance calculations.

Maximum Tractive Force Measurement

Measuring the maximum tractive force is essential since it determines the force required to counteract all resistance forces in the vehicle motion equation. This is because the instantaneous power output of the motor must always equal the total power consumed by the acting resistances at any given moment.

A vehicle can get stuck for various reasons: it may become grounded, experience 100% slip, have incompatible dimensions with the track geometry, or lack sufficient engine power to overcome resistance forces. This study focuses on the last case, necessitating the determination of maximum tractive force to achieve the final results.

The measurement setup involved anchoring the robot vehicle to a concrete block with a force sensor attached to the towing cable, measuring the tension in the rope. Measurements were conducted on four different terrain surfaces, in two different speed modes, and in both loaded and unloaded conditions. The evaluation process was similar to that used for measuring rolling resistance.

Vehicle Resting Mass Measurement

Mass is fundamental in force calculations, which is why it was necessary to measure the resting mass of the vehicle. Four digital scales were placed under each wheel to measure the weight. The total weight recorded by all four scales represents the vehicle's resting mass. Although the manufacturer specifies the vehicle's mass as 50 kg, the measured value was 50.6 kg.

Determination of Rolling Resistance Coefficient

The rolling resistance coefficient is calculated based on torque measurements. To determine the coefficient, system losses of 2.07 Nm are subtracted from the measured torque, then divided by the wheel radius and the normal force.

$$M_g = r_k \cdot F_n \cdot f \quad (3)$$

where: M_g – torque, Nm

r_k – rolling radius, m,

F_n – normal force, N

f – rolling resistance ratio, -

The parametric equation for rolling resistance is:

$$M_m - M_v = r_k \cdot m \cdot g \cdot f \quad (4)$$

where: M_m - measured torque, Nm

M_v - system loss torque, Nm

r_k - rolling radius, m

m – vehicle mass, kg

g - acceleration of gravity, $m \cdot s^{-2}$

f – rolling resistance coefficient, -

The normal force equals the product of gravitational acceleration and the total mass of the vehicle, including any additional load. Since the measurements were conducted on a horizontal surface, no perpendicular surface component is needed. The formula for calculating the rolling resistance coefficient is:

$$\frac{M_m - M_v}{r_k \cdot m \cdot g} = f \quad (5)$$

Calculation of Maximum Adhesion Coefficient

The determination of the maximum adhesion coefficient is necessary for the differential equation of vehicle motion. The maximum slope angle the vehicle can climb was calculated using two different approaches: one ignoring the change in adhesion mass and the other accounting for it. The latter requires the calculation of the adhesion coefficient.

For this calculation, the maximum tractive force, the vehicle's total mass (including additional load), and gravitational acceleration were used. The maximum tractive force is limited by the maximum adhesion force, so deriving from this, the maximum adhesion coefficient is obtained. This represents only an average maximum adhesion factor. The equation is:

$$F_{max} = \mu_0 \cdot F_n \quad (6)$$

where: F_{max} – maximum tractive force, N

μ_0 – adhesion coefficient, -

F_n – maximum adhesion force, N

$$F_{max} = \mu_0 \cdot m \cdot g \quad (7)$$

The measurements were performed on a horizontal surface, no angle-dependent function is needed:

$$\frac{F_{max}}{m \cdot g} = \mu_0 \quad (8)$$

This equation provides the maximum adhesion coefficient in this scenario.

The Differential Equation of Vehicle Motion

The fundamental principle behind the differential equation of vehicle motion is that the instantaneous power output of the vehicle's motor is equal to the total instantaneous power consumed by the resisting forces. These resisting forces include aerodynamic drag, gradient resistance, rolling resistance, and resistance from rotating components. The mathematical model is as follows:

$$F = E_G + E_L + E_E + E_T \quad (9)$$

where: F - tractive force, N

E_G - rolling resistance, N

E_L - aerodynamic resistance, N

E_E - gradient resistance, N

E_T - inertial resistance, N

The expanded version of the equation is shown in details in (2). Next we discuss the individual terms of the equation in details that are necessary for evaluation of measurement results. The left side of the equation represents the power source, where M_m is the instantaneous torque of the motor, i_s , i_0 is the gear ratio (including the gearbox and differential), and η_e is the drivetrain efficiency. This is still in torque form, so to convert it into force, it must be divided by the wheel radius r_k , which acts as the moment arm.

On the right side, the equation includes:

- Rolling resistance,
- Aerodynamic resistance,
- Gradient resistance, and
- Resistance from rotating components.

Here, W represents the air density, drag coefficient, and a $\frac{1}{2}$ multiplier. The parameter δ is the reduction coefficient of rotating masses, and the differential term expresses the instantaneous acceleration.

This equation has been modified to reflect the real-world vehicle conditions. In this case, aerodynamic resistance and resistance from rotating components can be neglected due to the low speed and small acceleration of the vehicle.

The maximum tractive force F_{max} already incorporates all losses and transmission effects, as it originates directly from the tire-ground interaction.

$$F_{max} = mgf \cos \alpha + mg \sin \alpha \quad (10)$$

where: F_{max} – maximum tractive force, N

m – vehicle mass, kg

g – acceleration of gravity, $m \cdot s^{-2}$

f – rolling resistance coefficient, -

α – inclination angle, deg

Differential Equation of Vehicle Motion Considering Adhesion Mass Variation

$$mg\mu_0 \cos \alpha = mgf \cos \alpha + mg \sin \alpha \quad (11)$$

where: μ_0 – adhesion coefficient, -

Here, the maximum tractive force depends on both the rolling resistance coefficient and the adhesion coefficient. The equation can be simplified as:

$$\mu_0 \cos \alpha = f \cos \alpha + \sin \alpha \quad (12)$$

where: μ_0 – adhesion coefficient, -

α – inclination angle, deg

f – rolling resistance coefficient, -

Rearranging the terms:

$$(\mu_0 - f) = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} \quad (13)$$

Dividing both sides by $\cos \alpha$ and applying the inverse tangent function:

$$\tan^{-1}(\mu_0 - f) = \alpha \quad (14)$$

This equation determines the maximum slope angle α that the vehicle can climb based on the rolling resistance and adhesion coefficients. The result highlights that the maximum climbable incline is highly dependent on terrain properties.

4 Results and Discussion

The following table summarizes the evaluated results of measurements. It shows the determined climbing ability of the vehicle expressed as the maximum inclination angle (slope) that the vehicle can climb at four different soil types, with and without an extra loading mass of 20 kg and two different speed settings. The slow and fast speed setting refer to the maximum throttle position on the remote controller of the vehicle in slow and fast setting corresponding to cca. $3 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ and $6 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ respectively.

Table 1.: Results of the examination

Load conditions/ Soil hardness/Contact Surface	Loose soil	Hard soil	Vegetation covered	Concrete	
	Inclination angels [°]				
Loaded (20 kg)	41,15	37,53	33,85	31,72	Slow speed setting
Unloaded	50,33	38,26	32,24	39,39	
Loaded (20 kg)	45,10	34,29	42,11	34,81	Fast speed setting
Unloaded	48,26	42,28	36,97	41,90	

5 Conclusions

As a result of the study, we concluded that for the Husky A200 field robot, with the tested tire-soil interaction, the vehicle's traction capability is greater on softer soil. Furthermore, in the case of soils without vegetation and concrete surfaces, the angle of ascent calculated from unloaded measurements is greater, while on soils covered with vegetation, the loaded case showed better traction. The results of the measurements were as expected, i.e., in the case of rougher soil structures, due to the greater deformation, we obtain higher adhesion values, and thus better climbing angles. Measurements taken at high speed ranges generally resulted in higher traction capability.

6 References

BEKKER, M. G. 1956: Theory of Land Locomotion. The Mechanics of Vehicle Mobility. Ann.Arbor. University of Michigan Press, ISBN: -

LAIB L. 2002 Terepen mozgó járművek, Szaktudás Kiadó, Budapest ISBN/ISSN: 9639422010

LAIB L. -. VAS A. 1998 Traktorok-Autók Szaktudás Kiadó, Budapest ISBN: 9633562554

<https://hu.economy-pedia.com/11040992-autonomous-vehicle> 2024.10.08

<https://internationaldriversassociation.com/hu/blog/what-do-you-need-to-know-about-autonomous-vehicles/> 2024. 10.08

<https://smartgreen.hu/talajnedvesseg/talajnedvesseg-ertelmezese-es-merese/> 2024.07.28

ILOSVAI L. 1985: Járműdinamika II. Gépjárművek dinamikája. Tankönyvkiadó, Budapest, 123 p. ISBN: -

KAMM, J. O. 1978. aug. 22-25 Közúti és mellékúti abroncsjellemzők összefüggése. 6th International Conference, ISTVS, Vienna, Proc. Vol. III. p. 1177-1191

KISS P.: 2001 Terepen mozgó járművek energetikájának egyes kérdései. PhD doktori értekezés. Gödöllő, p. 156.

KOMÁNDI Gy.: 1975. 8. sz Gumiabroncs csúszása a betonon - Járművek, Mezőgazdasági Gépek, 22. évf. pp. 297-305.

Summary

In our work, after conducting measurements on various soil types and soil surfaces, we used a mathematical model to predict the traction capability of a field vehicle robot. For the tests, we performed measurements with the vehicle on different support surfaces, both unloaded and loaded. From the obtained data, we determined the energetics of the vehicle's motion.

Project no. 2022-2.1.1-NL-2022-00012 has been implemented with the support provided by the Ministry of Culture and Innovation of Hungary from the National Research, Development and Innovation Fund, financed under the 2022-2.1.1-NL funding scheme.

VARIABILITA INFILTRAČNEJ SCHOPNOSTI PÔDY PRI UNIFORMNOM SPRACOVANÍ PÔDY

VARIABILITY OF SOIL INFILTRATION CAPACITY DURING UNIFORM SOIL CULTIVATION

PETER HORVÁTH – JÁN JOBBÁGY

Abstract

In the presented paper, we focused on evaluating the variability of soil infiltration capacity during uniform soil cultivation. The measurements were carried out at the POLISCHO, s.r.o. agricultural enterprise in Gabčíkovo, where the measurements were focused and divided into three different sections of the plot in order to evaluate the variability of the investigated property. To determine the infiltration capacity, a Minidisk infiltrometer was applied, which enabled precise measurement of the rate of water infiltration into the soil. The average values of hydraulic conductivity reached $2,82$ to $17,26 \cdot 10^{-5} \text{ cm.s}^{-1}$, while their clear influence was demonstrated in different sections of the plot (infiltration was most pronounced in the fourth section). The situation at one selected monitoring point was remarkable, where a negative value was demonstrated (indicating water repellence). The variability of these properties is significantly influenced not only by weather factors, such as soil texture and structure and mechanical interventions caused by various tillage methods. The results suggest that optimizing agrotechnical practices and using modern measurement techniques can lead to improved fertility and sustainable soil management.

Key words: infiltration, variability, soil properties

1 Úvod

Pôda je prirodzený útvar, ktorý vzniká ako výsledok zložitého a komplexného pôsobenia vonkajších faktorov na materskú horninu. Jej charakteristickým znakom je schopnosť zabezpečiť úrodnosť (Angelovič a kol., 2019). Pôda je základným prvkom poľnohospodárskej produkcie a jej charakteristika zohráva kľúčovú úlohu v efektívnosti a udržateľnosti poľnohospodárstva. Pôdne vlastnosti, ako sú štruktúra, typy a chemické zloženie, ovplyvňujú nielen rastliny, ale aj celkovú ekológiu a hospodárenie v danom regióne. Napríklad, piesočnaté pôdy sú dobre priepustné, ale majú nízku schopnosť zadržiavať vodu a živiny, zatiaľ čo hlinené pôdy sú schopné zadržiavať vodu a živiny, ale môžu trpieť na zlú drenáž (Némethová, 2011). Opatrenia na ochranu pôdy proti erózii, ako napríklad minimalizácia obrábania pôdy, krycie plodiny, sú nevyhnutné na prevenciu erózie a na zachovanie pôdných zdrojov pre budúce generácie (Petlušová a kol., 2018). Obrábanie pôdy je proces mechanického spracovania pôdy s cieľom zabezpečiť optimálne podmienky pre rast plodín. Poľnohospodárske metódy obrábania pôdy majú významný vplyv na zdravie pôdy, výnos plodín a environmentálnu udržateľnosť. Voľba metódy obrábania pôdy môže hlboko ovplyvniť štruktúru pôdy, dostupnosť živín a mikrobiálnu aktivitu, čo následne ovplyvňuje

Bc. Peter Horváth, prof. Ing. Ján Jobbágy, PhD., Ústav poľnohospodárskej techniky, dopravy a bionergetiky, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Tr. A. Hlinku 2, 94976, jan.jobbagy@uniag.sk, xhorvathp@uniag.sk

rast a výnos plodín (obrábanie 01, 2025). Hydraulické vlastnosti pôdy sú tiež významne ovplyvnené metódami obrábania pôdy. Konvenčná orba má tendenciu zvyšovať eróziu pôdy a odtok, čo vedie k strate živín a zníženiu rýchlosti infiltrácie vody. Deng a kol. (2023) zdôraznili, že konvenčná orba nadmerne narušuje pôdu, čo môže negatívne ovplyvniť jej schopnosť zadržiavať vodu a hydraulickú vodivosť. To je obzvlášť problematické v oblastiach náchylných na sucho, kde je udržanie vlhkosti pôdy kľúčové pre prežitie plodín. Naopak, metódy ochranného obrábania môžu zlepšiť zadržiavanie vody a znížiť eróziu, čím sa zvyšuje udržateľnosť poľnohospodárskych systémov (Sangotayo a kol., 2023).

Infiltrácia je proces, pri ktorom voda preniká do pôdy, zvyčajne cez jej povrch. Okrem bežného prenikania vody zo zrážok, závlah či topiaceho sa snehu, môže voda prenikať aj zo stojatých vodných plôch, ako sú napríklad jazerá alebo vodné nádrže. Voda sa môže dostávať do pôdy aj cez brehy a dná vodných tokov alebo pomocou zariadení určených na vsakovanie, ktoré sa nachádzajú pod povrchom pôdy. Miera infiltrácie pôdy určuje, aké množstvo zrážkovej vody sa premení na povrchový odtok a aké množstvo prenikne do pôdy. V podmienkach, kde je infiltrovaná dažďová alebo závlahová voda kľúčovým zdrojom vody pre pôdu a kde povrchovo odtekajúca voda môže spôsobiť značné škody na pôde, vodných zdrojoch, poľnohospodárskych plodinách, je pochopenie procesu infiltrácie nevyhnutné na efektívne hospodárenie s pôdou a vodou. Z hydrologického pohľadu je najdôležitejším aspektom proces infiltrácie zo zrážok. Rýchlosť a intenzita tohto procesu ovplyvňuje vznik povrchového odtoku, ako aj jeho podiel na erózii pôdy. Naším zámerom je zabezpečiť podmienky, ktoré podporia maximálne vsakovanie dažďovej vody do pôdy, čím sa zabezpečí jej dostupnosť pre rastliny (Jobbágy a kol., 2017).

Cieľom práce bolo zhodnotiť variabilitu infiltračnej schopnosti pôdy vo vybraných úsekoch zameraného pozemku.

2 Materiál a metódy

Merania infiltračnej schopnosti pôdy prebiehali na vybraných pozemkoch. Spoločnosť POLISCHO, s.r.o., so sídlom na adrese Hlavná 999/99, 930 05 Gabčíkovo, je aktívnym poľnohospodárskym podnikom pôsobiacim v oblasti špeciálnej rastlinnej výroby. Bola založená v roku 1994 a je vedená pod IČO 31448941. Jej štatutárnym zástupcom je Peter Soóky. Hlavnou činnosťou spoločnosti je poľnohospodárska prvovýroba, pričom obhospodaruje 476,9 ha vlastnej pôdy a poskytuje služby na ďalších 650 ha.

V rámci špeciálnej rastlinnej výroby sa podnik zameriava na pestovanie plodín ako kukurica cukrová, kukurica osivová, repa cukrová, fazuľa, hrach a sója. Okrem toho pestuje aj obilniny, vrátane jačmeňa, pšenice, kukurice, repky a ciroku.

Hlavným cieľom spoločnosti je zvýšiť efektívnosť a kvalitu poľnohospodárskej výroby prostredníctvom modernizácie technického vybavenia. Tento cieľ zahŕňa:

- Zlepšenie obhospodarovania pôdy.
- Zvýšenie úrodnosti a kvality plodín.
- Ochranu životného prostredia a pôdy pred degradáciou.
- Zvýšenie konkurencieschopnosti na trhu.
- Nižšie prevádzkové náklady a vyšší hospodársky zisk.

Podnik plánuje investovať do nákupu nových technológií, ktoré zahŕňajú stroje na presné obrábanie pôdy, aplikáciu hnojív a ochranu rastlín. Medzi plánované vybavenie patria:

- Plečky s kamerovým navádzaním.
- Tanierový podmietač.
- Digitálne systémy na presnú aplikáciu hnojív a postrekov.

Tieto investície zabezpečia zvýšenie efektivity prác, zníženie nákladov a zlepšenie environmentálnych podmienok pestovania.

Spoločnosť zamestnáva 9 pracovníkov na trvalý pracovný pomer a svoju produkciu dodáva lokálnym odberateľom, spracovateľom a konečným spotrebiteľom. Svoje podnikanie orientuje na udržateľné poľnohospodárstvo, pričom sa zameriava na ochranu pôdy pred degradáciou a na udržiavanie jej kultúrneho a bezburinového stavu. V budúcnosti plánuje POLISCHO, s.r.o., rozšíriť objem produkcie, zlepšiť kvalitu vypestovaných plodín a pokračovať v modernizácii svojich technológií. Tým chce prispieť k trvalo udržateľnému rozvoju poľnohospodárstva a environmentálnym cieľom.

Pred samotnými meraniami sa na vybranom pozemku aplikovali nasledovné pracovné operácie:

1. Obrábanie: traktor 6190R + diskový podmietač Kuhn Discover, hĺbka 15 cm (3.10.2023)
2. Obrábanie: traktor 6190R + kultivátor Lemken Karat, hĺbka 20 cm (17.10.2023)
3. Valcovanie: traktor 6175R + Valce SMS Cambridge (18.10.2023)
4. Sejba: traktor 6175R + sejačka JD 740A

V rámci obrábania pôdy sa v jednotlivých líniiach zvolili 3 monitorovacie body (na začiatku línie, v strednej časti, na konci línie). Zamerali sme sa hlavne na sledovanie infiltračnej schopnosti pôdy. Infiltráciu sa dá merať viacerými spôsobmi. V našom prípade sme si zvolili meranie infiltrácie pomocou Minidisk infiltrometra. Ponúka viacero výhod, medzi ktoré patrí jeho nízka spotreba vody (približne 135 ml na jedno meranie), jednoduché odčítanie hodnôt, ľahká manipulácia a obsluha iba jedným človekom. Minidisk infiltrometer je jednoduché zariadenie, ktoré pozostáva z polykarbónovej trubice s priemerom 31 mm a výškou 327 mm. Trubica je rozdelená na dve časti, ktoré sa naplnia vodou. Horná časť slúži na nastavenie sania vzduchu pomocou nastaviteľnej oceľovej rúrky, zatiaľ čo voda zo spodnej časti sa infiltruje do pôdy cez polopriepustnú nerezovú membránu umiestnenú na spodnej časti trubice. Spodná časť je taktiež vybavená stupnicou v mililitroch, z ktorej sa odčíta množstvo infiltrovanej vody (Infiltrometer1, 2013).

Pre presné meranie je kľúčovým faktorom výbor vhodného miesta. Je dôležité, aby sa meranie vykonávalo na pôde bez puklín. Po identifikácii vhodného miesta je potrebné starostlivo pripraviť povrch pôdy tak, aby bol rovnomerný a hladký. Celá plocha membrány infiltrometra musí byť v kontakte s povrchom pôdy, aby boli získané presné výsledky merania. Infiltrometer naplníme vodou a v hornej časti nastavíme požadované sanie vzduchu podľa typu pôdy. Následne zaznamenáme počiatočnú hodnotu, umiestnime prístroj na povrch pôdy a každých 30 sekúnd odčítame a zapíšeme objem vody v mililitroch zo stupnice (Infiltrometer1, 2013).

Zaznamenané údaje sa následne prenesú do počítača, kde sa spracujú v tabuľkovom programe Excel, ktorý poskytol výrobca infiltrometra. Tento postup umožňuje rýchle a efektívne stanovenie hydraulikkej vodivosti pôdy.

Hydraulickú vodivosť pôdy môžeme definovať ako „koľko metrov denne vody presiakne do pôdy smerom dole a to gravitačne alebo jednotkou tlakového spádu“. (Kirkham, 2005).

Existuje viacero metód na výpočet hydraulikkej vodivosti pôdy. Jednou z nich je metóda na výpočet infiltrácie a hydraulikkej vodivosti, ktorú navrhol Zhang (1997). Pri tejto metóde je potrebné merať kumulatívnu infiltráciu v závislosti od času a výsledok určiť na základe príslušnej funkcie.

$$I = C_1 t + C_2 \sqrt{t} \quad (1)$$

kde: C_1 – parameter funkcie súvisiaci s hydraulickou vodivosťou (, m.s⁻¹

C_2 – parameter funkcie má vzťah k sorpčnej schopnosti pôdy, $\text{m.s}^{-1/2}$

where:

C_1 – function parameter related to hydraulic conductivity, m.s^{-1}

C_2 – function parameter related to soil sorption capacity, $\text{m.s}^{-1/2}$

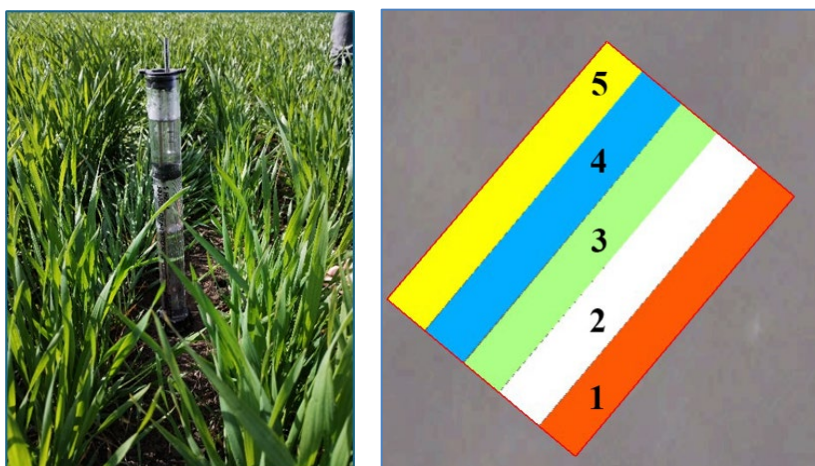
Hydraulická vodivosť pôdy k sa vypočíta pomocou funkcie:

$$k = \frac{C_1}{A_f} \quad (2)$$

kde: C_1 – je stúpanie krivky kumulatívnej infiltrácie v závislosti od druhej odmocniny času.
 A_f – je van Genuchtenov parameter, ktorý vychádza z nastavenia trubice na sanie vzduchu a daného typu pôdy udáva ho výrobca v manuály.

Where: C_1 – is the slope of the cumulative infiltration curve as a function of the square root of time.

A_f – is the van Genuchten parameter, which is based on the air intake tube setting and the given soil type, and is given by the manufacturer in the manual.



Obr. 1 Meranie infiltrmetrom, zamerané úseky
 Fig. 1 Measuring with Minidisc infiltrometer, focused sections

3 Výsledky a diskusia

Merania prebiehali na stredne ťažkej pôde s typom černozem (19.03.2024). Klimatický región sa vyznačoval veľmi teplým a veľmi suchým nížinným prostredím. Merania sa vykonali po sejbe. Zameraný pozemok je uniestnený v katastrálnom území Jurová pričom celková rozloha pozemku bola 12,1 ha. Pokusné stanovište bolo rozdelené na 5 úsekov o celkovej dĺžke 58 m. Šírka jednotlivých úsekov bola 41,8 m. Prvotné obrábanie pôdy ešte pred prvými meraniami bolo realizované s diskovým podmietačom Kuhn Discover v kombinácii s traktorom John Deere 6190R do hĺbky 15 cm. Ďalšie spracovanie v tom istom roku spočívalo v aplikovaní kultivátora Lemken Karat (Grubber) v súprave s traktorom John Deere 6190 a to do hĺbky 20 cm. Okrem uvedeného sa ešte použili SMS Cambridge valce a sejba so sejačkou JD740A v kombinácii s traktorom JD6175. Do konca kalendárneho roka sa už na pozemku nevykonali žiadne pracovné operácie.

Infiltrácia vody do pôdy predstavuje jednu zo vstupných faktorov, ktorá popri evapotranspirácii spôsobuje stratu zrážok. Infiltrácia predstavuje v našom ponímaní

poľnohospodárskej problematiky proces vnikania vody do pôdy (inak povedané vsakovanie cez jej povrch). Pre nás je zaujímavá podstatne infiltrácia zo zrážok, resp. z aplikácie závlahy. Okrem toho existuje aj infiltrácia z topiaceho sa snehu, stojatých vôd (kaluže, jazerá, nádrže). Dôležitým sledovaným parametrom z oblasti infiltrácie je práve jej intenzita, pretože od nej závisí aj tvorba povrchového odtoku s následným prepojením na eróziu pôdy. To znamená, že obrábanie pôdy a jej výsledná štruktúra bude uvedený parameter infiltrácie ovplyvňovať, pričom cieľom praxe je, aby do pôdy vsiaklo čo najväčšie množstvo vody. Rastliny by uvedeným spôsobom mohli dostatočne dlho zásoby vlhky využívať. Z uvedených dôvodov, sme sa aj pri výskume piatich rôznych úskov zameraného územia pôdy rozhodli skúmať variabilitu infiltrácie, pričom sme sa zamerali aj na sledovanie hydraulického vodivosti. Pri skúmaní infiltrácie je zaujímavý stav úplne nasýtenej pôdy vodou, keď by sa mala infiltrácia ustáliť na konštantnú (hydraulická vodivosť nenasýtenej pôdy). Uvedená vlastnosť je zvyčajne ovplyvňovaná aj vonkajšími faktormi ako typ pôdy, hĺbka spracovania a pod. Merania prebiehajú meracími zariadeniami založenými na princípe sledovania rýchlosti posunu vodného stĺpca za určitý čas. Pre naše merania, ako vyplýva z metodiky práce, sme sa rozhodli aplikovať rýchlejšiu a teda časovo nenáročnú metódu s Minidisk infiltrmetrom. Princíp je v tom, že voda sa do pôdy infiltruje cez polopriepustnú nerezovú membránu a na stupnici sa odčítava množstvo vody infiltrovanej do pôdy.

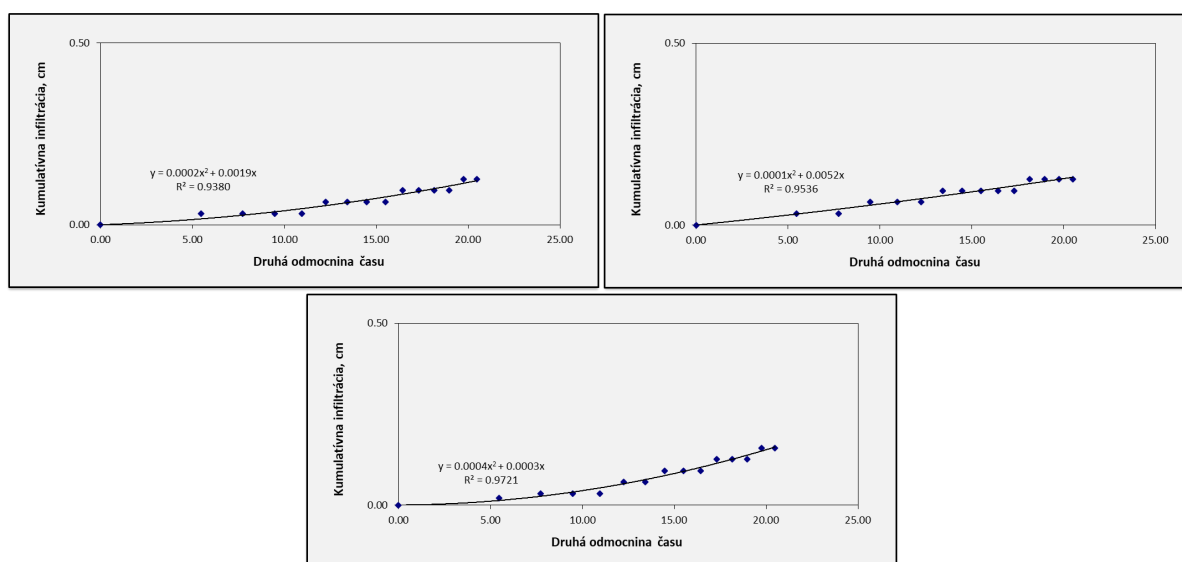
Merania teda prebiehali v piatich úsekoch (uniformné obrábanie pôdy) s troma merania v každom z nich. Vyhodnotenie výsledkov sa zrealizovalo na základe nameraných údajov infiltrácie po 30 sekundách v celkovom časovom horizonte 420 s. Typ infiltrmetra sa nastavil na *MiniDisk*, pôda na *hlinitý piesok* a odsávanie na 3. MiniDisk infiltrmeter infiltruje vodu pri saní od - 0,5 až - 6 cm a má polomer 2,25 cm. Z Van Genuchtenovej tabuľky vyplýva aj koeficient *Alpha*, ktorý súvisí s druhom pôdy ($\alpha = 0,124$). Hodnota van Genuchtenovho parametra *A* na základe druhu pôdy (hlinitý piesok) a nastavenie odsávania (3) bola 2,116. Následne sme vypočítali hydraulickú vodivosť *k* podľa vzorca uvedeného v metodike práce. Grafické zobrazenie výsledkov v prvých bodoch prezentuje obr.2 (prvý úsek). Dosiahnuté výsledky hydraulického vodivosti, rádiusu, hodnoty Alpha, koeficienta A a parametra C_1 sú uvedené v tabuľke 1. Z výsledkov vyplýva, že v prvom úseku dosahoval parameter C_1 súvisiaci s hydraulickou vodivosťou (určujúca aj sklon krivky kumulatívnej infiltrácie v závislosti od druhej odmocniny času) hodnoty od $0,6 \cdot 10^{-04}$ do $3,65 \cdot 10^{-04}$ cm.s⁻¹. Hydraulická vodivosť pôdy sa pohybovala v rozpätí od $2,82 \cdot 10^{-05}$ do $17,26 \cdot 10^{-05}$ cm.s⁻¹. Rozpätie hodnôt je dosť vysoké a mohlo byť spôsobené so zmena zhutnenia pôdy. Namerané hodnoty vlhkosti pôdy totižto na extrémnu variabilitu medzi bodmi nepoukazovali.

Tab. 1 Hydraulická vodivosť *k* v jednotlivých monitorovacích bodochTab.1 Hydraulic conductivity *k* at individual monitoring points

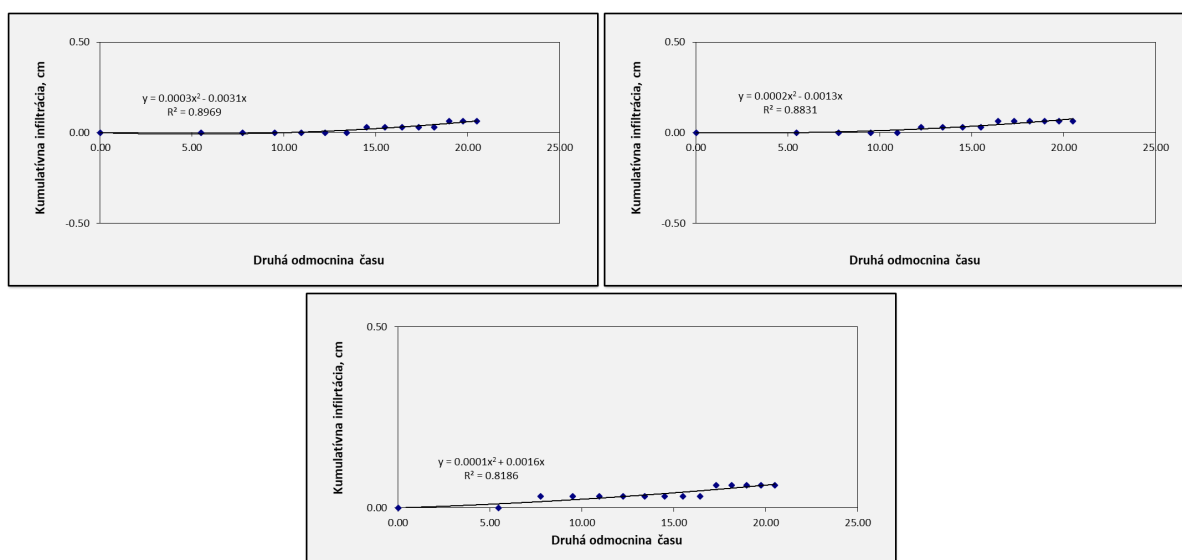
Monitorovací bod	$C_1, \cdot 10^{-04}$ cm.s ⁻¹	A	Radius, cm	Alpha	$k, \cdot 10^{-05}$ cm.s ⁻¹
A1	1,96	2,116	2,25	0,124	9,26
A2	0,60	2,116	2,25	0,124	2,82
A3	3,65	2,116	2,25	0,124	17,26
B1	3,03	2,116	2,25	0,124	14,32
B2	2,46	2,116	2,25	0,124	11,64
B3	0,74	2,116	2,25	0,124	3,52
C1	1,83	2,116	2,25	0,124	8,62
C2	1,59	2,116	2,25	0,124	7,51
C3	1,35	2,116	2,25	0,124	6,38
D1	3,28	2,116	2,25	0,124	15,48

D2	2,54	2,116	2,25	0,124	12,01
D3	6,11	2,116	2,25	0,124	28,85
E1	-2,75	2,116	2,25	0,124	-12,99
E2	2,29	2,116	2,25	0,124	10,82
E3	3,96	2,116	2,25	0,124	18,71

Ďalšie merania infiltrácie prostredníctvom kumulatívnej infiltrácie v závislosti od druhej odmocniny času sa realizovali v druhom úseku, pričom hodnoty hydraulickej vodivosti dosahovali hodnoty od $3,52 \cdot 10^{-05}$ do $14,32 \cdot 10^{-05} \text{ cm.s}^{-1}$. Hodnoty kumulatívnej infiltrácie, ako aj grafické zobrazenia poukazujú na pomalý a plynulý jej priebeh. Grafické zobrazenie výsledkov je uvedené na obr. 3. Vlhkosti pôdy nepreukazovali až takú variabilitu, avšak spôsobené to mohlo byť prevažne marcovým obdobím.



Obr. 2 Kumulatívna infiltrácia v závislosti od druhej odmocniny času, A1 - A3
Fig. 2 Cumulative infiltration as a function of the square root of time, A1 - A3

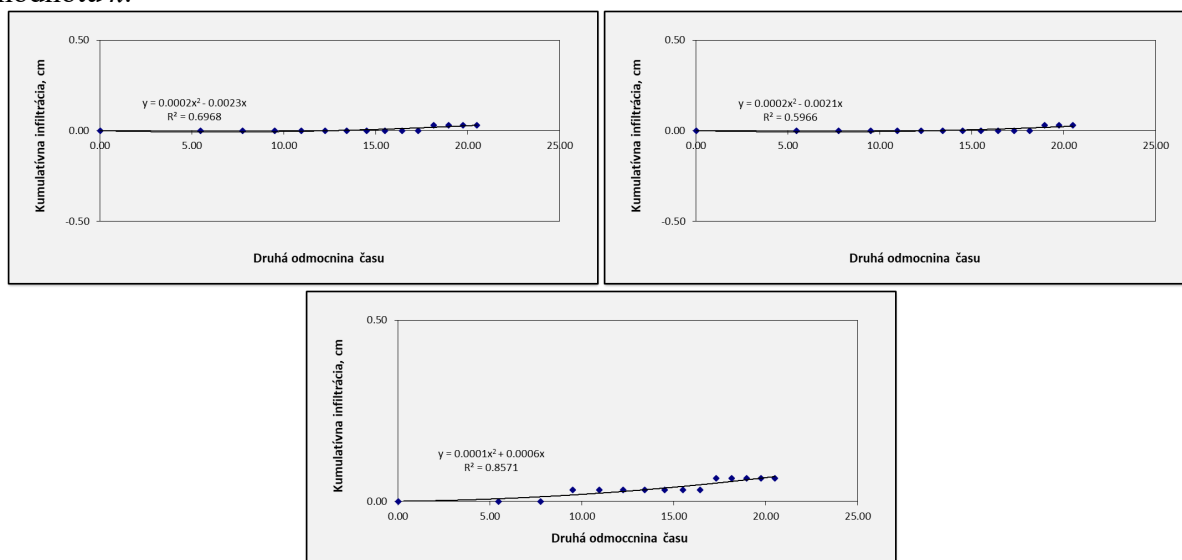


Obr. 3 Kumulatívna infiltrácia v závislosti od druhej odmocniny času, B1 - B3
Fig. 3 Cumulative infiltration as a function of the square root of time, B1 - B3

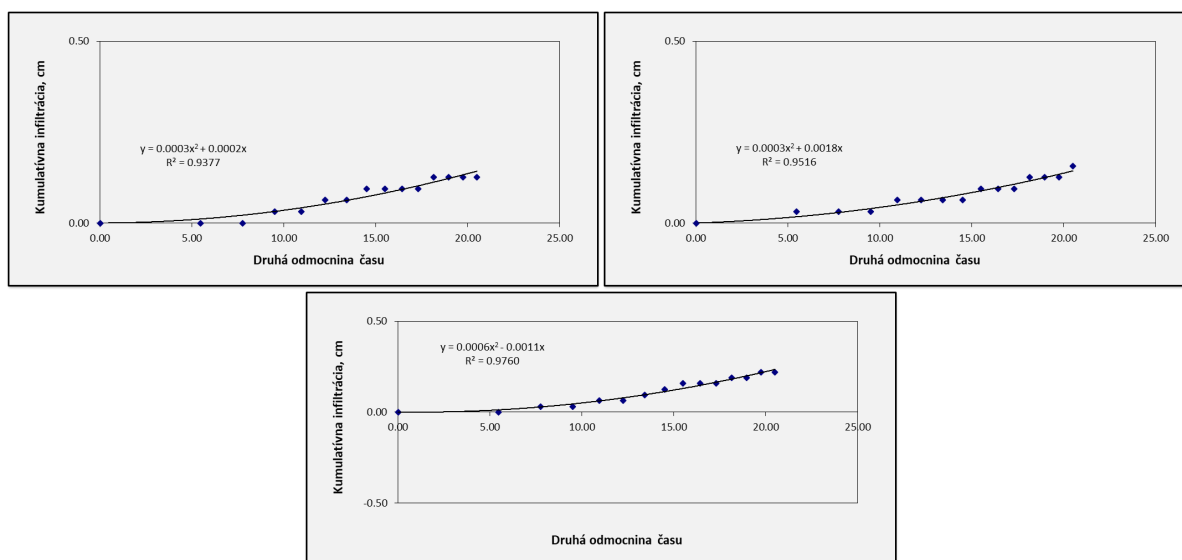
Merania v treťom úseku poukazujú na výraznejšie zmeny, oproti predchádzajúcim meraniam v úsekoch 1 a 2. Hydraulická vodivosť dosiahla hodnoty od $6,58 \cdot 10^{-05}$ do $8,62 \cdot 10^{-05} \text{ cm.s}^{-1}$. Grafické zobrazenie výsledkov je uvedené na obr. 4, z ktorého jednoznačne vyplývajú podstatne miernejšie priebehy infiltrácie.

Najvyššie zmeny sa prejavili vo štvrtom úseku (obr.5), pričom prvotné spracovanie pôdy bolo vo všetkých úsekoch rovnaké. Hodnoty hydraulickej vodivosti sa pohybovali od $12,01 \cdot 10^{-05}$ do $28,85 \cdot 10^{-05} \text{ cm.s}^{-1}$.

Posledné merania sa realizovali v piatom úseku (obr. 6), pričom v bode E1 sa objavila záporná hodnota. Tá vyjadruje spomalený účinok infiltrácie, pričom záporné hodnoty vznikajú vplyvom striedania zmeny infiltrácie medzi jednotlivými časovými úsekmi a to do vyšších a následne nižších hodnôt a opačne. To môže byť spôsobené na jednej strane stavom pôdy v meranej lokalite, alebo nesprávnym meraním. Možnosťou vysvetlenia je aj vzniknutý fenomén „vodoodpudivosť“ spôsobený aj suchou oblasťou v pôde, ktorá môže znižovať hodnotu k .



Obr. 4 Kumulatívna infiltrácia v závislosti od druhej odmocniny času, C1 - C3
Fig. 4 Cumulative infiltration as a function of the square root of time, C1 - C3

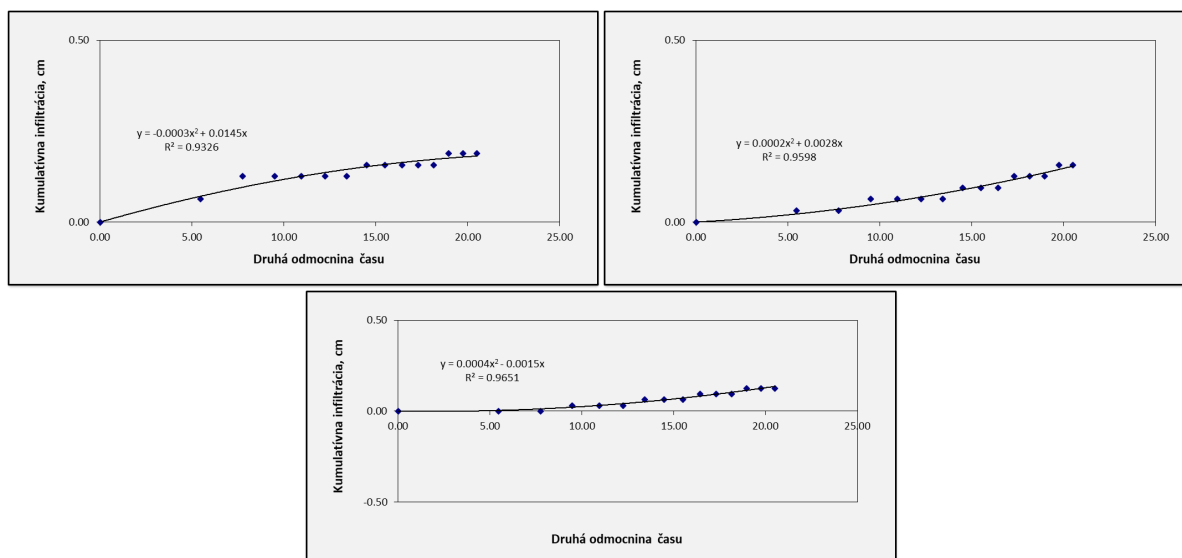


Obr. 5 Kumulatívna infiltrácia v závislosti od druhej odmocniny času, D1 - D3
Fig. 5 Cumulative infiltration as a function of the square root of time, D1 - D3

Z výsledkov možno povedať, že až na jeden monitorovací bod išlo o plynulú, avšak veľmi pomalú infiltračnú schopnosť pôdy. Podstatný bol aj termín merania (marce 2024), keď sa ešte pri vlastnostiach pôdy prejavuje zimná vlaha. Z hľadiska štatistického zhodnotenia je zrejmé, že minimálna priemerná hodnota bola v piatom úseku a maximálna pri štvrtom. Je už teraz na zvážení aj ostatných výsledkov pri prvom meraní, čo je pre poľnohospodára dôležité.

Iná štúdia poukazuje, pri 20 meraniach pomocou mini disk infiltrometru, na výsledky, ktoré sú značne ovplyvnené stavom pôdy. Merania vykonané v zhutnenej a nezhutnenej zóne odhalili, že nielenže dochádza k vysokej variabilite infiltračnej kapacity, ale aj k výskytu záporných hodnôt, ktoré sú pripisované buď vodoodpudivosti suchej pôdy alebo meracím nepresnostiam. Predĺženie meracieho času z 300 na 900 s pomohlo stabilizovať výsledky, pričom rozdiely medzi zhutnenými a nezhutnenými zónami neboli štatisticky významné (Jobbágy a kol. 2023). Štruktúra pôdy sa týka usporiadania pôdnych častíc a priestorov medzi nimi, čo ovplyvňuje infiltráciu vody, rast koreňov a dostupnosť živín. Dobrá štruktúra pôdy podporuje aeráciu a odvodnenie, čím uľahčuje zdravý rast rastlín. Výskum naznačuje, že štruktúra pôdy je základnou vlastnosťou, ktorá ovplyvňuje rôzne fyzikálne charakteristiky, ako je hydraulická vodivosť a kapacita zadržiavania vody (Kaur a kol., 2023; Mamatha, 2024).

Zhrnutím a porovnaním možno povedať, že aj keď oba prístupy demonštrujú značnú variabilitu infiltračných vlastností pôdy, kľúčovým faktorom pre zlepšenie infiltračnej kapacity je mechanické obrábanie pôdy. Celkovo teda obe štúdie potvrdili, že pre získanie stabilnejších a spoľahlivejších výsledkov je dôležité nielen správne technické nastavenie meracieho prístroja, ale aj optimalizácia mechanického spracovania pôdy a predĺženie meracieho času. Obe štúdie poukazujú na vysokú priestorovú variabilitu infiltračnej schopnosti pôdy a zdôrazňujú vplyv pôdneho spracovania a zhutnenia na výsledky meraní.



Obr. 6 Kumulatívna infiltrácia v závislosti od druhej odmocniny času, E1 - E3

Fig. 6 Cumulative infiltration as a function of the square root of time, E1 - E3

4 Záver

V rámci výskumných prác sme sa zamerali, v prvom rade na zhodnotenie uniformného spracovania na vybranej lokalite o celkovej rozlohe 12,1 ha a to prostredníctvom monitorovania infiltračnej schopnosti pôdy. Z uvedenej oblasti sa zobrala do úvahy len menšia časť, kde sa priamo realizovali merania vybraných veličín. Z výsledkov vyplynulo, že aj pri takom malom plošnom zábere, sa môže prejavovať preukázateľná variabilita

monitorovanej vlastnosti pôdy. Okrem toho, v jednom bode bola monitorovaná aj tzv. vodoodpudivosť, kde došlo k poklesu infiltračnej schopnosti pôdy.

5 Literatúra

ANGELOVIČ, Marek - JOBBÁGY, Ján - FINDURA, Pavol. 2019. *Technika v biosystémoch*. 2. uprav. vyd. Nitra : Slovenská poľnohospodárska univerzita, 2019. 207 s. ISBN 978-80-552-2065-9.

DENG, Zizheng - HUANG, Mingjing - ZHANG, Wuping - WANG, Guofang – Huang, Xuefang - LIANG, Gaimei – LI, Nana. 2023. Effects of five years conservation tillage for hedging against drought, stabilizing maize yield, and improving soil environment in the drylands of northern China. *Plos One*, 18(3), e0282359. Dostupné na: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0282359>

KAUR, Arshpreet - SIDHU, A.S. - AULAKH, R.K. - KAUR, Jagot a SINGH, Amanpreet. 2023. Evaluation of physico-chemical parameters of soil in different cropping systems and their co-relation with earthworm diversity. *International Journal of Plant & Soil Science*, 35(11), 121–128. Dostupné na: <https://doi.org/10.9734/ijpss/2023/v35i112953>

JOBBÁGY, Ján - KRIŠTOF, Koloman - BÁREK, Viliam. 2017. *Meliorácie v poľnohospodárstve : vlastnosti pôdy, odvodňovanie a zavlažovanie*. 1. vyd. Nitra : Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, 2017. 253 s. ISBN 978-80-552-1676-8.

JOBBÁGY, Ján - KRIŠTOF, Koloman - ANGELOVIČ, Michal ZSEMBELI, József. Evaluation of Soil Infiltration Variability in Compacted and Uncompacted Soil Using Two Devices. In *Water*. ISSN 2073-4441 online, 2023, vol. 15, iss. 10, article number 1918 [19 s.] (2023: 3 - IF, Q2 - JCR Best Q, 0.529 - AIS, Q3 - AIS Q, 0.724 - SJR, Q1 - SJR Best Q). Dostupné na internete: <https://doi.org/10.3390/w15101918>.

MAMATHA, B. 2024. Enhancing soil health and fertility management for sustainable agriculture: a review. *Asian Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 10(3), 182–190. Dostupné na: <https://doi.org/10.9734/ajsspn/2024/v10i33330>

NÉMETHOVÁ, Jana. 2011. Potential and perspectives of agricultural soil in Slovakia. *Geografické Štúdie*, 15(2), 20–31. <https://doi.org/10.17846/gs.2011.15.2.20-31>

OBRÁBANIE 01. [cit. 2025-01-27] [online] [2024] Dostupné na internete: <https://www.vaderstad.com/hu/tudastar/talajmvelesi-eljarasok/hagyomanyos-mveles/>

PETLUŠOVÁ, Viera - PETLUŠ, Peter - TOBIÁŠOVÁ, Erika - HREŠKO, Juraj. 2018. Možnosti a vybrané postupy identifikácie ohrozenia pôdy vodnou eróziou. *Geografické Informácie*, 22(1), 403–419. <https://doi.org/10.17846/gi.2018.22.1.403-419>

SANGOTAYO, Anuoluwa - CHELLAPPA, Jemila - Sekaran, Udayakumar - BANSAL, Sangeeta - ANGMO, Padma - JASA, Paul – KUMAR, Sandeep - IQBAL, Javed. 2023. Long-term conservation and conventional tillage systems impact physical and biochemical soil health indicators in a corn–soybean rotation. *Soil Science Society of America Journal*, 87(5), 1056–1071. Dostupné na: <https://doi.org/10.1002/saj2.20563>

Súhrn

V predkladanom príspevku sme sa zamerali na zhodnotenie variability infiltračnej schopnosti pôdy pri uniformnom spracovaní pôdy. Merania boli vykonávané na poľnohospodárskom podniku POLISCHO, s.r.o. v Gabčíkove, kde boli merania zamerané a rozdelené na tri rôzne úseky pozemku s cieľom zhodnotiť variabilitu skúmanej vlastnosti. Na

stanovenie infiltračnej schopnosti sa aplikoval Minidisk infiltrometer, ktorý umožnil presné meranie rýchlosti vsakovania vody do pôdy. Priemerné hodnoty hydraulickej vodivosti dosahovali 2,82 až 17,26.10⁻⁰⁵ cm.s⁻¹, pričom pri rôznych úsekoch pozemku sa preukázal ich jednoznačný vplyv (pri štvrtom úseku bola infiltrácia najvýraznejšia). Pozoruhodná bola situácia v jednom vybranom monitorovacom bode, kde sa preukázala záporná hodnota (poukazuje na vodoodpudivosť). Variabilita týchto vlastností je výrazne ovplyvnená nielen poveternostnými faktormi, ako je textúrou a štruktúrou pôdy a mechanickými zásahmi spôsobenými rôznymi metódami obrábania. Výsledky naznačujú, že optimalizácia agrotechnických postupov a využitie moderných meracích techník môžu viesť k zlepšeniu úrodnosti a udržateľnému hospodáreniu s pôdou.

Kľúčové slová: infiltrácia, variabilita, vlastnosti pôdy

Pod'akovanie: Táto publikácia je výsledkom projektu VEGA č. 1/0344/24 „Manažment racionálneho hospodárenia na pôde s pozitívnym efektom na znižovanie uhlíkovej stopy“.

RIADENIE MATEMATICKÉHO MODELU MOBILNÉHO ROBOTA PROSTREDNÍCTVOM FUZZY REGULÁTORA

CONTROL OF A MATHEMATICAL MODEL OF A MOBILE ROBOT USING A FUZZY CONTROLLER

MARIANNA IŽOLDOVÁ – MARTIN OLEJÁR

Abstract

This paper focuses on the design and optimization of a fuzzy controller for a mobile robot with a three-wheeled chassis and rear-wheel drive. The solution was based on a two-stage tuning process, where the outputs for rear wheel speed and front wheel steering angle were adjusted separately. Various sets of fuzzy rules were created and their impact on control quality was evaluated using selected indicators: regulation time, maximum deviation from the ideal path, and absolute control area. The results confirmed that the best performance was achieved with medium to higher output values for speed and moderately set steering angles. The optimal configuration led to regulation within 71 seconds while maintaining deviation below 1.12 metres. The proposed approach proved effective in identifying suitable rule sets and demonstrated practical potential in the field of fuzzy control for mobile robotics.

Key words: fuzzy controller, mobile robot, mathematical model, motion control, three-wheeled chassis, interference rule optimization

1 Úvod

Riadenie mobilných robotov predstavuje jednu z kľúčových oblastí výskumu v robotike a automatizácii. Mobilné roboty nachádzajú široké uplatnenie v priemysle, logistike, zdravotníctve a ďalších oblastiach, kde je potrebné autonómne rozhodovanie a adaptácia na dynamické prostredie. Klasické metódy riadenia, ako napríklad PID regulátory alebo modelovo založené prístupy, často čelia problémom pri riešení nelineárnych systémov s neurčitostami. V tomto kontexte sa fuzzy riadenie ukazuje ako efektívny nástroj na zvládnutie komplexnosti riadenia mobilných robotov (Faisal, 2013).

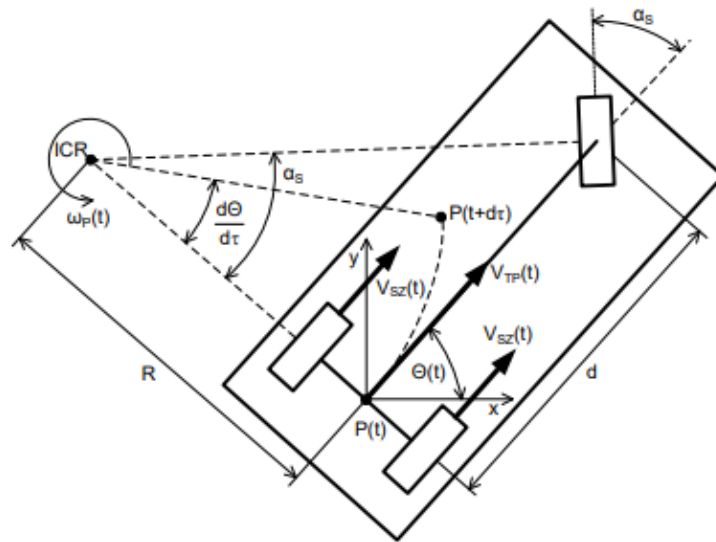
Fuzzy regulátory, založené na fuzzy logike, umožňujú modelovanie ľudského rozhodovania a aproximáciu nepresných alebo neistých informácií. Na rozdiel od tradičných riadiacich algoritmov nevyžadujú presný matematický model riadeného systému, ale využívajú súbor pravidiel typu „ak-potom“, ktoré sú odvodené z expertnej znalosti alebo experimentálnych údajov. Tento prístup je obzvlášť výhodný pri riadení mobilných robotov, ktoré sa pohybujú v dynamickom a nepredvídateľnom prostredí, kde presná matematická formulácia nie je vždy možná (Hallouz, 2023).

Hlavným cieľom je navrhnúť a implementovať fuzzy regulátor, ktorý umožní stabilné a efektívne riadenie pohybu robota. Práca analyzuje dynamické vlastnosti mobilného robota,

formuláciu fuzzy pravidiel a ladenie parametrov regulátora. Výsledky sú validované prostredníctvom simulácií a experimentov, pričom sa hodnotí presnosť riadenia.

2 Materiál a metódy

V tomto príspevku je použitý matematický model mobilného robota so zadným náhonom, ktorý sa pohybuje po rovine. Tento model berie do úvahy pohyb robota ako tuhé teleso, pričom predné koleso slúži na riadenie a zadné kolesá na pohon. Poloha robota v 2D priestore je definovaná súradnicami (x,y) a orientáciou θ .



Obr. 1 Schéma trojkolesového podvozku so zadným náhonom (Olejár, 2017)

Fig. 1 Diagram of a Three-Wheeled Chassis with Rear-Wheel Drive (Olejár, 2017)

Obvodová rýchlosť zadných kolies $V_{sz}(t)$ je daná vzťahom:

$$\begin{aligned} V_{TP}(t) &= V_{sz}(t) \\ V_{sz}(t) &= \omega_P(t) \cdot R \end{aligned} \quad (1)$$

Kde $V_{sz}(t)$ - obvodová rýchlosť zadných kolies, m.s^{-1} ,
 $V_{TP}(t)$ - tangenciálna rýchlosť robota, m.s^{-1}
 $\omega_P(t)$ - uhlová rýchlosť zadných kolies, s^{-1} ,
 R - polomer otáčania zadných kolies, m,

Where $V_{sz}(t)$ - peripheral speed of the rear wheels, m.s^{-1} ,
 $V_{TP}(t)$ - tangential velocity of the robot, m.s^{-1} ,
 $\omega_P(t)$ - angular velocity of the rear wheels, s^{-1} ,
 R - turning radius of the rear wheels, m.

Z rovnice (1) môžeme vypočítať uhlovú rýchlosť zadných kolies mobilného robota. Tento výpočet je založený na vzťahu medzi obvodovou rýchlosťou zadných kolies $V_{sz}(t)$ a uhlovou rýchlosťou $\omega_P(t)$ zadných kolies. Obvodová rýchlosť $V_{sz}(t)$ sa rovná uhlovej rýchlosti $\omega_P(t)$ vynásobenému polomerom otáčania R , ktorý závisí od geometrie robota a uhla natočenia predného kolesa, vyjadrený v rovnici (2). Z tejto rovnice potom ďalšou úpravou dostaneme uhlovú rýchlosť zadných kolies (Jurišica, 2005).

$$\omega_P(t) \cdot \frac{d}{\tan[\alpha_S(t)]} \rightarrow \omega_P(t) = \frac{V_{SZ}(t)}{d} \cdot \tan[\alpha_S(t)] \quad (2)$$

Kde $\alpha_S(t)$ – uhol natočenia predného kolesa, °,
 d – rázvor zadných kolies, m.

Where $\alpha_S(t)$ – steering angle of the front wheel, °,
 d - wheelbase of the rear wheels, m.

Pri trojkolesovom podvozku so zadným náhonom je tangenciálna rýchlosť robota rovnaká ako rýchlosť zadných kolies. Na základe tohto predpokladu môžeme odvodiť sústavu diferenciálnych rovníc, ktoré popisujú matematický model pohybu mobilného robota. Táto sústava rovníc sa používa na výpočet pozície robota v každom časovom okamihu k , pričom sa vychádza z predchádzajúcej vzorky pozície (Jurišica, 2005).

$$x(k) = V_{SZ}(k) \cdot \cos[\theta(k)] \cdot T + x(k-1) \quad (3)$$

$$y(k) = V_{SZ}(k) \cdot \sin[\theta(k)] \cdot T + y(k-1) \quad (4)$$

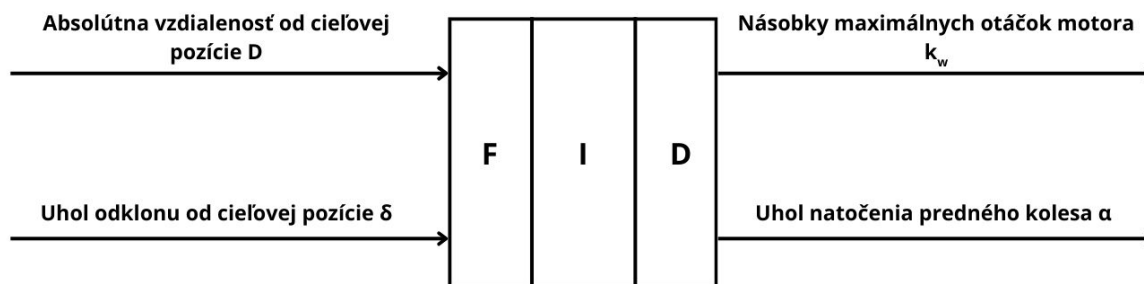
$$\theta(k) = V_{SZ}(k) \cdot \frac{\tan[\alpha_S(k)]}{d} \cdot T + \theta(k-1) \quad (5)$$

Kde $x(k)$ – aktuálna vzorka x-ovej súradnice mobilného robota, m,
 $x(k-1)$ – predchádzajúca vzorka x-ovej súradnice mobilného robota, m ,
 $y(k)$ – aktuálna vzorka y-ovej súradnice mobilného robota, m,
 $y(k-1)$ – predchádzajúca vzorka y-ovej súradnice mobilného robota, m,
 $\theta(k)$ – aktuálny uhol natočenia robota, °,
 $\theta(k-1)$ – predchádzajúci uhol natočenia robota, °,
 $V_{SZ}(k)$ – aktuálna vzorka obvodovej rýchlosti zadných kolies, m.s⁻¹,
 $\alpha_S(k)$ – aktuálna vzorka uhlu natočenia predného kolesa, °,
 d – rázvor kolies, m,
 T – perióda vzorkovania, s.

Where $x(k)$ – current sample of the x-coordinate, m,
 $x(k-1)$ – previous sample of the x-coordinate, m,
 $y(k)$ – current sample of the y-coordinate, m,
 $y(k-1)$ – previous sample of the y-coordinate, m,
 $\theta(k)$ – current orientation angle of the robot, °,
 $\theta(k-1)$ – previous orientation angle of the robot, °,
 $V_{SZ}(k)$ – current sample of the peripheral speed, m.s⁻¹,
 $\alpha_S(k)$ – current sample of the front wheel steering angle, °,
 d – wheelbase, m,
 T – sampling period, s.

Tieto rovnice sa následne cyklicky vyhodnocujú v riadiacej slučke, až kým robot nedosiahne cieľovú pozíciu. Algoritmus výpočtov sa začína inicializáciou premenných, prepočítava nové súradnice a orientáciu. Súčasťou algoritmu je aj korekciu uhla natočenia a overenie, či bola cieľová pozícia dosiahnutá. Tento algoritmus tvorí základ pohybovej časti regulácie robota.

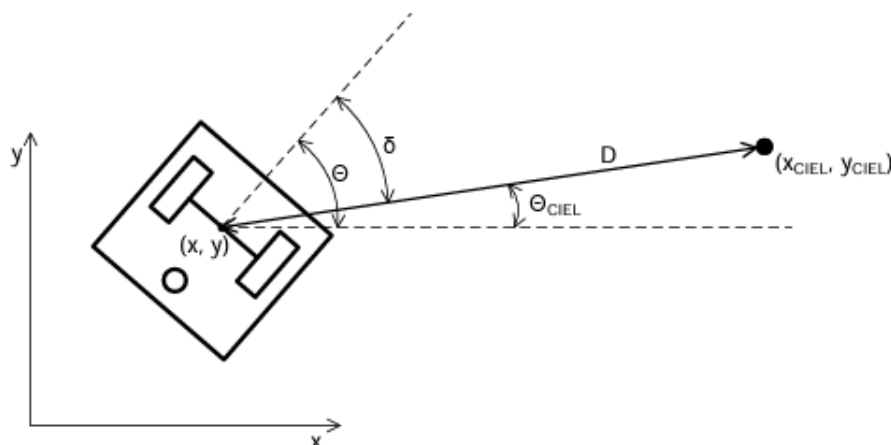
Jeho výstupom je aktuálna poloha a orientácia robota, ktoré slúžia ako spätná väzba pre fuzzy regulátor. Ten na základe získaných údajov priebežne upravuje rýchlosť a uhol riadenia v nasledujúcich krokoch riadiaceho procesu. Na riadenie robota bol navrhnutý fuzzy regulátor, ktorý využíva súbor logických pravidiel typu "ak-potom". Tento regulátor bol navrhnutý s cieľom zabezpečiť plynulé a presné riadenie robota pri navigácii po zadanej trati pozostávajúcej z pol'a súradníc (x,y).



Obr. 2 Schéma fuzzy regulátora použitého na riadenie matematického modelu mobilného robota

Fig. 2 Block Diagram of the Fuzzy Controller Applied to the Control of a Mobile Robot Mathematical Model

Jedným zo vstupov fuzzy regulátora je uhol odklonu od cieľovej pozície mobilného robota, ktorý vyjadruje smerovú nezhodu medzi aktuálnym natočením mobilného robota a smerom k cieľovému bodu v rozsahu $\pm 90^\circ$. Druhý vstup tvorí absolútnu vzdialenosť D medzi robotom a cieľovou pozíciou, ktorej hodnota sa pohybuje v intervale od 0 do 2 metrov. V situácii, keď hodnota uhlu odklonu prekročí povolený rozsah $\pm 90^\circ$, fuzzy riadiaci systém sa deaktivuje a robot prechádza do špeciálneho režimu - aktivuje manéver, pri ktorom robot vykonáva otočenie v smere hodinových ručičiek v rámci svojich kinematických obmedzení. V prípade, že vzdialenosť robota od cieľa presiahne 2 metre, vstupná hodnota sa numericky obmedzí na maximálnu hodnotu 2 m, aby nedošlo k preťaženiu rozsahu regulátora (Olejár, 2017).



Obr. 3 Význam vstupných veličín fuzzy regulátora pri riadení matematického modelu mobilného robota (Olejár, 2017)

Fig. 3 Importance of Input Variables in the Fuzzy Controller for Mobile Robot Model Control (Olejár, 2017)

Na prepočet vzdialenosti mobilného robota od cieľu sme použili vzťah:

$$D = \sqrt{(x - x_{ciel})^2 + (y - y_{ciel})^2} \quad (6)$$

Kde D – vzdialenosť mobilného robota od cieľovej pozície, m,
 x_{ciel} – x-ová súradnica cieľa, m,
 y_{ciel} – y-ová súradnica cieľa, m,

x – x -ová súradnica vzťažného bodu mobilného robota, m,

y – y -ová súradnica vzťažného bodu mobilného robota, m.

Where D - distance of the robot from the target, m,

x_{ciel} - x -coordinate of the target, m,

y_{ciel} - y -coordinate of the target, m,

x – x -coordinate of the reference point of the robot, m,

y – y -coordinate of the reference point of the robot, m.

Na výpočet uhla odklonu mobilného robota od cieľovej pozície je najskôr potrebné určiť smerový uhol cieľového bodu vzhľadom na aktuálnu polohu robota. Tento uhol sa stanovuje pomocou nasledovného výpočtového vzťahu:

$$\theta_{ciel} = \left(\arcsin \frac{y_{ciel} - y}{D} \right) \cdot \frac{180}{\pi} \quad (7)$$

Kde θ_{ciel} – uhol cieľového bodu vzhľadom na vzťažný bod mobilného robota, °.

Where θ_{ciel} - angle of the target point relative to the reference point of the robot, °.

Uhol cieľového bodu vzhľadom na vzťažný bod mobilného robota je potrebné prepočítať na rozsah 0 – 360 °. Bez tejto transformácie by mohlo dôjsť k nesprávnej interpretácii smeru, najmä v prípadoch, keď sa cieľ nachádza v zápornom kvadrante súradnicovej roviny. Tento krok je nevyhnutný najmä pri výpočte uhla odklonu δ , ktorý ovplyvňuje smer natočenia predného kolesa a tým aj schopnosť robota správne reagovať na polohovú chybu voči cieľovej pozícii.

$$\delta = \theta - \theta_{ciel} \quad (8)$$

Kde θ – uhol natočenia robota, °,

δ – uhol odklonu mobilného robota od cieľovej pozície, °.

Where θ – robot orientation angle, °,

δ - Angular deviation from the target position, °.

Pre účely spoľahlivej navigácie mobilného robota je nevyhnutné upraviť vypočítaný uhol odklonu na rozsah $\pm 180^\circ$. Tento krok zabezpečuje, že odchýlka medzi aktuálnym smerom pohybu a smerom k cieľu je vyjadrená ako najkratšia možná rotačná trajektória. V praxi to znamená, že robot vykoná otočenie v smere, ktorý si vyžaduje menší uhol natočenia – či už doľava alebo doprava. Ak by sa uhol odklonu ponechal mimo tohto rozsahu, mohlo by dôjsť k nesprávnemu určeniu smeru otáčania, čo by sa prejavilo zbytočným predĺžením dráhy, alebo dokonca oscilačným pohybom okolo cieľovej pozície. Korektná transformácia uhla je preto kľúčovým predpokladom pre efektívne a plynulé navádzanie robota k zvolenému cieľu.

V tomto príspevku bol fuzzy regulátor ladený s cieľom optimalizovať kvalitu riadenia mobilného robota. Na základe poznatkov z literatúry a praktických pozorovaní sme vyhodnotili, že interferenčné pravidlá, teda pravidlá, ktoré kombinujú extrémne hodnoty jazykových premenných, majú najväčší vplyv na kvalitu riadenia – predovšetkým na čas regulácie a stabilitu riadenia (Olejár, 2017).

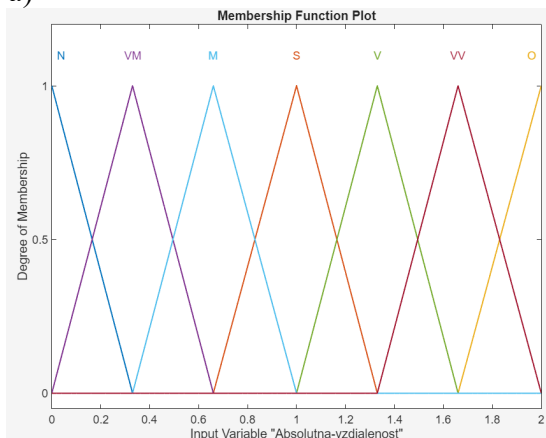
Z tohto dôvodu sme si zvolili systematickú metódu optimalizácie fuzzy pravidiel, založenú na číselnom ohodnotení lingvistických premenných a štatistickom vyhodnotení ich vplyvu.

Tab. 1 Lingvistické premenné pre vstupné a výstupné veličiny D , δ , S_{vz} a α pre fuzzy regulátor so 49 interferenčnými pravidlami

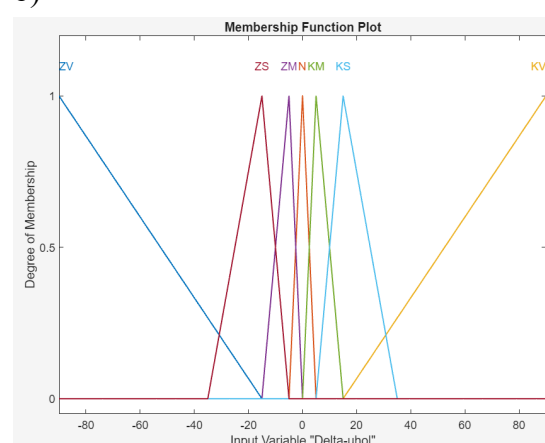
Tab. 1 Linguistic Variables for the Input and Output Quantities D , δ , S_{vz} , and α for the Fuzzy Controller with 49 Inference Rules

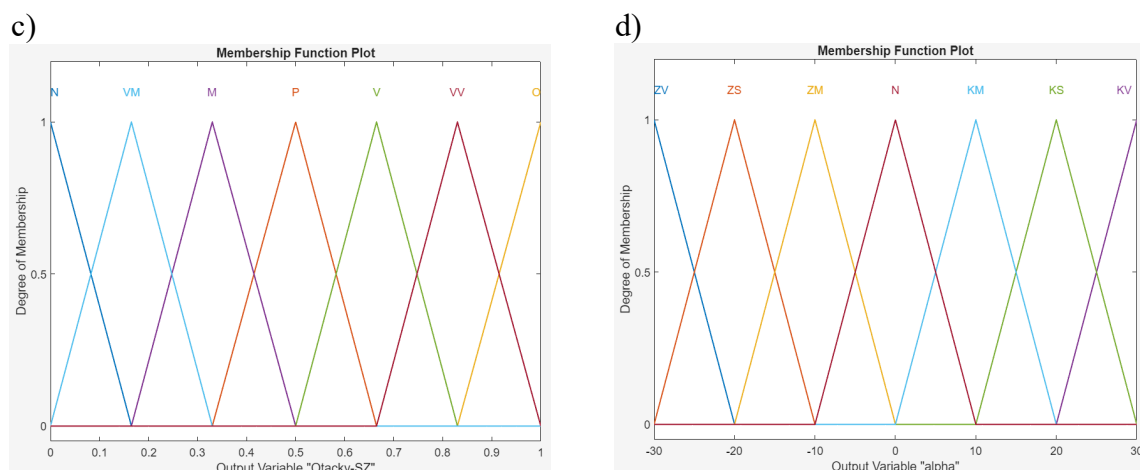
D	δ	S_{vz}	Hodnota lingvistickej premennej S_{zv}	α	Hodnota lingvistickej premennej α
N – nulová vzdialenosť	N – nulový uhol	N – nulový násobok	0	N – nulový uhol	0
VM – veľmi malá vzdialenosť	KM – kladný malý uhol	VM – veľmi malý násobok	0,265	KM – kladný malý uhol	10
M – malá vzdialenosť	KS – kladný stredný uhol	M – malý násobok	0,33	KS – kladný stredný uhol	20
S – stredná vzdialenosť	KV – kladný veľký uhol	P – priemerný násobok	0,5	KV – kladný veľký uhol	30
V – veľká vzdialenosť	ZM – záporný malý uhol	V – veľký násobok	0,665	ZM – záporný malý uhol	-10
VV – veľmi veľká vzdialenosť	ZS – záporný stredný uhol	VV – veľmi veľký násobok	0,8276	ZS – záporný stredný uhol	-20
O – obrovská vzdialenosť	ZV – záporný veľký uhol	O – obrovský násobok	1	ZV – záporný veľký uhol	-30

a)



b)





Obr. 4 Funkcie príslušnosti jednotlivých lingvistických hodnôt pre a) vzdialenosť robota od cieľovej pozície D, b) uhol odklonu mobilného robota od cieľovej pozície δ , c) násobky maximálnych otáčok motora poháňajúceho kolesa S_{vz} , d) uhol natočenia predného kolesa α

Fig. 4 Membership Functions of the Individual Linguistic Values for: a) the Distance of the Robot from the Goal Position D, b) the Deviation Angle δ of the Mobile Robot from the Target Position, c) the Multiples of the Maximum Revolutions of the Drive Motor S_{vz} , d) the Steering Angle α of the Front Wheel

V rámci procesu optimalizácie fuzzy regulátora bolo vytvorených niekoľko odlišných sád pravidiel, pričom každá sada obsahovala 49 pravidiel. Tieto sady sa líšili predovšetkým číselným ohodnotením výstupných jazykových hodnôt a rôznymi kombináciami pravidiel, ktoré vznikli na základe znižovania, (prípadného zvyšovania) číselnej hodnoty priemeru príslušnej lingvistickej premennej.

Každá sada bola následne otestovaná v simulačnom prostredí a vyhodnocovaná podľa kľúčových parametrov kvality riadenia, ako sú čas regulácie, maximálna odchýlka od ideálnej trajektórie a absolútna regulačná plocha, ktorá je ohraničená vypočítanou dráhou mobilného robota a spojnicou počiatočného a cieľového bodu. Na základe týchto kritérií bola ako najvhodnejšia identifikovaná jedna konkrétna sada pravidiel, ktorá dosahovala najlepšie výsledky z hľadiska rýchlosti a presnosti riadenia.

3 Výsledky a diskusia

Množina súradníc (x,y) , je optimálne zvolená s cieľom zabezpečiť prechod mobilného robota cez rôzne kvadranty a vo všetkých smeroch pohybu.

Tab. 2 Množina súradníc X,Y
Tab. 2 Set of X,Y Coordinates

X, m	Y, m
0	0
5	0
5	5
10	10

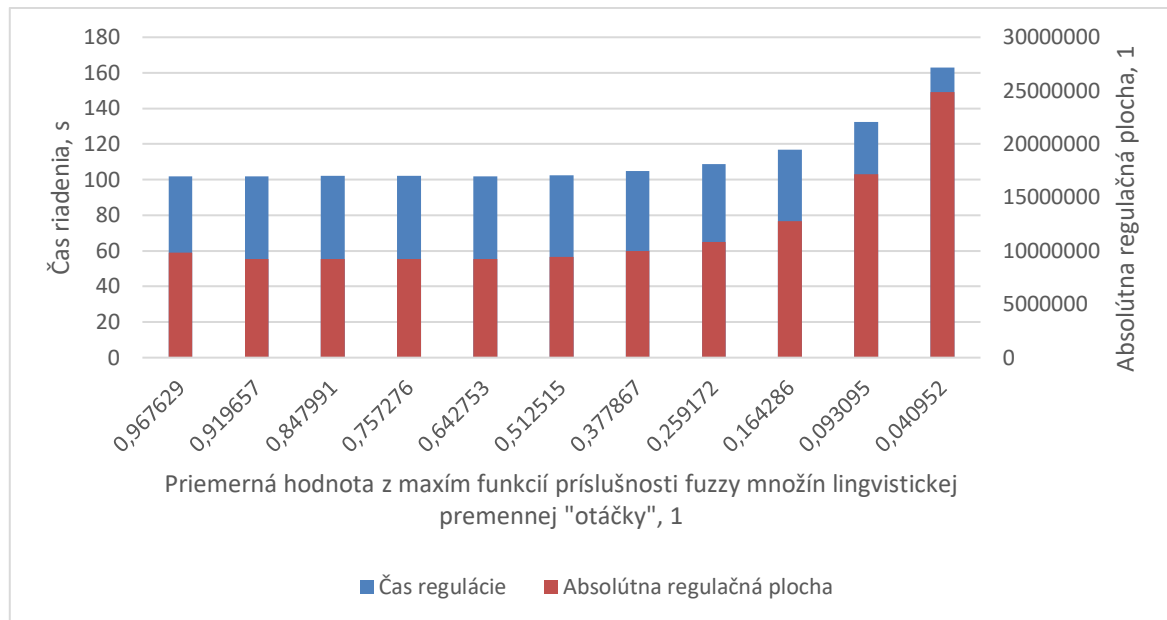
15	10
20	5
20	-5
15	-10
10	-10
5	-5
5	0

Na obrázkoch 5 a 6 sú znázornené výsledky analýzy vplyvu priemernej číselnej hodnoty z maxim funkcií príslušnosti výstupných lingvistických premenných pre otáčky zadných kolies na kvalitu riadenia mobilného robota. Analýza bola vykonaná samostatne pre prvý výstup fuzzy regulátora (otáčky), pričom druhý výstup (uhol natočenia) bol počas celej série experimentov fixne nastavený. V rámci každej testovanej sady pravidiel bolo zároveň prvých sedem pravidiel regulátora ponechaných fixne, pričom výstupná hodnota otáčok v týchto pravidlách priamo kopírovala vstupnú hodnotu „absolútnu vzdialenosť od cieľovej pozície D“. Tento prístup rešpektuje prirodzenú dynamiku pohybu robota – väčšia vzdialenosť si vyžaduje vyššiu rýchlosť – a zároveň umožňuje stabilizovať počiatočné správanie regulátora, čím sa zjednoduší posúdenie vplyvu zvyšných pravidiel.

Obrázok 5 zobrazuje súčasne čas regulácie a absolútnu regulačnú plochu, ktorá je ohraničená vypočítanou dráhou mobilného robota a spojnicou počiatočného a cieľového bodu pre jednotlivé priemerné hodnoty výstupných pravidiel. Najlepšie výsledky boli dosiahnuté v rozsahu priemernej hodnoty približne 0,6 až 0,95, kde sa regulátor vyznačoval najkratším časom regulácie (~101–102 s) a zároveň najnižšou regulačnou plochou (~9,2 až 9,8 milióna). S postupným znižovaním výstupných priemerných hodnôt (pod 0,5) dochádza k zhoršeniu výkonnosti systému – predlžuje sa čas potrebný na dosiahnutie cieľa a zvyšuje sa plocha medzi skutočnou a ideálnou trajektoriou.

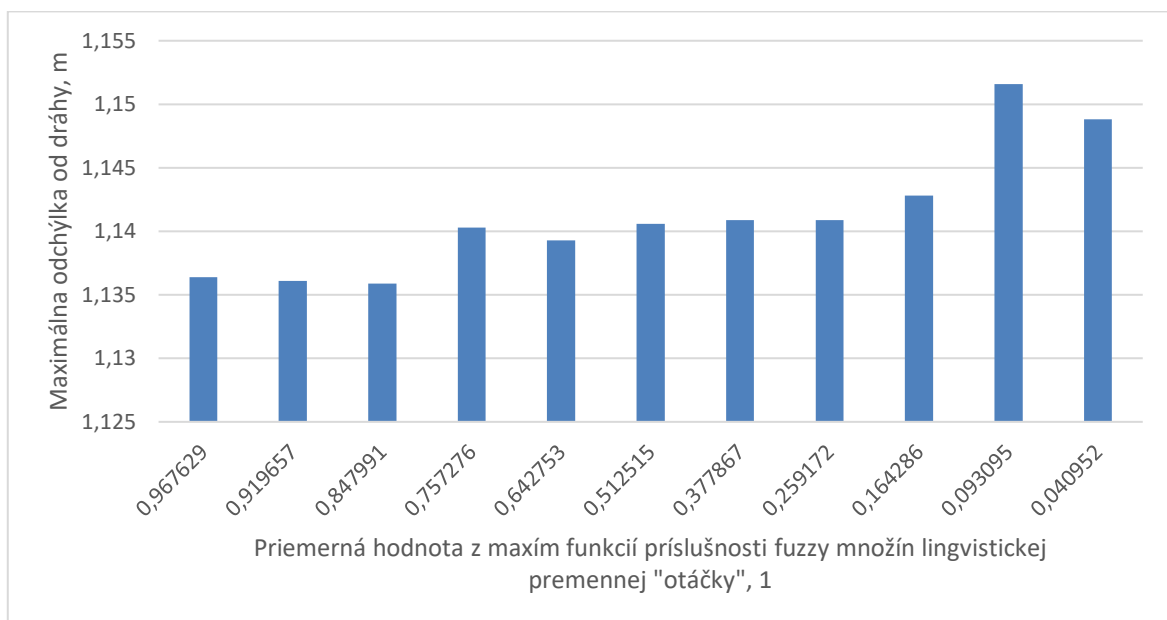
Tento trend potvrdzuje aj obrázok 6, ktorý zachytáva maximálnu odchýlku od ideálnej dráhy. V oblasti vyšších výstupných hodnôt (0,85 až 0,95) boli zaznamenané najnižšie hodnoty maximálnej odchýlky (~1,135 m), čo poukazuje na schopnosť robota udržiavať stabilný a presný pohyb po trajektorii. Naopak, pri nižších výstupných hodnotách sa odchýlka zvyšuje – v extrémnom prípade (pri priemernej hodnote 0,04) až na 1,153 m.

Z oboch obrázkov jednoznačne vyplýva, že aj keď sa výstup „otáčky“ primárne viaže na rýchlosť pohybu robota, jeho nastavenie má zásadný vplyv na celkovú kvalitu riadenia. Interferenčné pravidlá, ktoré sa aktivujú pri extrémnych kombináciách vstupov (napr. veľká vzdialenosť a veľký uhol), ovplyvňujú najmä fázy intenzívneho pohybu a korekcií smeru. Ich vhodné nastavenie umožňuje nielen rýchlejšie dosiahnutie cieľa, ale aj presnejšie sledovanie trajektórie a menšie oscilácie systému. Výsledky preto potvrdzujú, že správne navrhnutá fuzzy báza pre otáčky má pozitívny vplyv nielen na dynamiku, ale aj na stabilitu a presnosť riadenia.



Obr. 5 Graf závislosti priemernej hodnoty z maxím funkcií príslušnosti fuzzy množín lingvistickej premennej „otáčky“ k času riadenia a absolútnej regulačnej ploche, ktorá je ohraničená vypočítanou dráhou mobilného robota a spojnicou počiatočného a cieľového bodu

Fig. 5 Graph of the Dependence of the Average Value from the Maxima of the Membership Functions of the Fuzzy Sets of the Linguistic Variable 'Revolutions' on the Control Time and the Absolute Control Area, Defined by the Calculated Path of the Mobile Robot and the Line Connecting the Start and Goal Points



Obr. 6 Graf maximálnej odchýlky od dráhy

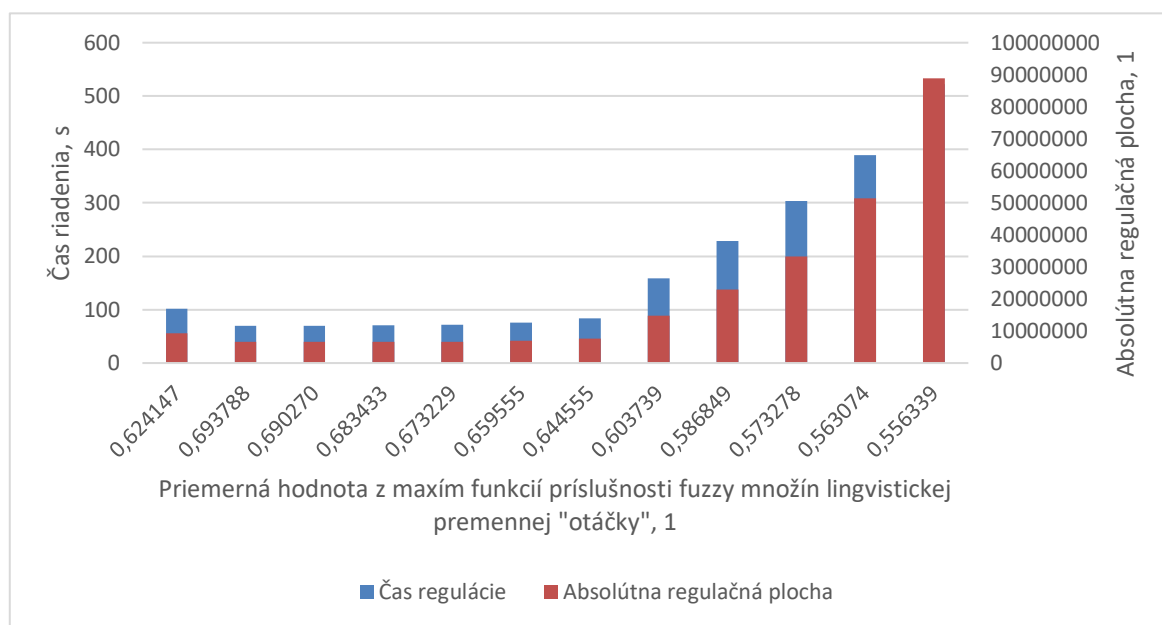
Fig. 6 Graph of the Maximum Deviation from the Path

Na základe analýzy výsledkov z obrázku 5 (čas regulácie a absolútna regulačná plocha) a obrázku 6 (maximálna odchýlka od dráhy) možno konštatovať, že aj fuzzy pravidlá nastavujúce výstup otáčok zadných kolies – hoci priamo neovplyvňujú smer pohybu robota – majú významný vplyv na presnosť trajektórie a celkovú kvalitu regulácie.

Z oboch obrázkov je zrejmé, že nesprávne nastavenie výstupných lingvistických hodnôt vedie nielen k predĺženiu času regulácie, ale zároveň aj k nárastu maximálnej odchýlky od ideálnej dráhy a absolútnej regulačnej plochy. Tento jav možno pripísať nedostatočnej rýchlosti pohybu v úsekoch, kde robot potrebuje dynamicky reagovať na zmenu polohy a natočenia.

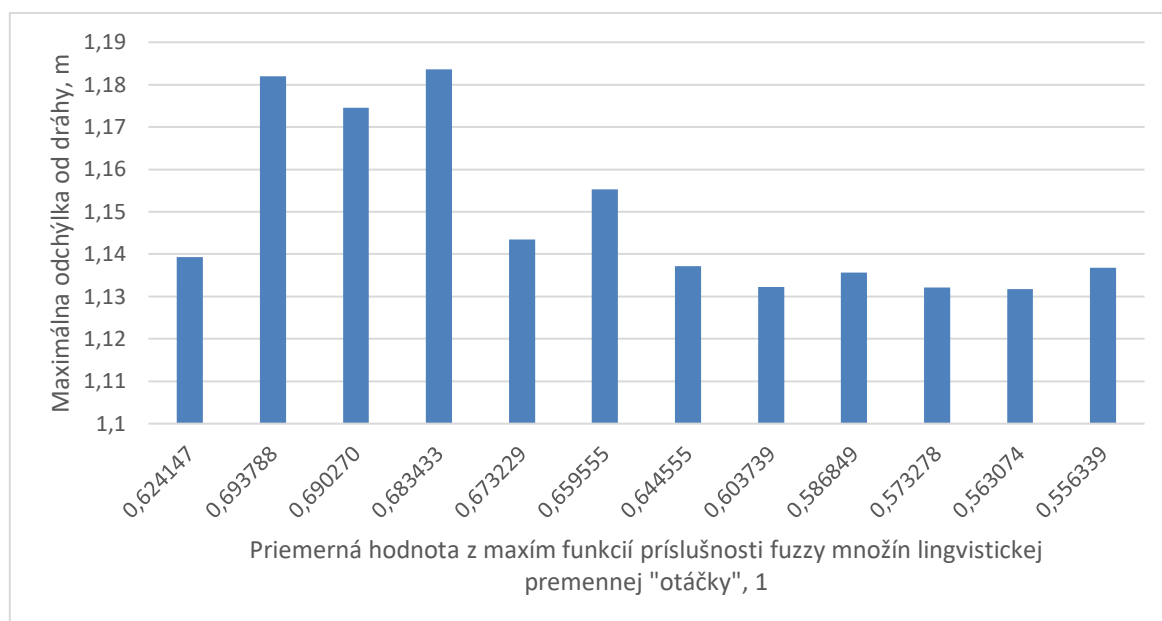
Zároveň sa ukázalo, že interferenčné pravidlá – teda tie, ktoré kombinujú extrémne hodnoty vstupných premenných (napr. veľká vzdialenosť a veľký uhol) – majú rozhodujúci vplyv najmä v úvodných fázach riadenia, keď robot vykonáva najväčšie korekcie. Vhodne zvolené výstupné hodnoty týchto pravidiel zabezpečujú nielen rýchlejší pohyb smerom k cieľu, ale aj plynulejšie prispôsobenie smeru jazdy, čo sa priamo prejavuje na presnosti dodržania trajektórie.

Z uvedeného vyplýva, že ladeniu výstupu pre otáčky – vrátane interferenčných pravidiel – je potrebné venovať samostatnú pozornosť, pretože jeho vplyv presahuje rámec samotnej rýchlosti a významne ovplyvňuje aj presnosť a stabilitu celého riadiaceho procesu.



Obr. 7 Graf závislosti priemernej hodnoty z maxím funkcií príslušnosti fuzzy množín lingvistickej premennej „otáčky“ k času riadenia a absolútnej regulačnej ploche, ktorá je ohraničená vypočítanou dráhou mobilného robota a spojnicou počiatočného a cieľového bodu

Fig. 7 Graph of the Dependence of the Average Value from the Maxima of the Membership Functions of the Fuzzy Sets of the Linguistic Variable 'Revolutions' on the Control Time and the Absolute Control Area, Defined by the Calculated Path of the Mobile Robot and the Line Connecting the Start and Goal Points



Obr. 8 Graf maximálnej odchýlky od dráhy

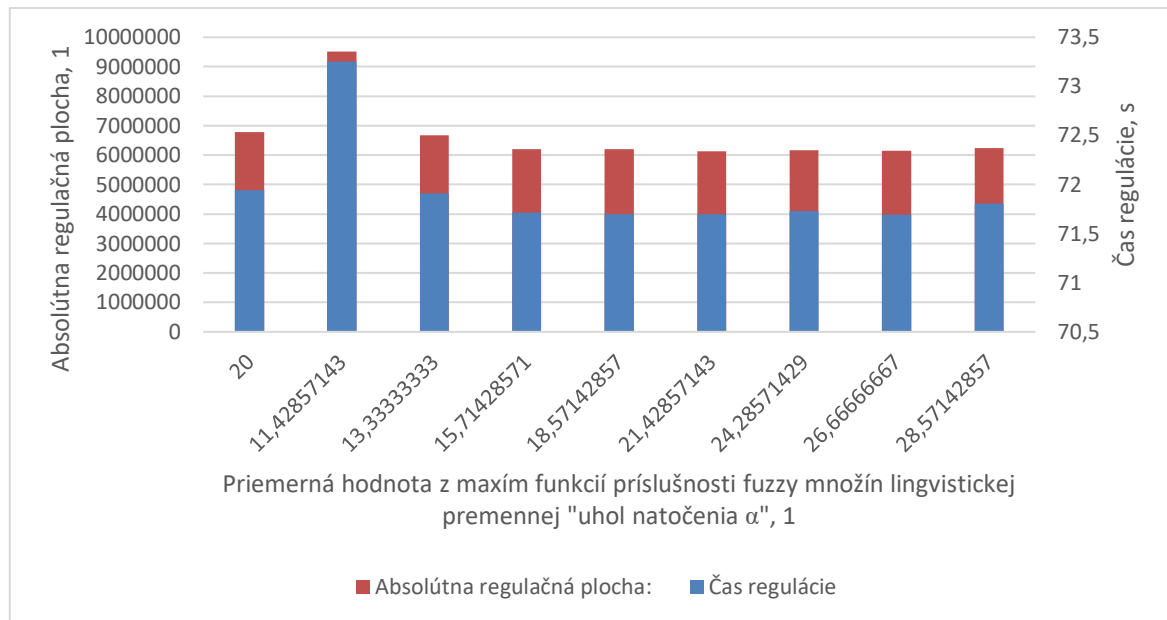
Fig. 8 Graph of the Maximum Deviation from the Path

Z obrázku 7 a obrázku 8 vyplýva, že najlepšie výsledky z hľadiska času regulácie a regulačnej plochy boli dosiahnuté pri konkrétnej sade fuzzy pravidiel. Táto sada vznikla tak, že boli najskôr zafixované pravidlá 8 až 49, ktoré už boli v predchádzajúcich krokoch vyhodnotené ako najvhodnejšie, a následne sme menili len prvých 7 pravidiel. Práve tieto pravidlá majú najväčší vplyv na správanie robota v úvodnej fáze pohybu – teda vtedy, keď sa robot nachádza najďalej od cieľa alebo keď je orientovaný nevhodným smerom.

V optimalizovanej sade boli výstupné hodnoty otáčok nastavené tak, aby rástli spolu so vzdialenosťou robota od cieľa. Pri veľmi malej vzdialenosti boli otáčky nízke, aby sa robot dokázal plynulo zastaviť. So zvyšujúcou sa vzdialenosťou sa otáčky postupne zvyšovali, pričom od strednej vzdialenosti boli už nastavené na maximum. Takéto nastavenie zabezpečilo, že sa robot rýchlo rozbíhal, keď bol ďaleko, a zároveň sa dokázal bezpečne a presne priblížiť k cieľu bez výrazného prekročenia alebo oscilácií.

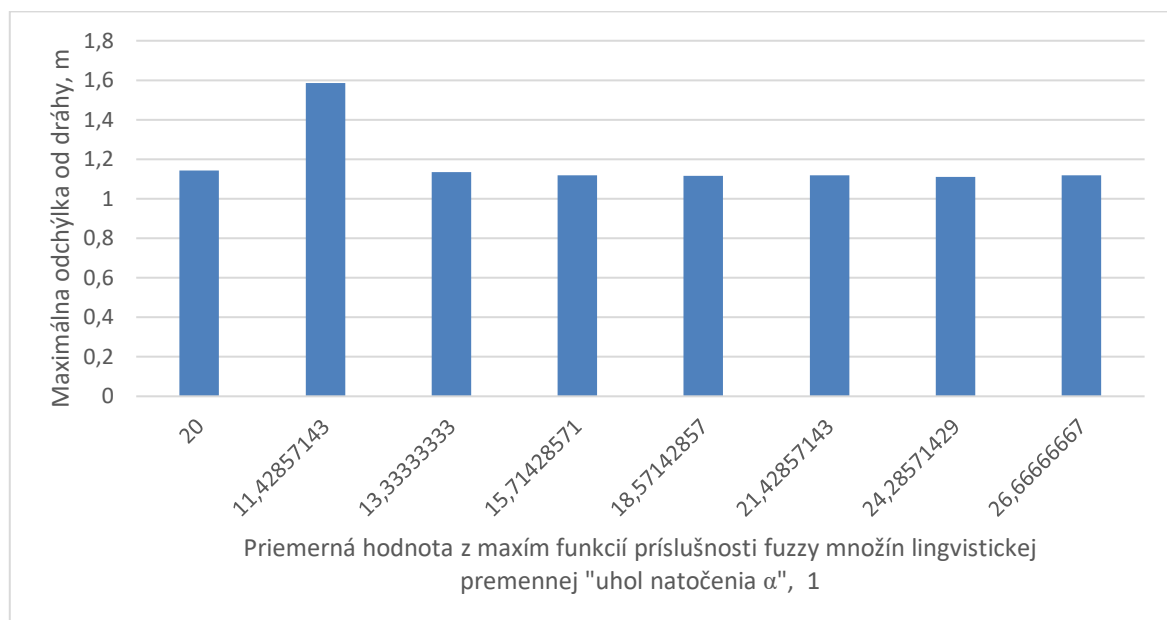
Všetky pravidlá mali výstup pre riadenie smeru (uhol natočenia predného kolesa) nastavený na neutrálnu hodnotu. Bolo to preto, že v tejto fáze sme sa zamerali výlučne na optimalizáciu otáčok, zatiaľ čo uhol sme ponechali fixný, aby sme mohli presnejšie vyhodnotiť vplyv práve tejto časti regulátora. Táto sada pravidiel mala priemernú hodnotu výstupných lingvistických premenných približne 0,69. Pri tejto hodnote bol dosiahnutý najkratší čas regulácie (69,4 s) a zároveň nízka regulačná plocha (~6,6 milióna). Výsledky potvrdzujú, že aj prvé pravidlá fuzzy regulátora, ktoré sa aktivujú na začiatku pohybu, majú výrazný vplyv na rýchlosť aj presnosť riadenia.

V nadväznosti na predchádzajúcu optimalizáciu výstupu „otáčky“ bola realizovaná séria experimentov zameraná na ladenie druhého výstupu fuzzy regulátora – uhla natočenia predného kolesa (označovaného ako α).



Obr. 9 Graf závislosti priemernej hodnoty z maxím funkcií príslušnosti fuzzy množín lingvistickej premennej „uhol natočenia α “ k času riadenia a absolútnej regulačnej ploche, ktorá je ohraničená vypočítanou dráhou mobilného robota a spojnicou počiatočného a cieľového bodu

Fig. 9 Dependence of the Average Maximum of Membership Functions for the Fuzzy Set of the Linguistic Variable ‘Steering Angle α of a Front Wheel’ on Control Time and the Absolute Control Area Defined by the Calculated Path of the Mobile Robot and the Line Connecting the Start and Goal Points.



Obr. 10 Graf maximálnej odchýlky od dráhy

Fig. 10 Graph of the Maximum Deviation from the Path

Pri návrhu tejto analýzy boli všetky výstupné pravidlá pre otáčky zadných kolies ponechané fixné, a to podľa predchádzajúcej optimalizácie, v ktorej bola identifikovaná ich najvhodnejšia konfigurácia. Výstupy pre α boli menené len v pravidlách 8 až 49, zatiaľ čo pravidlá 1 až 7 boli nastavené na nulovú hodnotu.

V jednotlivých sadách pravidiel sa systematicky zvyšovala priemerná hodnota výstupnej lingvistickej premennej „ α “, čím bolo možné sledovať jej vplyv na tri kľúčové parametre kvality regulácie: čas regulácie, absolútnu regulačnú plochu a maximálnu odchýlku od dráhy. Výsledky tejto analýzy sú prezentované na obrázkoch 9 a 10.

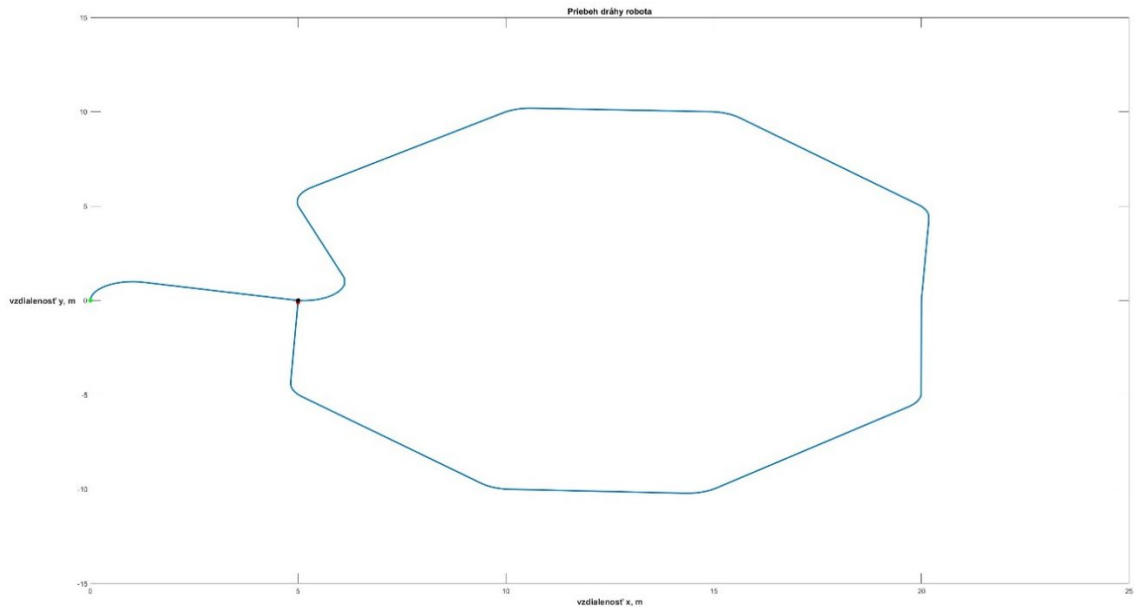
Z obrázku 9 vyplýva, že najnižšie hodnoty času regulácie aj regulačnej plochy boli dosiahnuté pri stredných hodnotách výstupu α , konkrétne v intervale približne 13,3 až 18,6. V tomto rozsahu regulátor efektívne korigoval smerové odchýlky robota bez nadmerného manévrovania, čo sa prejavilo plynulým a presným pohybom k cieľu. Naopak, pri nižšej hodnote priemeru z maximálnych funkcií príslušnosti fuzzy množín lingvistickej premennej α (napr. $\sim 11,4$) bol čas regulácie podstatne vyšší a absolútna regulačná plocha dosiahla najvyššie hodnoty, čo poukazuje na nedostatočnú schopnosť systému prispôbovať sa dynamickým zmenám orientácie počas pohybu.

Tieto zistenia podporuje aj obrázok 10, ktorý znázorňuje maximálnu odchýlku od ideálnej dráhy pre jednotlivé testované sady. Pri nízkej výstupnej priemernej hodnote z maximálnych funkcií príslušnosti fuzzy množín lingvistickej premennej α ($\sim 11,4$) bola odchýlka najväčšia, dosahujúca hodnotu približne 1,59 metra, čo je výrazne viac než vo všetkých ostatných prípadoch. Naopak, pri všetkých ostatných hodnotách (od $\sim 13,3$ vyššie) bola maximálna odchýlka veľmi stabilná a pohybovala sa v rozmedzí 1,12 až 1,13 metra, čo naznačuje, že vyššia výstupná hodnota pre uhol natočenia zabezpečuje výrazne presnejšie sledovanie trajektórie.

Na základe tejto analýzy možno konštatovať, že výstup „uhol natočenia α “ zohráva dôležitú úlohu pri presnosti riadenia, najmä v prípadoch väčších odchýlok v orientácii robota. Správne nastavenie výstupných hodnôt v pravidlách 8–49 umožňuje systému rýchlo reagovať na potrebu korekcie smeru bez zbytočných strát času alebo nadmernej odchýlky od ideálnej dráhy.

Zvolený postup, v ktorom sa najskôr optimalizovali výstupy pre otáčky a následne samostatne analyzovali výstupy pre α , sa ukázal ako efektívny a odborne zdôvodniteľný, keďže umožňuje izolovane sledovať vplyv jednotlivých regulačných zásahov a presne identifikovať ich optimálne hodnoty. Výsledky zároveň potvrdzujú, že existuje určitý optimálny rozsah výstupu pre α , v ktorom je riadenie najefektívnejšie z hľadiska všetkých sledovaných parametrov.

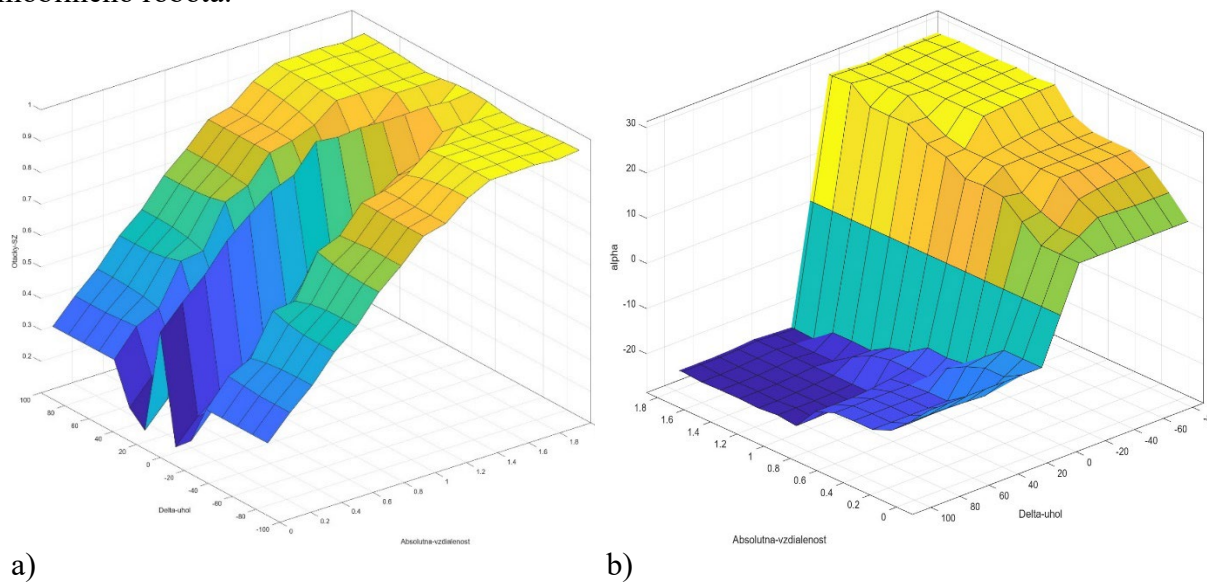
S týmito nastaveniami interferenčných pravidiel sme dostali optimálny výsledok prejdenej dráhy matematického modelu mobilného robota s fuzzy riadením so 49 interferenčnými pravidlami a s trojuholníkovými funkciami príslušnosti jednotlivých lingvistických hodnôt.



Obr. 11 Priebeh dráhy matematického modelu mobilného robota s fuzzy riadením so 49 interferenčnými pravidlami a s trojuholníkovými funkciami príslušností jednotlivých lingvistických hodnôt

Fig. 11 Path of the Mathematical Model of a Mobile Robot with Fuzzy Control Using 49 Inference Rules and Triangular Membership Functions for Individual Linguistic Values.

Obrázok 12 znázorňuje výslednú regulačnú plochu vytvorenú na základe hodnotenia výstupov fuzzy regulátora v závislosti od uhla odklonu δ a absolútnej vzdialenosti od cieľa D . Zvislá os reprezentuje výstupnú hodnotu regulátora, ktorá ovplyvňuje riadiaci zásah do pohybu mobilného robota.



a)

b)

Obr. 12 Regulačné plochy fuzzy regulátora s optimálnou sadou 49 interferenčných pravidiel pre a) násobky maximálnych otáčok motora poháňajúceho kolesa S_{vz} , b) uhol natočenia predného kolesa α

Fig. 12 Control Surfaces of the Fuzzy Controller with an Optimised Set of 49 Inference Rules for: a) Multiples of the Maximum Revolutions of the Drive Wheel Motor S_{vz} , and b) Steering Angle α of the Front Wheel

Obrázok 12 znázorňuje výstupné regulačné plochy fuzzy regulátora v závislosti od uhlovej odchýlky robota δ a jeho vzdialenosti od cieľa D. Plocha na obrázku 12a), ktorá reprezentuje výstup pre otáčky zadného kolesa, má plynulý charakter a odzrkadľuje vyššie rýchlosti pri priaznivej orientácii a väčšej vzdialenosti od cieľa. Pri výraznejších odchýlkach sa výstup prirodzene znižuje, čo umožňuje stabilnejší pohyb robota.

Výstupná plocha na obrázku 12b), vzťahujúca sa k uhlu natočenia predného kolesa, vykazuje ostrejšie prechody. Tento priebeh je výsledkom následnej optimalizácie pravidiel pre riadenie smeru, pričom reaguje citlivo na zmeny uhlovej chyby. Výraznejšie korekcie natočenia tak napomáhajú rýchlejšiemu zaradeniu robota na požadovanú trajektóriu.

Tento priebeh poukazuje na schopnosť fuzzy regulátora pružne reagovať na aktuálny stav a zároveň zachovať stabilitu riadenia.

4 Záver

Cieľom tohto príspevku bolo navrhnúť a optimalizovať fuzzy regulátor pre riadenie matematického modelu mobilného robota. Bola vytvorená metodika dvojstupňového ladenia fuzzy pravidiel, kde sa osobitne optimalizovali výstupy pre otáčky a uhol natočenia. Tento prístup umožnil presne identifikovať vplyv jednotlivých výstupov na kvalitu riadenia.

Výsledky preukázali, že aj malé zmeny v konfigurácii fuzzy pravidiel môžu viesť k významným rozdielom v čase regulácie, v maximálnej odchýlke od ideálnej dráhy a v hodnote absolútnej regulačnej plochy. Bolo preukázané, že najlepšiu výkonnosť systém dosahuje pri stredných až vyšších výstupných hodnotách otáčok, pričom maximálnu efektivitu vykazuje najmä v počiatočných fázach pohybu. Zároveň sa ukázalo, že výstup „uhol natočenia α “ má kľúčový vplyv na presnosť vedenia po trajektórii, najmä pri väčších počiatočných odchýlkach.

Porovnaním týchto výsledkov s poznatkami uvedenými v literatúre možno konštatovať, že získané poznatky potvrdzujú všeobecné teoretické predpoklady o správaní mobilných robotov. Zároveň však prinášajú nové poznatky v oblasti vplyvu konkrétnych interferenčných pravidiel na riadenie v reálnom čase. Táto práca prináša systematickú analýzu vplyvu jednotlivých kombinácií pravidiel na konkrétne metriky riadenia.

Dôležitým prínosom práce je aj spôsob vyhodnocovania efektivity fuzzy báze – pomocou číselného priemeru výstupných lingvistických premenných – čo umožnilo vytvoriť súvis medzi kvalitatívnym a kvantitatívnym hodnotením pravidiel. Tento prístup môže byť využitý aj pri ďalšom návrhu adaptívnych alebo učeními riadených regulátorov.

Na záver možno konštatovať, že stanovený cieľ práce bol naplnený. Bol vytvorený, implementovaný a optimalizovaný fuzzy regulátor pre riadenie matematického modelu mobilného robota, pričom bola preukázaná jeho funkčnosť a efektivita v rôznych konfiguráciách pravidiel.

5 Literatúra

FAISAL, Mohammed, et al. Fuzzy logic navigation and obstacle avoidance by a mobile robot in an unknown dynamic environment. *International Journal of Advanced Robotic Systems* [online]. 2013 [cit. 23.3.2025]. Dostupné na: <<https://journals.sagepub.com/doi/10.5772/54427>>

HALLOUZ, Mohamed, et al. Experimental investigation of DFIG-based wind energy conversion system using fuzzy logic control. *Periodica Polytechnica Electrical Engineering and Computer Science* [online]. 2023 [cit. 23.3.2025]. Dostupné na: <<https://pp.bme.hu/eecs/article/view/21233/9780>>

JURIŠICA, L. – HUBINSKÝ, P. – KARDOŠ, R. 2005. Robotika. STU v Bratislave, 2005.

OLEJÁR, M. – Možnosti implementácie riadiacich plôch fuzzy regulátora do centrálného riadiaceho systému mobilného robota. 2017. 136 s. Habilitačná práca – Technická fakulta SPU v Nitre.

Súhrn

Príspevok sa venuje návrhu a optimalizácii fuzzy regulátora pre riadenie pohybu mobilného robota s trojkolesovým podvozkom a zadným náhonom. Riešenie bolo založené na dvojstupňovom postupe ladenia, pri ktorom sa samostatne upravovali výstupy pre rýchlosť zadných kolies a uhol natočenia predného kolesa. Pri ladení boli vytvárané rôzne sady fuzzy pravidiel, ktorých vplyv na kvalitu riadenia sa hodnotil na základe vybraných ukazovateľov: čas regulácie, maximálna odchýlka od ideálnej dráhy a absolútna regulačná plocha. Výsledky potvrdili, že najlepšiu výkonnosť robot dosahuje pri stredných až vyšších výstupných hodnotách rýchlosti a mierne nastavenom uhle riadenia. Optimálna konfigurácia viedla k regulácii 71 sekúnd pri zachovaní odchýlky pod 1,12 metra. Zvolený prístup sa ukázal ako efektívny pri hľadaní vhodných pravidiel a preukázal praktický prínos v oblasti fuzzy riadenia mobilných robotov.

Kľúčové slová: fuzzy regulátor, mobilný robot, matematický model, riadenie pohybu, trojkolesový podvozok, optimalizácia interferenčných pravidiel

VPLYV TLAKU VZDUCHU V PNEUMATIKÁCH NA HLUČNOSŤ AUTOMOBILU

THE INFLUENCE OF TYRE INFLATION PRESSURE ON CAR NOISE

ANDREJ KEVICKÝ – RADOSLAV MAJDAN

Abstract

The paper presents a comparison of car noise in the interior and exterior with summer tires at speeds from $80 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ to $20 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Experiments were carried out at three different tire inflations. The first tire inflation was based on the car manufacturer's recommendation, which is prescribed at 240 kPa. The second inflation represented underinflation of the tire to a pressure of 180 kPa. The third inflation represented overinflation of the tire to 300 kPa. Experimental measurements were carried out at an air temperature of 22°C . The results of experimental measurements in the interior showed that with increasing tire inflation, noise in the interior also increases. Experimental measurements outside the vehicle proved that the tire inflation recommended by the vehicle manufacturer was the best. In indoor measurements, the average noise difference was 0.27 dB at a speed of $80 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ and at a speed of $20 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ the average noise difference was 1.83 dB in the range from 1.1 dB to 3.3 dB.

Key words: inflation, sound level meter, vehicle

1 Úvod

Hluk z dopravy predstavuje významný spoločenský problém, ktorý sa neustále zhoršuje s narastajúcim počtom dopravných prostriedkov. Okrem znečistenia ovzdušia je hluk jedným z najväčších nežiadúcich vplyvov dopravy, najmä v mestskom prostredí. Hluk má negatívny vplyv na zdravie ľudí najmä v mestách a môže spôsobovať aj kardiovaskulárne choroby (Nejadkoorki a kol., 2010; Munzel a kol., 2018). Dlhodobým hladinám hluku, ktoré sú pre zdravie škodlivé, je vystavených dvadsať percent európskej populácie. Týka sa to teda viac ako 100 miliónov ľudí v Európe (Perris). V súvislosti s hlukom automobilov je dôležité pozorne sledovať aj vplyv tlaku vzduchu v pneumatikách. Nedostatočný tlak v pneumatikách môže spôsobiť nepravidelné opotrebovanie plášťov, čo môže zvýšiť hlučnosť vozidla. Naopak, správne nastavený tlak môže prispieť k zníženiu hluku a zlepšeniu komfortu jazdy. Napríklad, pneumatiky s nedostatočným tlakom môžu vykazovať väčšiu plochu kontaktu s vozovkou, čo zvyšuje mechanické vibrácie a hluk (Sandberg, 2001). Zavedenie stratégií na kontrolu a optimalizáciu tlaku vzduchu v pneumatikách môže byť jedným z krokov na zníženie celkovej hlučnosti dopravy (MŽP SR). Príkladom môže byť, že pneumatiky s optimalizovaným tlakom môžu znížiť hlučnosť vozidla, čo môže prispieť k celkovému zlepšeniu akustického komfortu cestujúcich a obyvateľov v okolí. Zavedenie energetických štítkov pre pneumatiky, ktoré zahŕňujú informácie o hlučnosti, môže tiež pomôcť pri výbere vhodných pneumatík s nižšou hlučnosťou.

Cieľom príspevku bolo porovnanie hlučnosti v interiéri a v exteriéri vybraného typu osobného automobilu s letnými pneumatikami jedného výrobcu pri rôznych tlakoch hustenia pneumatík. Zvolené boli pneumatiky Nokian Wetproof. Z dôvodu určenia vplyvu valivého odporu pneumatík na hlučnosť v interiéri a v exteriéri vozidla, merania boli uskutočnené pri troch husteniach pneumatík. Experimenty boli realizované pri rýchlostiach od $20 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ do $80 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Experimentálne merania boli vykonané podľa metodiky merania uvedenej v Predpise Európskej hospodárskej komisie Organizácie Spojených národov (EHK OSN) č. 117 – Jednotné ustanovenia o typovom schvaľovaní pneumatík z hľadiska emisií hluku valenia a adhézie na mokrých povrchoch a/alebo z hľadiska valivého odporu.

2 Materiál a metódy

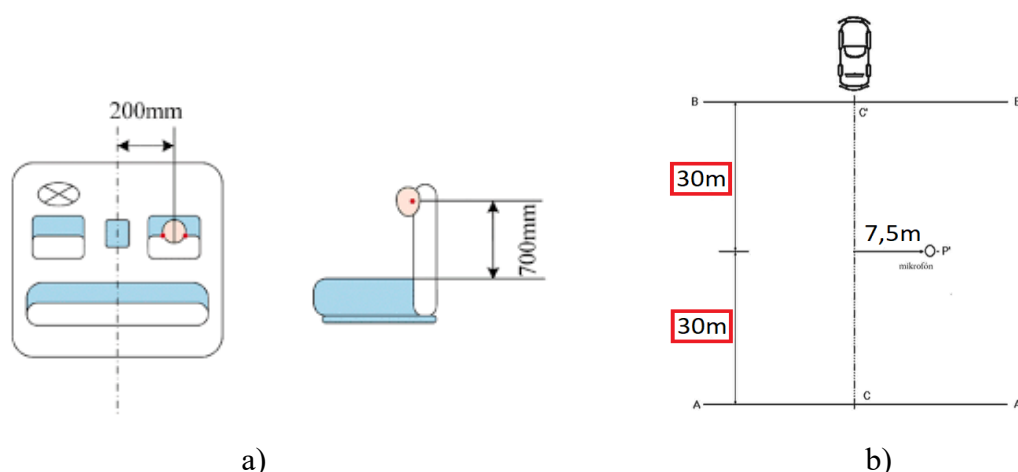
2.1 Postup meraní

Na merania bolo použité motorové vozidlo Škoda Fabia 1,4 16V so zážehovým motorom. Ide o štandardné päť dverové osobné vozidlo roku výroby 2006. Technické parametre vozidla sú výška 1451 mm, šírka 1646 mm, dĺžka 3960 mm, prevádzková hmotnosť 1187 kg.

Na odpor valenia vplýva kvalita povrchu, po ktorom sa vozidlo pohybuje, koeficient trenia pneumatík a hustenie pneumatík. Keďže experimentálne merania boli vykonávané vždy na rovnakom úseku vozovky, jej vplyv na valivý odpor a tak aj na hlučnosť bol tiež vždy rovnaký. Zmena odporu valenia bola preto dosiahnutá zmenou hustenia pneumatík vozidla. Cieľom práce bolo zistiť aký vplyv má zmena hustenia pneumatík na valivý odpor a tým aj na hlučnosť vozidla. Z tohto dôvodu boli vykonané merania vždy s konštantnou hmotnosťou aby výsledky neboli ovplyvnené zmenou hmotnosti vozidla medzi meraniami:

- pri meraní hlučnosti v interiéri boli pneumatiky postupne hustené na 180 kPa, 240 kPa a 300 kPa, vo vozidle sa nachádzali vodič a spolujazdec ($90 \text{ kg} + 60 \text{ kg}$), ktorý zaznamenával sledované a merané údaje,
- pri meraní hlučnosti v exteriéri boli pneumatiky postupne hustené na 180 kPa, 240 kPa a 300 kPa, vo vozidle sa nachádzal iba vodič (90 kg)

obr. 1.



Obr. 1 Pozície hlukomeru pri meraniach: a) meranie v interiéri, b) meranie v exteriéri.

Fig. 1 Sound level meter positions during measurements: a) indoor measurements, b) outdoor measurements.

Pri meraniach boli vo vozidle vypnuté všetky potencionálne zdroje hluku ako napríklad rádio, ventilácia a podobne. Meranie hluku začalo po dosiahnutí rýchlosti vozidla $80 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, pri vypnutom motore a prevodovka bola v neutrále. Následne bol meraný hluk v interiéri

vozidla v závislosti od počiatočnej rýchlosti vozidla kedy došlo ku vypnutiu motora až po rýchlosť $20 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Údaje boli zaznamenávané po spomalení o každých $10 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Každé meranie bolo opakované 3 krát. Pred každým meraním bola zaznamenaná vonkajšia teplota vzduchu, poveternostné podmienky. Meranie v interiéri bolo vykonané s vodičom a so spolujazdcom. Nakoľko experimentálne merania boli zamerané na monitorovanie vplyvu hustenia pneumatík na hlučnosť v interiéri a v exteriéri automobilu, meranou veličinou bol hluk, ktorý bol ovplyvnený odporom valenia a odporom vzduchu.

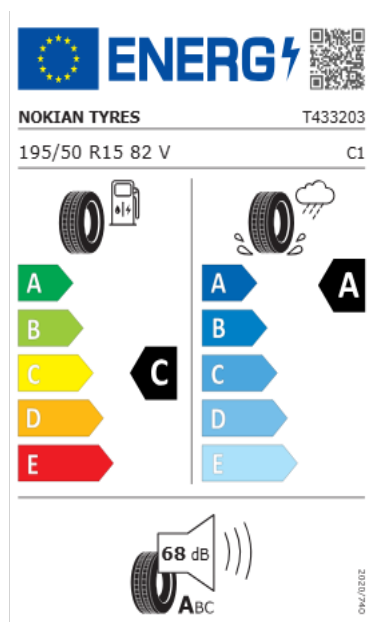
Odpor vzduchu bol eliminovaný zvolením maximálnej rýchlosti na $80 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Hlučnosť pri rýchlosti pod $20 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ nebola hodnotená pretože pri rýchlostiach menších ako $20 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ sa vozidlo bežne v cestnej premávke nepohybuje.

Experimentálne merania boli realizované na verejnej komunikácii nachádzajúcej sa medzi obcami Mošovce a Blatnica. Táto komunikácia bola vyhodnotená ako najlepšia pre dané merania z dôvodu, že sa na nej nachádza nová vrstva vozovky. Ako druhá bola zvolená neverejná komunikácia medzi obcami Veľký Čepčín a Dubové. Povrch tejto komunikácie je značne opotrebovaný a preto sa hodí na experimentálne merania a porovnania výsledkov hlučnosti vozidla pri jazde na novej vozovke a na ojazdenej vozovke. Počas meraní sa na daných komunikáciách nenachádzali iné vozidlá aby nedošlo ku skresleniu výsledkov.

Namerané hodnoty boli následne štatisticky spracované a prezentované vo forme tabuliek a grafických závislostí.

2.2 Použité pneumatiky

Experimentálne merania boli zamerané na letné pneumatiky určené pre osobné automobily, pneumatiky mali rozmer 195/50R15 82V. Pneumatiky boli použité od výrobcu strednej cenovej kategórie, konkrétne Nokian Wetproof. Technické parametre pneumatík sú: typ - osobné, obdobie - letné, rýchlostný index V ($240 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$), index nosnosti 82 (475 kg), aktuálna výška dezénu 8 mm. Ostatné údaje sú na štítku pneumatík na obr. 2.



Obr. 2 Štítok použitých pneumatík Nokian.
Fig. 2 Label of tires Nokian.

2.3 Popis prístrojov

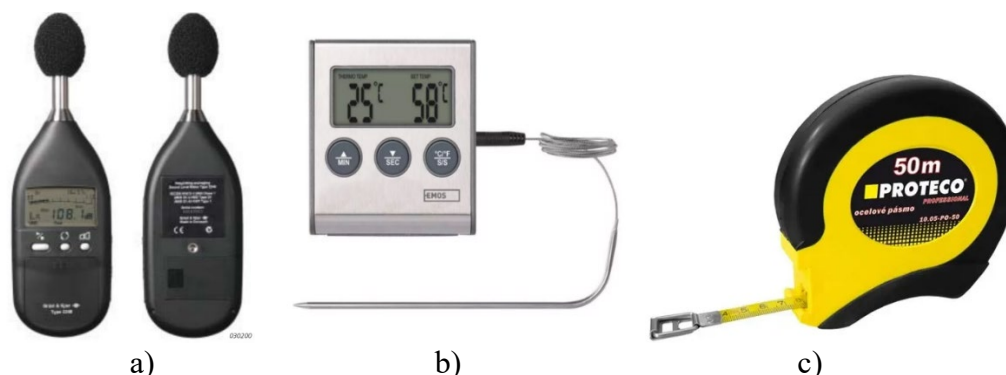
Pri vykonávaní experimentálnych meraní vplyvu pneumatík na hlučnosť v interiéri a v exteriéry vozidla je potrebné použiť prístrojové vybavenie, ktoré je určené na meranie a zaznamenávanie meraných parametrov:

- hlukomer pre meranie hluku vozidla.
- digitálny teplomer na meranie vonkajšej teploty vzduchu.
- meracie pásmo na vyznačenie meracieho úseku pre meranie hlučnosti mimo vozidla.

Hlukomer, prístroj slúžiaci na všeobecné meranie hluku v priestore, resp. okolí, *obr. 3 a*). Prístroj meria v triede presnosti 1 a spĺňa normy IEC a ANSI. Prístroj spĺňa IEC 61672 – 1:2002 trieda 1, IEC 60651 Typ 1 (1979) s dodatkom 1 a 2, IEC 60804 Typ 1 (2000), ANSI S1.4 – 1983 Typ S1, ANSI S1.43 – 1997 Typ 1. Meracie rozsahy: 30 dB – 140 dB. Citlivosť: –30 dB pre 1V/Pa ± 2 dB. Prevádzková teplota: –10 °C do 50 °C. Napájanie: dve 1.5 V alkalické batérie LR 6 veľkosti AA. Spotreba počas bežnej prevádzky: menej ako 300 mW. Rozmery: 230 mm x 78 mm x 31 mm vrátane mikrofónu. Hmotnosť: 245 g vrátane batérií (BKSV, 2013).

Digitálny teplomer slúžil pri experimentálnom meraní na meranie aktuálnej teploty vzduchu, *obr. 3 b*). Rozsah merania teploty: – 20 °C do + 250 °C. Rozlíšenie teploty: 1 °C. Maximálny čas merania: 99 min a 59 s. Dĺžka drôtovej sondy: 1,4 m. Napájanie: 1x 1,5V AAA batérie (EMOS, 2025).

Meracie pásmo je prístroj na meranie vzdialenosti na zemi. Pásmo je určené pre meranie dĺžok do 50m.



Obr. 3 Meracie prístroje: a) hlukomer Brüel & Kjaer Typ 2240 (BKSV, 2013), b) digitálny teplomer EMOS E2157, c) meracie pásmo (autor).

Fig. 3 Measurement instrument: noise meter Brüel & Kjaer Typ 2240 (BKSV, 2013), digital thermometer EMOS E2157 (EMOS, 2023), measuring tape (author).

2.4 Umiestnenie hlukomeru a podmienky merania

Experimentálne merania, ktoré boli zamerané na meranie hluku v interiéri vozidla, bolo potrebné dbať na správne umiestnenie meracieho zariadenia, teda hlukomeru tak, aby bolo jeho umiestnenie v súlade s normou ISO 5128:2023. Podľa uvedeného štandardu by mal byť mikrofón, ktorý je určený na meranie hluku umiestnený na mieste vodiča alebo spolujazdca, nakoľko najčastejšie sú obsadené vo vozidle len predné sedadlá (HMR.ARAIINDIA, 2004). Taktiež vytvorenie, resp. dodržanie hygienických podmienok pre vodiča je veľmi dôležité, aby sa vodič dokázal koncentrovať a nedochádzalo k jeho únave a rozptyľovaniu počas vedenia motorového vozidla.

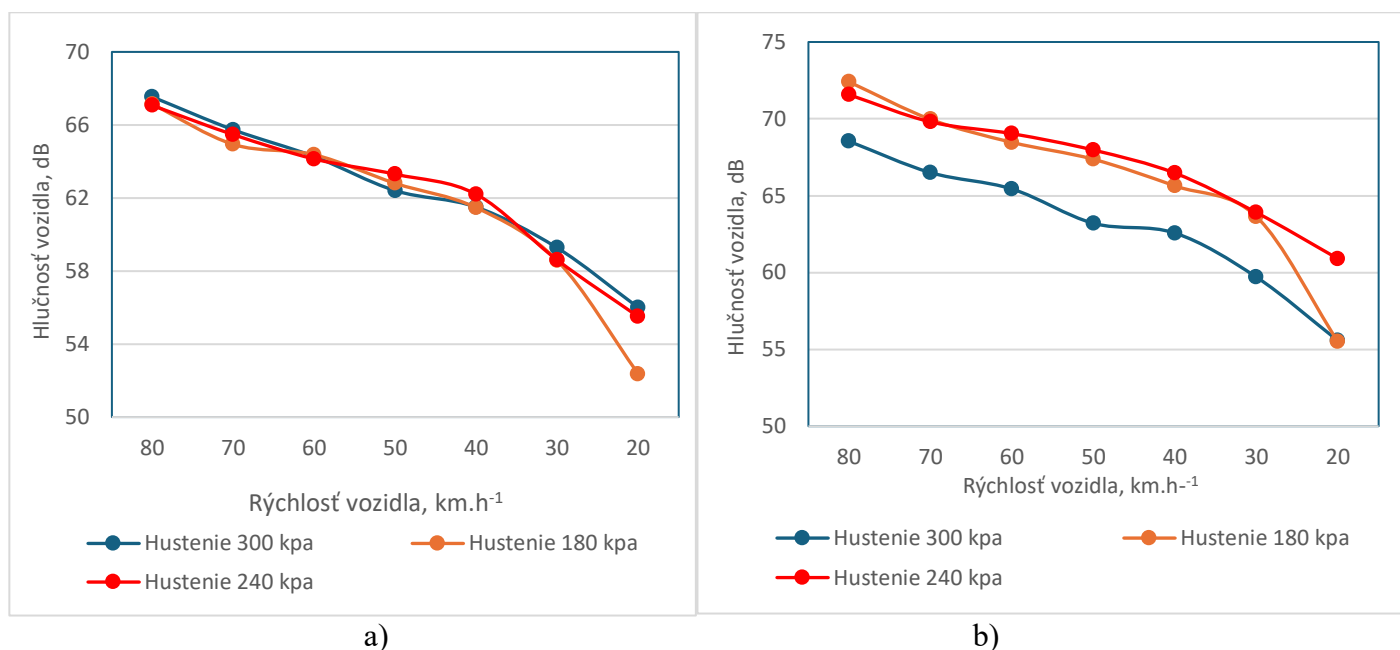
Experimentálne merania boli vykonávané pri vonkajšej teplote vzduchu +22°C v dňoch od 13.5.2024 do 15.5.2024 v časoch od 15:00 do 17:00. Teplota vozovky bola v čase experimentálneho merania +23°C. Poveternostné podmienky boli nasledovné: bezvetrie, jasná obloha, bez zrážok. Vozovky, na ktorých sa vkonávali experimentálne merania boli bez

znečistenia a bez vody. Celkové poverternostné podmienky boli veľmi priaznivé pre dané merania.

Priemerná hodnota hluku v interiéri stojaceho vozidla s vypnutým motorom bola nameraná 18,16 dB. Hluk v interiéri vozidla bol monitorovaný po dobu 5 minút v intervale po 1 minúte, pri vypnutom motore a vypnutom elektronickom príslušenstve vozidla. Priemerná hodnota hluku mimo vozidla bola 34,64 dB pri vypnutom motore a bez premávky. Hluk mimo vozidla bol zaznamenávaný po dobu 5 minút v intervaloch po 1 minúte.

3 Výsledky a diskusia

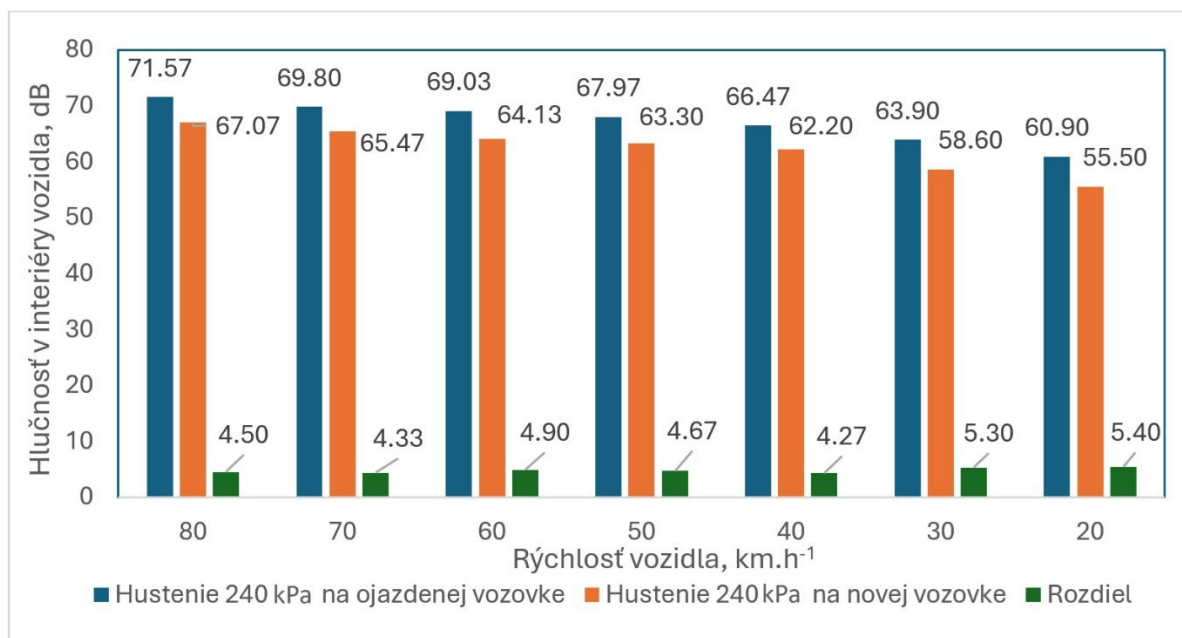
Grafy na obr. 4 znázorňujú hodnoty aritmetických priemerov vypočítaných z nameraných hodnôt troch meraní hlučnosti vozidla v interiéri pri rôznom hustení pneumatík na novej a na ojazdenej vozovke. Obsahuje logaritmickú funkciu trendovej čiary a modelovú rovnicu, z ktorej bola vypočítaná modelová hodnota hlučnosti v interiéri vozidla v závislosti na rýchlosti vozidla.



Obr. 4 Hlučnosť v interiéri vozidla: a) meranie na novej vozovke,
b) meranie na ojazdenej vozovke

Fig. 4 Noise level in the vehicle interior: a) measurement on a new road,
b) measurement on a used road

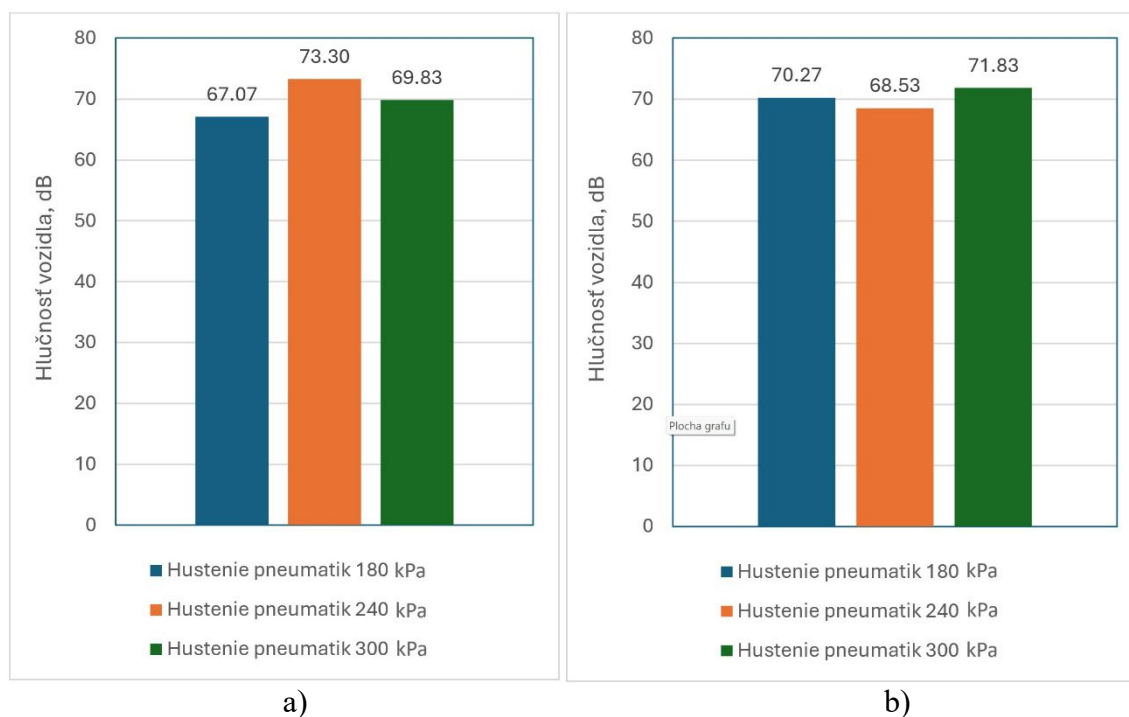
Graf na obr. 5 znázorňuje výsledky modelového výpočtu hlučnosti v interiéri vozidla pri hustení 240 kPa nakoľko toto hustenie je predpísané výrobcom vozidla, pomocou priebehu uvedeného na obr. 4 pre jazdu po novej vozovke a pre jazdu na ojazdenej vozovke v rozsahu rýchlostí od 80 km·h⁻¹ do 20 km·h⁻¹. Zároveň je na obr. 5 znázornený rozdiel medzi hodnotami hluku v interiéri vozidla pri pohybe na novej vozovke a na ojazdenej vozovke, ktorého priemerná hodnota je 4,76 dB.



Obr. 5 Porovnanie hlučností v interiéri vozidla pri jazde po novej a ojazdenej vozovke pri hustení 240 kPa.

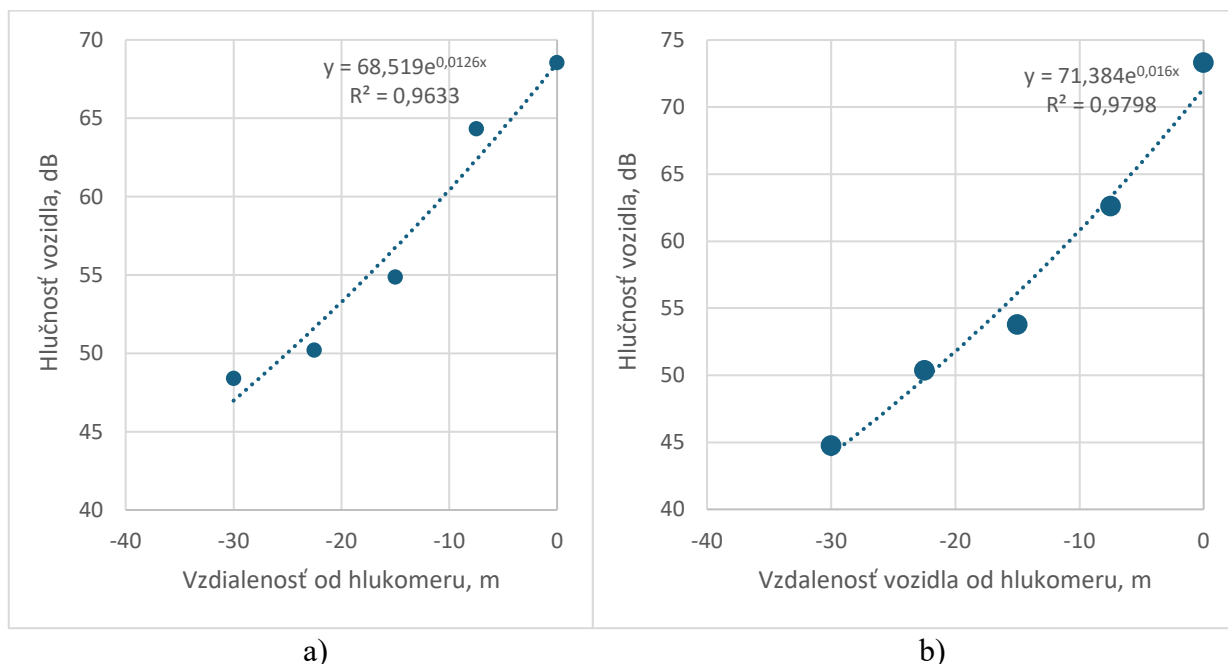
Fig. 5 Comparison of noise levels in the vehicle interior when driving on new and used roads at an inflation pressure of 240 kPa.

Graf na obr. 6 znázorňuje hodnoty aritmetických priemerov nameraných hodnôt troch meraní hlučností vozidla na ojazdene a na novej vozovke.



Obr. 6 Hlučnosť vozidla v exteriéri: a) na ojazdenej vozovke, b) na novej vozovke
Fig. 6 Vehicle noise in exteriors: a) on used road, b) on new road

Grafy na *obr. 7* znázorňujú modelový priebeh narastania hlučnosti približujúceho sa vozidla ku hlukomeru. Maximálna hodnota hlučnosti vozidla je pri prejazde vedľa hlukomeru pri rýchlosti $80 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Obsahujú exponenciálnu funkciu trendovej čiary a aj modelovú rovnicu. Rozdiel medzi maximálnymi hodnotami hluku pri prejazde vozidla vedľa hlukomeru je 4,77 dB.



Obr. 7 Grafické priebehy narastania hlučnosti vozidla pri približovaní sa ku hlukomeru:
a) na novej vozovke, b) na ojazdenej vozovke.

Fig. 7 Graphical progressions of vehicle noise increase when approaching noise:
a) on a new road, b) on a used road

Vplyv povrchu vozovky na hlučnosť vozidla hodnotil aj Berge a kol. (2025). Pri zmene povrchu vozovky zistili rozdielne hodnoty hlučnosti mimo vozidla podobne ako v prípade experimentov prezentovaných v tomto príspevku. Berge a kol. zistili priemerný rozdiel hlučnosti vozidla na 4 testovaných ISO povrchoch na úrovni 1,7 dB po zohľadnení možnej chyby merania. Taktiež zistili, že hlučnosť pneumatiky je pri experimentálnych meraniach vyššia ako je uvádzaná výrobcom na štítku pneumatiky. Berge a kol. sa taktiež zaoberali výskytom frekvencií, ktoré spôsobujú najvyšší akustický tlak. Zistili, že frekvencie, ktoré spôsobujú najvyšší akustický tlak pri rýchlosti $80 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ sa pohybujú v rozmedzí od 630 Hz do 2000 Hz. V prípade našich experimentov v exteriéry sme taktiež zvolili rýchlosť $80 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ nakoľko je táto rýchlosť uvádzaná ako testovacia rýchlosť v metodike predpisu Európskej hospodárskej komisie Organizácie Spojených národov (EHK OSN) č. 117.

Záver

Príspevok bol zameraný na experimentálne zistenie hlučnosti letných pneumatík vplyvom rýchlosti vozidla a rozdielneho hustenia pneumatík. Zvolené boli rýchlosti vozidla od $80 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ do $20 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Pri rýchlosti vyššej ako $80 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ sa začína prejavovať vplyv odporu vzduchu obtekajúceho okolo vozidla a to zvyšuje hlučnosť vozidla. Na overenie vplyvu valivého odporu pneumatík na hlučnosť vozidla boli zvolené tri hustenia pneumatík. Prvé hustenie bolo zvolené podľa odporúčania výrobcu vozidla. Druhé hustenie bolo zvolené ako

vhodné na simuláciu podhustenia pneumatík. Tretie hustenie simulovalo prehustenie pneumatík.

Z nameraných údajov hlučnosti v interiéri pri každých 10 km·h⁻¹ vo zvolenom rozsahu rýchlostí boli vypočítané priemerné hodnoty a z nich modelové logaritmické funkcie. Pri meraniach hlučnosti vozidla v exteriéri sme z nameraných hodnôt zistili, že hlučnosť vozidla rastie exponenciálne počas približovania sa ku hlukomeru. Na základe rovníc regresie modelových funkcií boli vypočítané hodnoty hlučností pre rôzne rýchlosti vozidla. Tie boli následne porovnané pri rôznych podmienkach experimentu. Z porovnaní vyplýva, že vplyvom zmeny hustenia pneumatík sa mení aj hlučnosť vozidla.

5 Literatúra

BKSV. 2013. Product data typ 2240. (online). Aktualizované 2023-01-29. Dostupné na: <https://www.bksv.com/media/doc/bp2013.pdf> / [cit. 2023-01-29].

Dijkink, J. H. and van Keulen, W. 2004 Silent Transport – an innovative silent road concept for heavy vehicles. Internoise 2004. Prague, Czech Republic. Paper no. 767.

EMOS. 2023. Digitálny teplomer EMOS E2157. (online). Aktualizované 2023-01-29. Dostupné na: https://www.emos.sk/digitalny-grilovaci-teplomer-a-minutka-e2157?gclid=EAIaIQobChMI0qGj6P_s_AIV9kiRBR0csQE2EAYYAaABEgJUFfD_BwE/ [cit. 2023-01-29].

Gökdağ, M. 2012. Study of the road traffic noise in Erzurum-Turkey. Iranian journal of environmental health science & engineering. 9: 1-4.

HMR.ARAIINDIA. 2004. Automotive Vehicles Interior Noise Method of Measurement and Requirements. (online). Aktualizované 2023-01-29. Dostupné na: <https://hmr.araiindia.com/Control/AIS/5~15~2008~11~44~57~AM21%20AIS-020.PDF/> [cit. 2023-01-29].

ISO 5128:1980. *Acoustics – Measurement of noise inside motor vehicles*.

Nejadkoorki F., Yousefi E., Naseri F. 2010. Analysing street traffic noise pollution in the city of Yazd. Iran J Environ Health Sci Eng 2010, 7: 53-62.

Williams ID., Mc Creae IS. 1976. Road traffic nuisance in residential and commercial areas. Sci Total Environ 1976, 169: 75-82.

MÜNZEL, Thomas, Mette SØRENSEN, Frank SCHMIDT, Erwin SCHMIDT, Sebastian STEVEN, Swenja Kröller SCHÖN a Andreas DAIBER. 2018. *The Adverse Effects of Environmental Noise Exposure on Oxidative Stress and Cardiovascular Risk*. 2018, 28 (9): 873-908

Sandberg, U. 2001 *Tyre/Road Noise – Myths and Realities* 2001, (online). Dostupné na: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:673693/fulltext01.pdf> [cit. 17.3.2025]

EHK OSN č. 117, 2025 *Predpis Európskej hospodárskej komisie Organizácie Spojených národov (EHK OSN) č. 117 – Jednotné ustanovenia o typovom schvaľovaní pneumatík z hľadiska emisií hluku valenia a adhézie na mokrých povrchoch a/alebo z hľadiska valivého odporu* (online) Dostupné na: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/ALL/?uri=CELEX%3A42011X1123%2803%29> [cit. 17.3.2025]

Súhrn

Príspevok prezentuje porovnanie hluku automobilu v interiéri a v exteriéry s letnými pneumatikami pri rýchlosti od $80 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ až $20 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Experimenty boli realizované pri troch rozličných husteniach pneumatík. Prvé hustenie pneumatík vychádzalo z odporúčania výrobcu automobilu, ktoré je predpísané na 240 kPa. Druhé hustenie predstavovalo podhustenie pneumatiky na tlak 180 kPa. Tretie hustenie predstavovalo prehustenie pneumatiky na 300 kPa. Experimentálne merania sa uskutočnili pri teplote vzduchu $22 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Výsledky experimentálnych meraní v interiéry preukázali, že s narastajúcim hustením pneumatiky stúpa aj hlučnosť v interiéry. Pri experimentálnych meraniach mimo vozidla sa preukázalo ako najlepšie hustenie pneumatík to, ktoré je odporúčané výrobcom vozidla. Pri meraniach v interiéry bol priemerný rozdiel hlučnosti 0,27 dB pri rýchlosti $80 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ a pri rýchlosti $20 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ bol priemerný rozdiel hlučnosti 1,83 dB v rozsahu od 1,1 dB do 3,3 dB.

Kľúčové slová: hustenie, hlukomer, vozidlo.

POROVNANIE VYBRANÝCH REOLOGICKÝCH VLASTNOSTÍ NOVÝCH A POUŽITÝCH OLEJOV Z VÝROBNÝCH ZARIADENÍ

COMPARISON OF SELECTED RHEOLOGICAL PROPERTIES OF NEW AND USED OILS FROM PRODUCTION EQUIPMENT

ADRIÁN KRAJČA – PETER HLAVÁČ

Abstract

In this article, we will discuss the evaluation of operating fluids in production equipment using rheological properties. Operating fluids and oils are used in production machines for proper and error-free operation. We focused on hydraulic oils and compared the properties of new oil with used oil. We performed density measurements in the temperature range (0 – 90) °C, while dynamic viscosity in the range (5 – 90) °C. From the measured values, we created graphs that display the dependence of density on temperature, obtained polynomial decreasing trends, while for dynamic viscosity we applied an exponential decreasing function for each sample. We noted slight differences in dynamic viscosity and density between new and used samples. The density values were comparable throughout the measurement, but for viscosities this state was reached after the temperature of 60 °C.

Keywords: dynamic viscosity, density, new and used hydraulic oils, temperature, comparison

1 Úvod

Pre rôzne výrobné stroje a zariadenia sa využívajú viaceré druhy prevádzkových kvapalín a olejov, ktoré sú nevyhnutné pre správnu a bezchybnú funkciu a prevádzku stroja. Tieto kvapaliny a oleje zohrávajú kľúčovú úlohu vo výrobných prevádzkach, ktoré sa zaoberajú rozličnými činnosťami s cieľom dosiahnuť výrobok v požadovanej kvalite a čase, pričom sa minimalizuje počet chýb. Každá z týchto kvapalín a olejov má svoje špecifické miesto a funkciu v zariadení, čo je nevyhnutné pre dosiahnutie požadovanej a bezproblémovej prevádzky. Nami skúmané hydraulické oleje zabezpečujú prenos energie a tlak v hydraulických systémoch. Preto je dôležité pravidelne sledovať a merať jednotlivé požadované vlastnosti týchto kvapalín, ako sú hustota, viskozita, čistota a chemické zloženie. Tieto merania zabezpečujú správnu prevádzku a bezchybnú funkciu strojov v priemysle. Pravidelná kontrola a údržba prevádzkových kvapalín a olejov pomáha predchádzať poruchám, zvyšuje efektivitu výroby a predlžuje životnosť zariadení. Týmto spôsobom je možné dosiahnuť vysokú kvalitu výrobkov a optimalizovať výrobné procesy. (Wi, 2020).

Hydraulické kvapaliny

Je dobre známe, že hydraulická kvapalina sa bežne používa ako médium na prenos energie, mazivo, teplotné médium a tesnenie, pretože objem hydraulickej kvapaliny je priamo ovplyvnený kinematickou viskozitou, hustotou, bodom varu, bodom tuhnutia a hmotnostnou tepelnou kapacitou. V skutočnosti sa hydraulická kvapalina vyznačuje tým, že

má vlastnosti proti opotrebeniu a korózii, ako aj odolnosť voči oxidácii a tepelnej degradácii (Hashim et al., 2022). Na rozdiel od vody, ktorá sa kedysi využívala, má hydraulický olej tú výhodu, že systém chráni proti korózii, maže a jeho stlačiteľnosť je minimálna. Mazanie je potrebné vo väčšine hydraulických komponentov na ochranu vnútorných častí pred opotrebovaním alebo dokonca roztavením v dôsledku trenia kov o kov. Olej poskytuje úplné mazanie medzi pohyblivými časťami. V súčasnej dobe sú na hydraulické oleje kladené veľké nároky, preto sa výrobcovia snažia tieto oleje stále zdokonaľovať pridávaním rôznych aditív. Preto je dôležité sledovať a merať jednotlivé požadované vlastnosti týchto kvapalín z dôvodu zabezpečenia správnej a bezchybnej prevádzky v priemysle (Wi, 2020). Fyzikálne a chemické vlastnosti každého typu hydraulickej kvapaliny sa líšia podľa značky a typu kvapaliny (Hycy, 2023). Medzi najdôležitejšie fyzikálne a chemické vlastnosti hydraulickeho oleja patria hustota, viskozita, viskozitný index, veľmi malá stlačiteľnosť, neutralita, chemická stabilita, deemulgačné číslo, odolnosť proti peneniu, antikoročná sila, anilínový bod, bod tuhnutia, bod zákalu a bod vzplanutia. Úlohy, ktoré musí hydraulický olej zabezpečovať sú: mazanie, odvod tepla, odolnosť proti chladu, atď. (Hycy, 2023).

Hustota

Hustota je pomer medzi hmotnosťou (m) a objemom oleja (V) (1). Hustota sa udáva pri 15 °C a môžeme ju nájsť vo výrobných listoch. Hustota oleja sa zvyšuje s jeho opotrebovaním v procese používania a starnutia (Wi, 2020).

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

Kde: ρ – hustota, kg.m⁻³;
 m – hmotnosť, kg;
 V – objem, m⁻³;

Where: ρ – density, kg.m⁻³;
 m – mass, kg;
 V – volume, m⁻³;

Viskozita

Viskozita je vlastnosť kvapalín, vďaka ktorej kladú odpor prúdeniu v trubici pri danej teplote. Viskozita charakterizuje schopnosť oleja viac alebo menej ľahko tiecť. Čím vyššia je viskozita, tým ťažšie je pre kvapalinu prúdiť pri teplote a tlaku (Wi, 2020). Rozlišujeme dva základné druhy viskozít, a to konkrétne dynamickú a kinematickú viskozitu:

1. **Dynamická viskozita** (η) je miera odporu látky voči tečeniu. Vyjadruje pomer šmykového napätia (τ) a gradientu rýchlosti ($\text{grad } v$) (2). Šmykové napätie sa uvádza v jednotkách Pa a gradient rýchlosti je uvádzaný v jednotkách s⁻¹. Jednotkou dynamickej viskozity v medzinárodnom systéme jednotiek (SI) je Pa·s, ale častejšie sa používa mPa·s (Childress, 2023; He et al., 2023).

$$\tau = \eta \text{ grad } v \quad (2)$$

Kde: η – dynamická viskozita, Pa·s;
 τ – šmykového napätia, Pa;
 $\text{grad } v$ – gradient rýchlosti, s⁻¹;

Where: η – dynamic viscosity, Pa·s;
 τ – shear stress, Pa;
 $\text{grad } v$ – velocity gradient, s⁻¹.

2. **Kinematická viskozita** (ν) vyjadruje pomer dynamickej viskozity (η), k jej hustote (ρ) pri rovnakej teplote a jednotkou je m²·s⁻¹ (3). Najčastejšie sa udáva pri 40 °C a 100 °C. V praxi to úzko súvisí s hustotou materiálu. Dynamická aj kinematická viskozita sa mení podľa teploty (Childress, 2023).

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad (3)$$

Kde: ν – kinematická viskozita, $\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$.

η – dynamická viskozita, $\text{Pa} \cdot \text{s}$;

ρ – hustota, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$;

Where: ν – kinematic viscosity, $\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$

η – dynamic viscosity, $\text{Pa} \cdot \text{s}$;

ρ – density, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$; (Childress, 2023)

V prípade, ak je viskozita hydraulického oleja vysoká je únik kvapaliny z hydraulického systému znížený. Zvýšená viskozita predstavuje zníženú tekutosť oleja. Tlakové straty znamenajú pokles tlaku v potrubí a ventiloch v dôsledku uvoľnenia prekážky alebo účinkov viskozity na výrobnú linku (Al-Mahasnes, 2020).

2 Materiál a metódy

Popis použitých vzoriek pri meraní

Na zrealizovanie merania hustoty a dynamickej viskozity použijeme dva druhy olejov, z ktorých zmeriame novú vzorku a použitú vzorku, ktorú sme získali zo zariadenia. Ako prvý budeme merať hydraulický olej Fuchs Renolin B 15 VG 46 (vzorka č.1 - nová a vzorka č.2 - použitá), ktorý bol používaný vo vstrekovacom zariadení ENGEL ES 200/45 HLS. Fuchs Renolin B 15 VG 46 je olej s prísadami na zlepšenie starnutia a oxidačnej stability. Dobrú ochranu proti opotrebeniu zabezpečujú synergicky pôsobiace a robustné prísady a to aj pri vysokom zaťažení a vysokej teplote; deemulgácia (dobrá separácia vody); dobré vlastnosti pri uvoľňovaní vzduchu; systém aditív AW/EP obsahujúci zinok (Fuchs, 2025).

Ako ďalší budeme merať hydraulický olej Castrol Hyspin AWS 150 (vzorka č.3 - nová a vzorka č.4 - použitá) odobraný z ohýbačky plechov XONM 2000/2 A. Castrol Hyspin AWS bol formulovaný pomocou najnovších aditív tak, aby poskytovali dobrú ochranu proti opotrebeniu a termickú stabilitu. Vďaka kvalitným komponentom majú tieto oleje vynikajúcu hydrolytickú a oxidačnú stabilitu, čím predchádzajú vzniku kalov a usadenín. Navyše tieto oleje poskytujú dobrú ochranu proti korózii železným aj neželezným materiálom hydraulického systému. Tento rad je navrhnutý špeciálne pre použitie v hydraulických systémoch vyžadujúcich ochranu proti oderu (Castrol, 2016).

Popis použitých meracích prístrojov

Pri meraní hustoty jednotlivých vzoriek použijeme hustomer METTLER TOLEDO DM 40. Je to moderný a kompaktný digitálny prístroj na meranie hustoty, na meranie cukornatosti roztokov (Brix), hmotnosti ropy v spojitosti s vodou v ropných produktoch (API), koncentrácie alkoholu a ostatných veličín spojených s hustotou. Tento prístroj je možné ovládať cez počítač pomocou softvéru LabX alebo cez dotykovú obrazovku. Takisto je možné ho použiť v širokej škále oblastí, či už pri kontrole kvality alebo vo výskume, pričom spĺňa tie najnáročnejšie požiadavky (Mettler toledo, 2023).

Pri meraní dynamickej viskozity použijeme viskozimeter BROOKFIELD DV2T. Tento prístroj je určený na meranie viskozity kvapalín pri určených šmykových rýchlostiach. Disponuje výkonnými programovacími schopnosťami a analýzou výsledkov, taktiež ponúka prispôsobiteľné zoznamy rýchlostí vretena a porovnanie údajov na obrazovke, pričom údaje je možné zaznamenať na lokálnej tlačiarne alebo poslať do počítača. Viskozimeter disponuje 5-palcovým farebným displejom, ktorý na displeji zobrazuje údaje viskozity v jednotkách $\text{mPa} \cdot \text{s}$, teploty v jednotkách $^{\circ}\text{C}$, šmykové napätie v Pa a šmykovú rýchlosť v s^{-1} , rýchlosť vretena v min^{-1} a krútiaci moment v % (Brookfield engineering2023).

Regresné rovnice

Grafickú závislosť hustoty jednotlivých vzoriek od vzrastajúcej teploty budeme modelovať polynomicou klesajúcou funkciou druhého rádu.

$$\rho = -A \left(\frac{t}{t_0} \right)^2 - B \left(\frac{t}{t_0} \right) + C \quad (4)$$

Kde: ρ – hustota vzorky, kg.m^{-3} ;
 t – teplota vzorky, $^{\circ}\text{C}$;
 t_0 – 1°C ;
 A, B, C – koeficienty regresnej rovnice.

Where: ρ – density of the sample, kg.m^{-3} ;
 t – sample temperature, $^{\circ}\text{C}$;
 t_0 – 1°C ;
 A, B, C – coefficients of regression equation.

Pri grafickej závislosti dynamickej viskozity jednotlivých vzoriek od vzrastajúcej teploty aplikujeme exponenciálnu klesajúcu funkciu

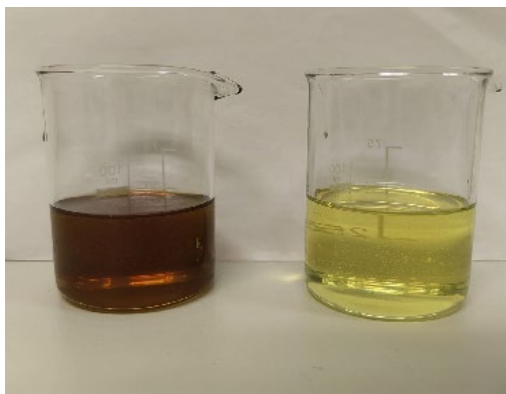
$$\eta = K e^{-L \left(\frac{t}{t_0} \right)} \quad (5)$$

Kde: η – dynamická viskozita vzorky, $\text{mPa}\cdot\text{s}$;
 K, L – koeficienty regresnej rovnice.

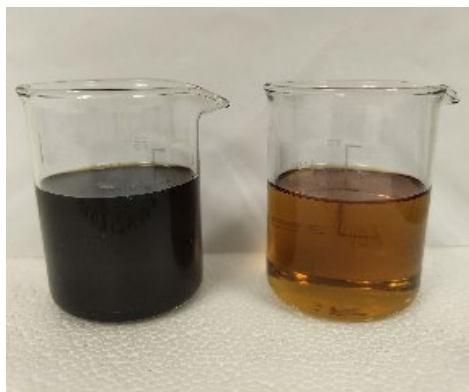
Where: η – dynamic viscosity of the sample, $\text{mPa}\cdot\text{s}$;
 K, L – coefficients of regression equation (Hlaváč, Božíková, Petrović, 2019).

3 Výsledky a diskusia

V rámci výskumu sme zrealizovali merania hustoty a dynamickej viskozity hydraulických olejov. Tieto merania sme vykonali v rozsahu teplôt uvedených v metodike. Jednotlivé merané vzorky je možné vidieť na *Obr. 1* a *Obr. 2*.



Obr. 1 Hydraulický olej Fuchs Renolin B 15 VG 46 (vľavo použitý, vpravo nový)
 Fig. 1 Hydraulic oil Fuchs Renolin B 15 VG 46 (used on the left, new on the right)

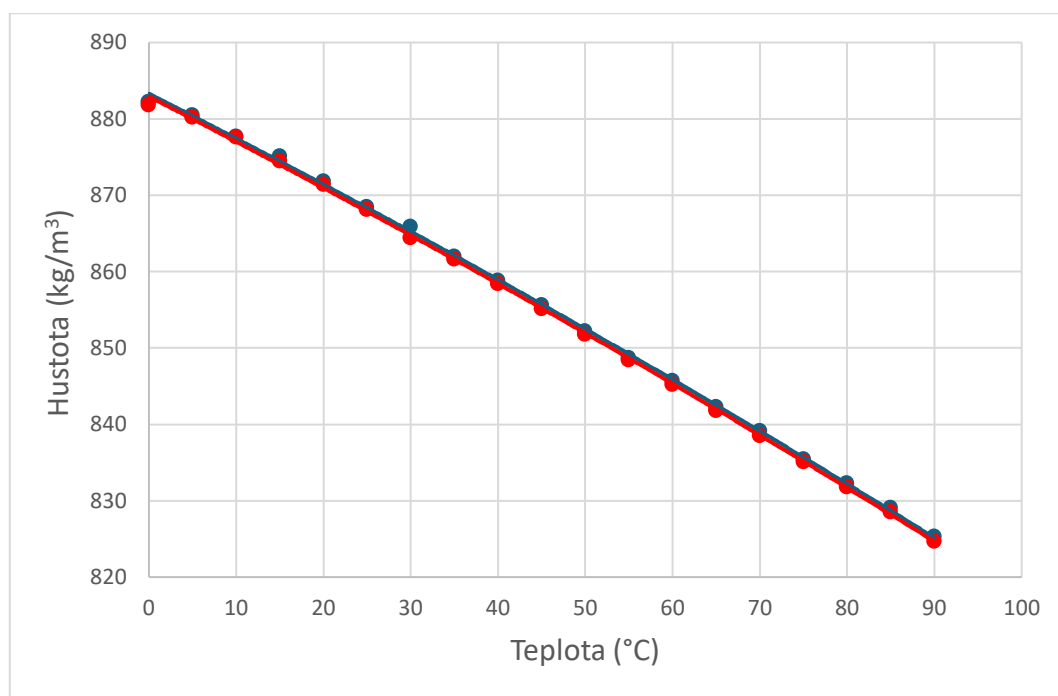


Obr. 2 Hydraulický olej Castrol Hyspin AWS 150 (vľavo použitý, vpravo nový)
Fig. 2 Hydraulic oil Castrol Hyspin AWS 150 (used on the left, new on the right)

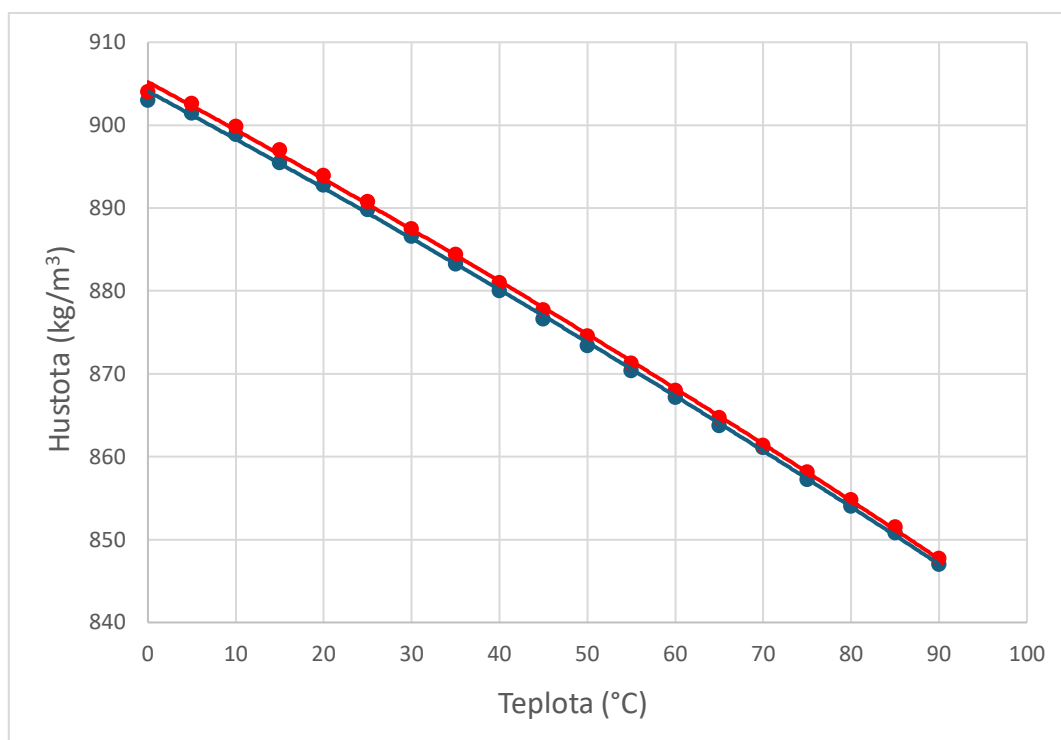
Meranie hustoty

Pri meraní sme použili teplotné rozsahy od 0 °C do 90 °C pričom jednotlivé hodnoty hustoty sme zaznamenávali so zvyšujúcou sa teplotou po 5 °C. Na *Obr. 3* a *Obr. 4* môžeme vidieť výslednú grafickú závislosť hustoty jednotlivých vzoriek od vzrastajúcej teploty a je možné pozorovať klesajúci charakter.

Pri meraní hustoty sme si pri každej meranej teplote odmerali dve hodnoty hustoty, z ktorých sme následne urobili aritmetický priemer. Všetky vzorky mali veľmi podobné hodnoty hustôt na začiatku merania a takisto so zvyšovaním teploty sme zaznamenali podobný klesajúci charakter pri všetkých vzorkách. Podobný typ klesajúcej závislosti pri hustote dosiahli aj autori Hashim et al. (2022) zaoberajúci sa hydraulickými olejmi HL32.



Obr. 3 Grafická závislosť hustoty od teploty
pre Vzorky č. 1 (•) a Vzorky č. 2 (•) Fuchs Renolin B 15 VG 46
Fig. 3 Graphical dependencies of density on temperature
for Sample No. 1 (•) and Sample No. 2 (•) Fuchs Renolin B 15 VG 46



Obr. 4 Grafická závislosť hustoty od teploty pre
Vzorky č. 3 (•) a Vzorky č. 4 (•) Castrol Hyspin AWS 150

Fig. 4 Graphical dependencies of density on temperature
for Sample No. 3 (•) and Sample No. 4 (•) Castrol Hyspin AWS 150

Príslušné koeficienty regresnej rovnice (4) spolu s koeficientmi determinácie pre závislosť hustoty jednotlivých vzoriek od vzrastajúcej teploty je možné vidieť v Tab. 1.

Tab. 1 Koeficienty regresnej rovnice (1) spolu s koeficientmi determinácie
Tab. 1 Coefficients of regression equation (1) and coefficients of determination

Vzorka	Regresná rovnica	Koeficient regresnej rovnice			R ²
		A [kg·m ⁻³]	B [kg·m ⁻³]	C [kg·m ⁻³]	
č. 1	$\rho = -0,0007x^2 - 0,5849x + 882,92$	0,0007	0,5849	882,92	0,9996
č. 2	$\rho = -0,0007x^2 - 0,5791x + 883,29$	0,0007	0,5791	883,29	0,9995
č. 3	$\rho = -0,0008x^2 - 0,5701x + 905,2$	0,0008	0,5701	905,2	0,9988
č. 4	$\rho = -0,0007x^2 - 0,5701x + 904,08$	0,0007	0,5701	904,08	0,9995

Podľa autorov Sun a Wang (2019) môže byť znížená hustota hydraulického oleja zapríčinená viacerými faktormi:

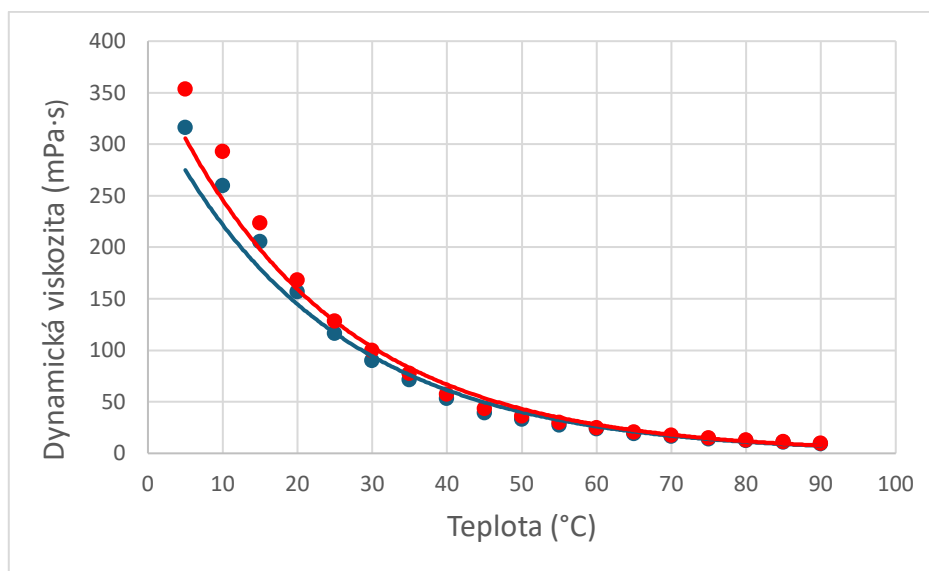
- **Kontaminácia:** Počas používania sa do oleja môžu dostať nečistoty, voda alebo iné látky, ktoré znižujú jeho hustotu.

- **Oxidácia:** Olej môže oxidovať, čo vedie k tvorbe kyselín a iných vedľajších produktov, ktoré môžu zmeniť jeho fyzikálne vlastnosti.
- **Tepelná degradácia:** Vysoké teploty môžu spôsobiť rozklad niektorých zložiek oleja, čo vedie k zníženiu hustoty.
- **Strata aditív:** Niektoré aditíva v oleji sa môžu počas používania vyčerpať alebo degradovať, čo môže ovplyvniť hustotu oleja.

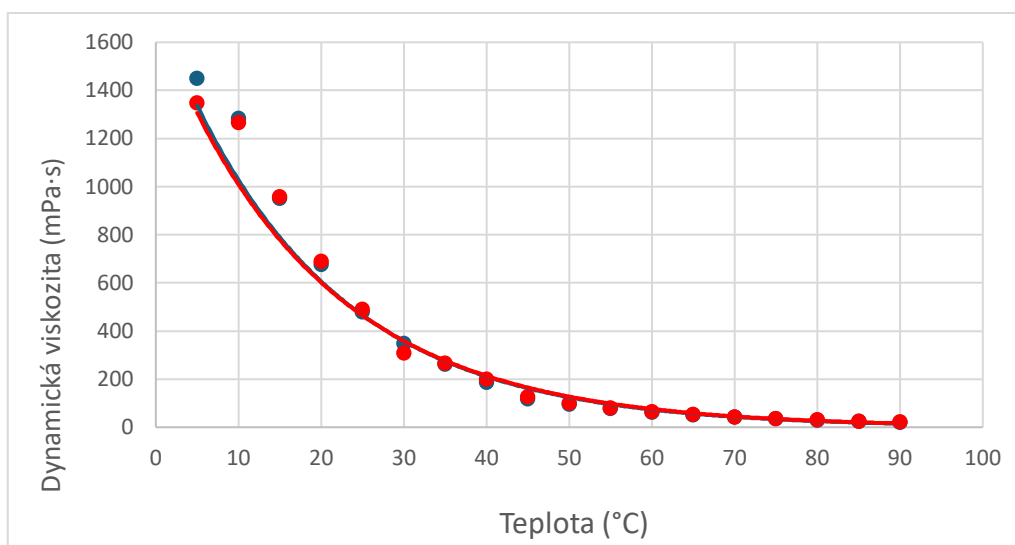
Meranie dynamickej viskozity

Pre meraní dynamickej viskozity sme použili teplotné rozsahy od 5 °C do 90 °C a hodnoty sme zaznamenávali so zvyšujúcou sa teplotou po 5 °C. Na *Obr. 5* a *Obr. 6* môžeme vidieť grafickú závislosť dynamickej viskozity od zvyšujúcej sa teploty nami meraných vzoriek. Na týchto grafoch môžeme vidieť, že krivky pri každej vzorke sú exponenciálneho charakteru a majú klesajúcu tendenciu s rastúcou teplotou. Pri meraní dynamickej viskozity sme si pri každej meranej teplote odmerali dve hodnoty viskozity, z ktorých sme následne urobili aritmetický priemer. Podobne klesajúci charakter zaznamenali aj autori Haldar et al. (2020), ktorí sa zaoberali reologickými vlastnosťami hydraulických olejov, či už čistých alebo modifikovaných nanočasticami MWCNT/SiO₂, pomocou umelej neurónovej siete.

Príslušné koeficienty regresnej rovnice (5) spolu s koeficientmi determinácie pre závislosť dynamickej viskozity jednotlivých vzoriek od vzrastajúcej teploty je možné vidieť v Tab. 2.



Obr. 5 Grafická závislosť dynamickej viskozity od teploty pre Vzorky č. 1 (•) a Vzorky č. 2 (•) Fuchs Renolin B 15 VG 46
 Fig. 5 Graphical dependencies of dynamic viscosity on temperature for Sample No. 1 (•) and Sample No. 2 (•) Fuchs Renolin B 15 VG 46



Obr. 6 Grafická závislosť dynamickej viskozity od teploty
pre Vzorky č. 3 (•) a Vzorky č. 4 (•) Castrol Hyspin AWS 150
Fig. 6 Graphical dependencies of dynamic viscosity on temperature
for Sample No. 3 (•) and Sample No. 4 (•) Castrol Hyspin AWS 150

Tab. 2 Koefficienty regresnej rovnice (5) spolu s koeficientmi determinácie
Tab. 2 Coefficients of regression equation (5) and coefficients of determination

Vzorka	Regresná rovnica	Koefficient regresnej rovnice		R ²
		K [mPa·s]	L [1]	
č. 1	$\eta = 380,03e^{-0,043x}$	308,03	0,043	0,9929
č. 2	$\eta = 340,55e^{-0,043x}$	340,55	0,043	0,9932
č. 3	$\eta = 1691,8e^{-0,052x}$	16991,8	0,052	0,9831
č. 4	$\eta = 1740,6e^{-0,053x}$	1740,6	0,053	0,9902

4 Záver

Tento článok bol zameraný na porovnanie reologických vlastností nových a použitých hydraulických olejov. Skúmané použité hydraulické oleje boli odobrané z nami vybraných prevádzkových zariadení. V našom prípade to bol hydraulický olej značky Fuchs Renolin B 15 VG 46 používaný v zariadení ENGEL ES 200/45 HLS a hydraulický olej značky Castrol Hyspin AWS 150 odobraný z ohýbačky plechov XONM 2000/2 A. Na týchto olejoch sme merali hustotu a dynamickú viskozitu. Pri meraní hustoty sme zaznamenali polynomicke klesajúce trendy a pri dynamickej viskozite exponenciálne klesajúce trendy s rastúcou teplotou. Najväčšiu hustotu sme zaznamenali pri vzorke č.4, ktorá mala pri teplote 0 °C hustotu 903 kg.m⁻³ a najmenšiu hustotu mal vzorka č.2 pri 90 °C, ktorá bola 825,3 kg.m⁻³. Pri porovnaní hustôt novej a použitej vzorky sme zistili mierne rozdiely. Najvyššiu hodnotu dynamickej viskozity mala vzorka č.4 1450 mPa·s pri 5 °C a naopak najnižšiu dynamickú viskozitu mala vzorka č.2 9,13 mPa·s pri 90 °C. Porovnaním viskozít sme

zistili, že ich hodnoty sa približne od teploty 60 °C zhodovali. Rozdiely v skúmaných hodnotách medzi novým a použitým olejom sú spôsobené rozdielnym chemickým zložením, skladovaním a prepravou.

5 Literatúra

AL-MAHASNEH, Ahmed. 2020. Physical Properties of Hydraulics Fluids. 2020 [online] USA, aktualizované: 2020. [cit. 2025-03-19]. Dostupné na: <https://www.philadelphia.edu.jo/academics/amahasneh/uploads/lecture_17_hydraulics.pdf>.

BROOKFIELD. 2014. Viscosimer BROOKFIELD DV2T, Operating Instruction: Manual No.M13 – 167 – B0614. [online] 2014. [cit. 2025-03-19] Dostupné na: <<https://www.brookfieldengineering.com/-/media/ametektbrookfield/manuals/lab%20viscometers/dv2t%20instructions.pdf?la=en>>.

CASTROL. 2016. Castrol Hyspin AWS. 2016. [online] [cit.2025-03-19]. Dostupné na: <[https://msdspds.castrol.com/bpglis/FusionPDS.nsf/Files/303E88E62E5A27978025803F002734D1/\\$File/BPXE-AEBADQ.pdf](https://msdspds.castrol.com/bpglis/FusionPDS.nsf/Files/303E88E62E5A27978025803F002734D1/$File/BPXE-AEBADQ.pdf)>.

CHILDRESS, H. R. 2023 What Is Kinematic Viscosity? 2023 [online] b.v., aktualizované: 2023. [cit. 2025-03-19]. Dostupné na: <<https://www.allthescience.org/what-is-kinematic-viscosity.htm>>.

FUCHS. 2025. RENOLIN B 15 VG 46. 2025 [online] [cit.2025-03-19]. Dostupné na: <<https://www.fuchs.com/de/en/product/product/149041-RENOLIN-B-15-VG-46/>>.

HALDAR, A. et al. 2020. Analysis of rheological properties of MWCNT/SiO₂ hydraulic oil nanolubricants using regression and artificial neural network. In *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 116. [cit. 2025-03-19], ISSN 0735-1933.

HASHIM, Walaa M. – AL-SALIHI, Huda A. – AL ZUBAIDI, Faten N. 2022. Effects of temperature on the properties of HL32 oil in the conventional hydraulic actuators. In *Heliyon*, roč. 8, 2022, č. 12, [cit. 2025-03-19], ISSN 2405-8440.

HE, Jie – ZHANG, Yujia – LIU, Xiumei – LI, Beibei – SUN, Shenzhen – PENG, Jiajia – LIU, Weiwei. 2023. Experiment and simulation study on cavitation flow in pressure relief valve at different hydraulic oil temperatures. In *Flow Measurement and Instrumentation*, roč. 89, 2023, [cit.2025-03-19]. ISSN 0955-5986.

HLAVÁČ, P. – BOŽIKOVÁ, M. – PETROVIĆ, A. 2019. Selected physical properties assessment of sunflower and olive oils. In *Acta Technologica Agriculturae*, vol. 22, pp. 86 – 91. [cit. 2025-03-19]. ISSN 1338-5267

HYCY. The different types of hydraulic fluid. 2022. Hydraulic Cylinders 2022 [online] USA, aktualizované: 1.2. 2023. [cit. 2025-03-19]. Dostupné na: <<https://www.hydrauliccylindersinc.com/the-different-types-of-hydraulic-fluid/>>.

METTLER – TOLEDO. 2014. Destiny Meters DM40/ DM 45 DeltaRange / DM50, 2014 [online] [cit. 2025-03-19]. Dostupné na: <<https://www.manualslib.com/manual/1388013/Mettler-Toledo-Dm40.html?page=32#manual>>.

SUN, Yaunyuan – Wang, Pujian. 2019. Main Influencing Factors of Hydraulic Oil Performance for Construction Machinery, 2019 [online] [cit. 2025-03-19]. Dostupné na: < Main_Influencing_Factors_of_Hydraulic_Oil_Performa.pdf >.

WI. Hydraulic oil types and properties – eveithing you need to know . 2020. Workshop Insider, 2020 [online] b. v., aktualizované: 27.12.2020. [cit. 2025-03-19]. Dostupné na: <<https://workshopinsider.com/hydraulic-oil/>>.

Súhrn

V tomto článku sa budeme zaoberať hodnotením prevádzkových kvapalín vo výrobných zariadeniach pomocou reologických vlastností. Pre správnu a bezchybnú prevádzku sa vo výrobných strojoch používajú prevádzkové kvapaliny a oleje. Zamerali sme sa na hydraulické oleje a porovnali vlastnosti nového oleja s použitým olejom. Meranie hustoty sme vykonali v teplotnom rozsahu (0 – 90) °C, pričom dynamickú viskozitu v rozsahu (5 – 90) °C. Z nameraných hodnôt sme vytvorili grafy, ktoré zobrazujú závislosť hustoty od teploty, získali sme polynomicke klesajúce trendy, pričom pre dynamickú viskozitu sme pre každú vzorku aplikovali exponenciálnu klesajúcu funkciu. Zaznamenali sme mierne rozdiely v dynamickej viskozite a hustote medzi novými a použitými vzorkami. Hodnoty hustôt boli porovnateľné v celom priebehu merania, ale pri viskozitách bol tento stav dosiahnutý až pri teplote 60 °C.

Kľúčové slová: dynamická viskozita, hustota, nové a použité hydraulické oleje, teplota, porovnanie

Pod'akovanie: Táto publikácia bola podporená Kultúrnou a edukačnou grantovou agentúrou Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR v rámci projektu KEGA 020SPU-4/2023: Implementácia virtualizácie fyzikálnych laboratórií pomocou riadiacich a automatizačných systémov v odbore Strojárstvo. Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Dopytovo-orientovaný výskum pre udržateľné a inovatívne potraviny, Drive4SIFood 313011V336, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

KVALITA PRACOVNÉHO PROSTREDIA: ANALÝZA HLUČNOSTI A JEJ VPLYV NA BEZPEČNOSŤ ZAMESTNANCOV

QUALITY OF THE WORK ENVIRONMENT: ANALYSIS OF NOISE AND ITS IMPACT ON EMPLOYEE SAFETY

MATEJ LACA – SAMUEL DVOŘÁK – ĽUBOŠ KAZÁN – MAROŠ
KORENKO

Abstract

The aim of this study was to practically assess the working conditions of employees regarding their exposure to workplace noise. Noise measurements were carried out using the type 2240 integrative noise meter, which belongs to Class 1 accuracy and allows for direct recording of key acoustic parameters: the instantaneous sound pressure level (L_{AF}), the highest measured sound pressure level (L_{AFmax}), the equivalent continuous sound pressure level (L_{Aeq}) and the peak sound pressure level (L_{Cpeak}). Measurements were taken at selected work positions in real operational conditions. The results showed that the noise levels at these workplaces did not exceed the lower or upper action limits set by regulations. Analysis revealed no significant deviations, indicating that the working conditions comply with safety standards. Based on these findings, the authors conclude that employees are not exposed to excessive noise levels and no additional personal protective equipment is required. These results confirm the effectiveness of current health protection measures for workers.

Key words: noise exposure, noise regulation compliance, safety standards

1 Úvod

Hlučnosť na pracovisku predstavuje jeden z významných faktorov ovplyvňujúcich pracovné prostredie a zdravie zamestnancov (Islam, Dong 2008). Nadmerná expozícia hluku môže viesť k poškodeniu sluchu, zníženej koncentrácii či celkovej únave, čo môže mať negatívny dopad nielen na zdravie pracovníkov, ale aj na ich pracovný výkon a bezpečnosť (Koziel, Przystupa 2019). Presné meranie hlučnosti je preto nevyhnutné na identifikáciu rizikových oblastí, hodnotenie úrovne hluku v súlade s legislatívnymi požiadavkami a zavedenie účinných opatrení na jeho minimalizáciu (Marquis 2009). Tento článok sa zameriava na praktické meranie hluku na pracovisku a hodnotenie nameraných údajov v súlade s legislatívnymi požiadavkami v priemyselnom prostredí.

V pracovnom prostredí neustále rastie počet rizikových faktorov, ktorých identifikácia, hodnotenie a riadenie sa stáva čoraz zložitejším procesom (McDermott et.al. 2008).

Laca Matej, Ing. Kazán Ľuboš, prof. Ing. Maroš Korenko, PhD. Ústav konštruovania a strojárskych technológií, Technická fakulta SPU v Nitre, xlaca@uniag.sk
Dvořák Samuel - Súkromná stredná odborná škola polytechnická DSA, Novozámocká 220, 949 05 Nitra, samuel.dvorak@nr.skoladsa.sk

Kvalitatívna a kvantitatívna analýza týchto faktorov je možná vďaka moderným meracím prístrojom, špecializovaným laboratóriám a kvalifikovanému personálu (Padayachee 2002). Zamestnanci môžu byť na pracovisku vystavení rôznym fyzikálnym, chemickým, biologickým a iným škodlivým vplyvom, ktorých hodnoty môžu presiahnuť stanovené limity. Dlhodobá expozícia týmito faktormi môže mať negatívny dopad na zdravie zamestnancov (Patil et.al. 2013). Aby sa predišlo zdravotným rizikám, je nevyhnutné detailne poznať všetky potenciálne škodlivé faktory, ich vplyv na organizmus, spôsob ich prenikania do tela, možné zdravotné komplikácie a súvisiace symptómy. V súčasnosti je dôležité zavádzať technologické, technické a organizačné opatrenia s cieľom minimalizovať účinky týchto faktorov na čo najnižšiu úroveň. (Piňosová et.al. 2015).

2 Materiál a metódy

Predĺžená expozícia hluku vo výrobných prostrediach má výrazný vplyv na sluchové zdravie pracovníkov, čo vedie k rôznym dlhodobým následkom. Výskum naznačuje, že nepretržitá expozícia vysokým hladinám hluku môže viesť k nezvratnej senzorineurálnej strate sluchu, ktorá je charakterizovaná trvalým poškodením kochleárnych senzorických buniek (Santos, Andrade, 2024).

Konštrukcia a návrh strojov sú prispôsobené tak, aby hladina hlukových emisií neprekračovala legislatívne stanovené limity pre pracovné prostredie. Pri trieskovom obrábaní však môže v určitých situáciách, napríklad pri nesprávne zvolených parametroch, dôjsť k prekročeniu týchto hodnôt. V takom prípade je nevyhnutné prijať opatrenia na ich zníženie, či už úpravou technológie, nastavením vhodných parametrov alebo použitím adekvátnych osobných ochranných pracovných pomôcok. Vykonávaná práca v meraných priestoroch sa vyznačuje manuálnou činnosťou, ktorá nevyžaduje intenzívne duševné sústredenie ani nepretržité vnímanie okolitého prostredia pomocou sluchu.

Hlučnosť na pracovisku bola meraná integračným zvukomerom typu 2240, ktorý patrí do triedy presnosti 1 a umožňuje priame zaznamenávanie hlukových hodnôt. Tento prístroj vyhodnocuje štyri kľúčové parametre (Bruel, 2023):

- *LAF* – okamžitá hladina akustického tlaku,
- *LAFmax* – najvyššia nameraná hladina akustického tlaku,
- *LAeq* – priemerná ekvivalentná hladina akustického tlaku,
- *LCpeak* – najvyššia vrcholová hladina akustického tlaku.



Obr. 1 Prístroj na meranie hlučnosti typu 2240

Fig. 1 Noise measurement instrument type 2240

Kľúčovými parametrami určujúcimi bezpečnú úroveň hluku podľa Nariadenia vlády č. 115/2006 Z. z., ktoré stanovuje minimálne zdravotné a bezpečnostné požiadavky na ochranu zamestnancov pred rizikami spojenými s expozíciou hluku, sú najmä hladina hlukovej expozície $L_{AEX,8h}$ a vrcholová hladina C akustického tlaku L_{CPk} .

Meranie hlučnosti prebiehalo na troch odlišných pracoviskách v súlade so základnými zásadami stanovenými Nariadením vlády č. 115/2006 Z. z. Na každom z nich sa realizoval potrebný počet meraní, pričom každé meranie sa vykonalo počas konkrétnej pracovnej činnosti. Trvanie jedného merania bolo 1,5 minúty. Princíp merania bol založený na zaznamenaní aktuálnej hodnoty L_{AF} a následnom doplnení hodnôt L_{Aeq} , L_{Amax} a L_{Cpeak} .

Vážená hladina A zvuku sa vypočíta z hladín akustického tlaku vo frekvenčných pásmach podľa vzťahu:

$$L_{Aeq,T} = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{T} \int_0^T 10^{\frac{L_A(t)}{10}} dt \right) \quad [dB] \quad (1)$$

Kde:

- $L_A(t)$ [dB] je okamžitá hladina akustického tlaku,
- T je celkový čas expozície v sekundách,
- n je počet frekvenčných pásiem.

Where:

- $L_A(t)$ [dB] is the instantaneous sound pressure level,
- T is the total exposure time in seconds,
- n is the number of frequency bands.

Normalizovanú hladinu expozície hluku určíme z ekvivalentnej hladiny A zvuku prepočtom na menovitý 8-hodinový pracovný deň podľa vzťahu:

$$L_{AEX,8h} = L_{Aeq,T} + 10 \log_{10} \left(\frac{T}{T_n} \right) \quad [dB] \quad (2)$$

Kde:

- $L_{Aeq,T}$ [h] je ekvivalentná hladina hluku (v dB) nameraná počas pracovnej zmeny alebo iného časového intervalu,
- T [h] je trvanie ekvivalentnej hladiny A zvuku počas pracovnej zmeny,
- T_n [h] je menovité trvanie pracovnej zmeny 8 h.

Where:

- $L_{Aeq,T}$ [h] is the equivalent noise level (in dB) measured during a work shift or other time interval,
- T [h] is the duration of the equivalent A sound level during the work shift,
- T_n [h] is the nominal duration of a work shift of 8 h.

Vrcholovú hladinu C akustického tlaku určíme z maximálneho okamžitého akustického tlaku s frekvenčným vážením C počas meraného intervalu podľa vzťahu:

$$L_{CPk} = 20 \log_{10} \left[\max \left(\frac{p_c(t)}{p_0} \right) \right] \quad [dB] \quad (3)$$

Kde:

- $P_c(t)$ [Pa] je časová funkcia akustického tlaku váženého frekvenčnou váhovou funkciou C,
- P_0 [Pa] je referenčný akustický tlak.

Where:

- $P_c(t)$ [Pa] is the time function of the sound pressure weighted by the frequency weighting function C,
- P_0 [Pa] is the reference sound pressure.

Limitné hodnoty hlukovej expozície sú stanovené na $L_{AEX,8h} = 87$ dB a $L_{CPk} = 140$ dB, pričom ich prekročenie nie je povolené ani pri použití, ani bez použitia osobných ochranných pracovných pomôcok, ako sú chrániče sluchu.

Hodnoty pre hornú akčnú úroveň expozície sú $L_{AEX,8h} = 85$ dB a $L_{CPk} = 137$ dB, zatiaľ čo dolná akčná úroveň expozície je definovaná hodnotami $L_{AEX,8h} = 80$ dB a $L_{CPk} = 135$ dB. Tieto akčné hodnoty slúžia na ochranu zdravia zamestnancov pred hlukom, avšak nezohľadňujú úroveň tlmivosti, ktorú poskytujú používané chrániče sluchu.

Nepretržitá expozícia môže mať za následok nezvratnú stratu sluchu, ktorá sa často prehliada, pretože pracovníci si na hluk zvyknú. Štúdie ukazujú, že strata sluchu spôsobená hlukom postihuje 21,7 % až 34,5 % pracovníkov v hlučnom prostredí, pričom úroveň expozície často presahuje 85 dB (Marijanti, 2022). Pracovníci vystavení vysokému hluku uvádzajú vyššiu mieru vyhovenia a emocionálneho vyčerpania, a to aj bez straty sluchu. Vystavenie hluku koreluje so zníženou kvalitou života súvisiacou so zdravím, ktorá ovplyvňuje fyzické a emocionálne fungovanie (Karaikos et al., 2025).

Pracovný priestor je rozdelený do troch samostatných divízií, pričom každá má špecifické rozmery a účel:

1. **Divízia Nástrojáreň** (rozmer 25 x 60 x 12 m) – výrobná hala, kde prebieha obrábanie a výroba.
2. **Divízia Brusiareň pre nástrojárov** (rozmer 25 x 60 x 12 m) – pracovný priestor určený na precízne brúsenie nástrojov.
3. **Divízia Brusiareň – sekcia staré brúsky** (rozmer 13 x 9,9 x 6 m) – menší priestor, kde sa nachádzajú staršie brúsne stroje.

Akustické vlastnosti týchto pracovísk sú ovplyvnené ich konštrukčnými prvkami, ktoré určujú mieru zvukovej pohltivosti:

- **Strop haly** je vyhotovený z vlnitého trapézového plechu, ktorý má nízku schopnosť pohlcovať zvuk a môže prispievať k jeho odrazom.
- **Steny** sú kombináciou omietky a sendvičových panelov, čo ovplyvňuje akustické vlastnosti priestoru a jeho schopnosť rozptyľovať zvuk.
- **Podlaha** je zhotovená z betónu, na ktorom je aplikovaná nivelačná vrstva, poskytujúca hladký a pevný povrch s minimálnou absorpciou zvuku.

Kombinácia týchto konštrukčných materiálov vytvára priestor s nízkou zvukovou pohltivosťou. To znamená, že zvukové vlny sa v pracovnom prostredí šíria nielen priamo, ale aj odrazmi od stien, stropu a podlahy, čo môže ovplyvniť celkovú hladinu hluku v hale.

3 Výsledky a diskusia

Hluková záťaž sa dá kvantifikovať prostredníctvom normalizovanej hladiny hlukovej expozície, ktorá sa stanovuje v súvislosti s referenčným časom 8 hodín. Analýzou rôznych pracovných pozícií sa určili priemerné doby trvania jednotlivých činností, ktoré sú prehľadne uvedené v Tab. 1.

Štandardná pracovná doba je organizovaná v dvojzmennej prevádzke, pričom jedna pracovná zmena trvá 8 hodín. Z toho majú zamestnanci 30-minútovú prestávku. Počas pracovnej doby sa venujú obsluhu kovoobrábacích strojov a zariadení, pričom vykonávajú zákazkovú výrobu podľa individuálnych požiadaviek.

Tab. 1 Činnosti jednotlivých pracovných pozícií
Table 1 Activities of individual job roles

Č.	Pracovná pozícia	Popis práce	Miesto výkonu práce	Trvanie práce
1.	Nástrojár - frézovanie	Obsluha ovládacieho panelu, obrábanie komponentu a kontrola výrobku.	Nástrojáreň DMU 75	390 min. /zmena
		Prípravné, nastavovacie a manipulačné činnosti stroja a materiálu.	Nástrojáreň DMU 75	60 min. /zmena
		Prestávky	-	30 min. /zmena
2.	Nástrojár – brúsenie	Obsluha ovládacieho panelu, obrábanie komponentu, kontrola výrobku, čistenie a konzervovanie olejom.	Brusiareň MICHAEL S22 E	420 min. /zmena
		Prípravné, nastavovacie a manipulačné činnosti stroja a materiálu.	Brusiareň MICHAEL S22 E	30 min. /zmena
		Prestávky	-	30 min. /zmena
3.	Nástrojár – EDM obrábanie	Elektroerozívne obrábanie súčiastky	Oddelenie FANUC	390 min. /zmena

			RoboCut C600iA	
		Prípravné, nastavovacie a manipulačné činnosti stroja a materiálu.	Oddelenie FANUC RoboCut C600iA	60 min. /zmena
		Prestávky	-	30 min. /zmena
4.	Vedúci oddelenia	Koordinácia a kontrola úloh	-	280 min. /zmena
		Prestávky	-	30 min. /zmena
5.	Vedúci výroby	Koordinácia a kontrola úloh	-	260 min. /zmena
		Prestávky	-	30 min. /zmena

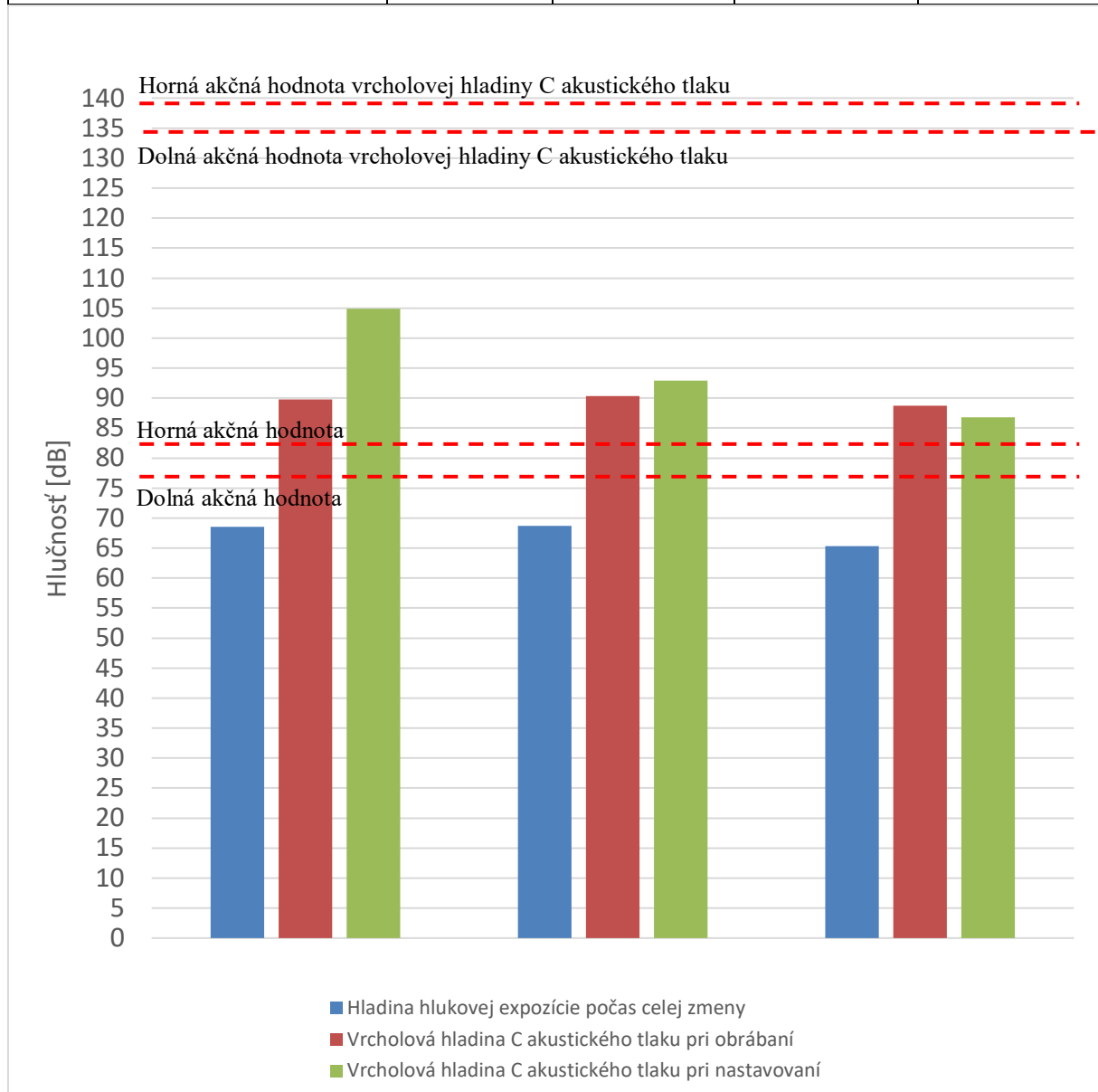
Tab. 2 Namerané hodnoty hlučnosti

Table 2 Measured noise values

Činnosť	Č. merania	L_A [dB]	L_{Aeq} [dB]	L_{Amax} [dB]	L_{Cpeak} [dB]
Frézovanie (DMU 75)	1.	67,5	68,8	73	91,1
	2.	67,9	69,1	72,9	88,6
	3.	67,8	68,1	72,7	89,7
Nastavovanie (DMU 75)	1.	69,5	73,9	91	110
	2.	70,6	76,1	86,8	99,8
Brúsenie (MICHAEL S22 E)	1.	70,5	70,7	74	91,2
	2.	70	70,2	73,6	90,30
	3.	70,6	70,8	75,2	89,5
Nastavovanie (MICHAEL S22 E)	1.	65,4	67,5	78	96,3
	2.	67,5	68,6	75,2	89,5
	3.	67,8	68,3	79,9	92,9
Obrábanie (FANUC C600iA)	1.	63,6	63,3	71	91,7
	2.	67,5	67,2	69,1	85,7
Nastavovanie (FANUC C600iA)	1.	63,5	64	67,4	86,8

Tab. 3 Doplnené hodnoty hlučnosti
Table 3 Added noise values

Pracovná pozícia	$L_{Aeq,T}$ [dB]	t [h]	$L_{AEX,8h}$ [dB]	L_{CPk} [dB]
Nástrojár – frézovanie	68,83	7,5	68,54	89,8
				104,9
Nástrojár – brúsenie	69,01	7,5	68,73	90,3
				92,9
Nástrojár – EDM obrábanie	65,29	7,5	65	88,7
				86,8



Obr. 1 Porovnanie hlučnosti s limitnými hodnotami
Fig. 1 Comparison of noise levels with limit values

4 Záver

Výsledky tejto štúdie potvrdzujú, že pracovné podmienky na meraných pracoviskách v rámci hodnotenia hlučnosti sú v súlade s platnými legislatívnymi požiadavkami ochrany zdravia zamestnancov. Merania hlučnosti vykonané pomocou presného integračného zvukomera ukázali, že hodnoty akustických parametrov neprekračujú stanovené akčné limity. Analýza nepreukázala žiadne signifikantné odchýlky, čo naznačuje, že zamestnanci nie sú vystavení riziku nadmerného hluku. Na základe týchto zistení možno konštatovať, že aktuálne opatrenia na ochranu zdravia pracovníkov sú dostatočné a nie je potrebné zavádzať opatrenia resp. ďalšie osobné ochranné pracovné pomôcky. Tento výskum poskytuje dôkazy o efektívnosti existujúcich preventívnych opatrení a môže slúžiť ako podklad pre ďalšie hodnotenie pracovných podmienok v budúcnosti.

5 Literatúra

BRUEL. 2023. Údajový list – integračný zvukomer typu 2240. Online. Dostupné na: https://www.bruel.sk/File/files/bks/UL_2240.pdf [dátum citovania 20.1.2025].

ISLAM, Shareeful; DONG, Wei. 2008. Human factors in software security risk management. In. *Proceedings of the first international workshop on Leadership and management in software architecture*. (Online). New York: LMSA, pp. 13-16. Dostupné na: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/1373307.1373312> [dátum citovania 2025-02-15].

KARAIKOS, Christos; VLASTOS, Ioannis; FARANTOS, Georgios; RACHIOTIS, Georgios; SIMOU Effie a DOUNIAS, Georgios. 2025. Chronic Noise Exposure with Normal Hearing is Related to Adverse Quality of Life and Burnout. *European scientific journal*. Online. Vol. 21, no.37. Dostupné na: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.03.096> [dátum citovania 2025-02-15].

KOZIEL, Joanna; PRZYSTUPA, Krzysztof. 2019. Using the FTA method to analyze the quality of an uninterruptible power supply unitreparation UPS. In *PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY*. (Online), vol. 95, no. 1. pp. 77-80. Dostupné na: <http://pe.org.pl/articles/2019/1/20.pdf> [dátum citovania 2025-02-15].

MARIJANTI, T. Lie. 2022. Noise Exposure and Hearing Health in the Workplace. *Jurnal Biomedika dan Kesehatan* Online. Vol. 5, no. 3, s. 132-135. Dostupné na: <http://doi.org/10.56238/levv15n43-088> [dátum citovania 2025-02-20].

MARQUIS, Hank. 2009. How to Roll the Deming Wheel. In *DITY Weekly Newsletter*. (Online), vol. 5, no. 28. Dostupné na: <http://itsmsolutions.com/wp-content/uploads/2013/01/DITYvol5iss28.pdf> [dátum citovania 2025-02-15].

McDERMOTT, Robin; BEAUREGARD, Michael; MIKULAK, Raymond. 2008. The Basics of FMEA. (Online). New York: Productivity Press. 90s. ISBN 9780429244773. Dostupné na: <https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.1201/b16656/basics-fmea-raymond-mikulak-robin-mcdermott-michael-beauregard> [dátum citovania 2025-02-15].

Nariadenie vlády Slovenskej republiky č. 115/2006 Z. z. o minimálnych zdravotných a bezpečnostných požiadavkách na ochranu zamestnancov pred rizikami súvisiacimi s expozíciou hluku.

PADAYACHEE, Keshnee. 2002. An interpretive study of software risk management perspectives. In: *Proceedings of the 2002 annual research conference of the South African institute of computer scientists and information technologists on Enablement through technology*. (Online). pp. 118-127. Dostupné na: <https://dl.acm.org/doi/10.5555/581506.581524> [dátum citovania 2025-02-15].

PATIL, Rajkumar; WAGHMODE, Laxman; CHIKALI Pushan; MULLA, T. 2013. An Overview of Fault Tree Analysis (FTA) Method for Reliability Analysis & Life Cycle Cost (LCC) Management. In *IOSR*. (Online). pp. 14-18. ISSN 2278-1684. Dostupné na: https://www.researchgate.net/profile/Rajkumar-Patil-2/publication/277971116_An_Overview_of_Fault_Tree_Analysis_FTA_Method_for_Reliability_Analysis_Life_Cycle_Cost_LCC_Management/links/5577e0780aeb6d8c01ce7bf/An-Overview-of-Fault-Tree-Analysis-FTA-Method-for-Reliability-Analysis-Life-Cycle-Cost-LCC-Management.pdf [dátum citovania 2025-02-15].

PIŇOSOVÁ, Miriama; Hricová, Beata; LUMNITZER, Ervin a ANDREJIOVÁ, Miriam. 2015. Hodnotenie kombinovaných účinkov rizikových faktorov vo vybranom pracovnom prostredí. *Fyzikálne faktory prostredia – časopis o problematike fyzikálnych faktorov prostredia* Online. Vol. 5, s. 93-97. Dostupné na: https://www.researchgate.net/publication/307994734_Hodnotenie_kombinovanych_ucinkov_rizikovych_faktorov_vo_vybranom_pracovnom_prostredii/references [dátum citovania 2025-01-15].

SANTOS, Andrade Rodrigo a ANDRADE, Oliveira Vanessa. 2024. Perda auditiva ocupacional provocada por ruído. In: *Lumen et Virtus* (Online), Vol. 15, no.43, s. 8780-8800. Dostupné na: <http://doi.org/10.56238/levv15n43-088> [dátum citovania 2025-02-25].

Súhrn

Cieľom tejto štúdie bolo prakticky overiť pracovné podmienky zamestnancov z hľadiska vystavenia hluku na pracovisku. Na meranie hlučnosti bol použitý integračný zvukomer typu 2240, ktorý patrí do triedy presnosti 1 a umožňuje zaznamenávanie kľúčových akustických parametrov: okamžitej hladiny akustického tlaku (L_{AF}), najvyššej nameranej hladiny akustického tlaku (L_{AFmax}), priemernej ekvivalentnej hladiny akustického tlaku (L_{Aeq}) a najvyššej vrcholovej hladiny akustického tlaku (L_{Cpeak}). Merania boli vykonané na vybraných pracovných pozíciách v reálnych pracovných podmienkach. Výsledky ukázali, že hlučnosť na týchto pracoviskách neprekračuje dolné ani horné akčné hodnoty stanovené legislatívou. Štatistická analýza nepreukázala žiadne významné odchýlky, čo naznačuje, že pracovné podmienky sú v súlade s bezpečnostnými normami. Na základe týchto zistení autori uzatvárajú, že zamestnanci nie sú vystavení nadmernému hluku, a teda nie je potrebné zavádzať ďalšie osobné ochranné pracovné pomôcky. Tieto výsledky potvrdzujú účinnosť súčasných opatrení na ochranu zdravia zamestnancov.

Kľúčové slová: expozícia hluku, dodržiavanie predpisov o hluku, bezpečnostné normy

POROVNANIE STATICKÉHO UHLA PRIEČNEJ A POZDĹŽNEJ STABILITY TRAKTORA V RÔZNYCH MODIFIKÁCIÁCH

COMPARISON OF STATIC OVERTURNING ANGLE OF TRACTOR LATERAL AND LONGITUDINAL STABILITY IN DIFFERENT MODIFICATION

MATÚŠ MACEJKA – RUDOLF ABRAHÁM

Abstract

The article presents a comparison of the static lateral and longitudinal stability of the Zetor 25K tractor with the Zetor 5201 engine of the ISO 16321-2 standard in six different modifications. The distribution of the tractor axle weights was measured to calculate the vertical and horizontal coordinates of the centre of gravity. The calculations were aimed at comparing the stability of the original tractor design without wheel weights and a protective frame with five other modifications. Static lateral stability was calculated according to the ISO standard and longitudinal stability according to Majdan, 2016. We compared the results graphically and presented the achieved differences in the improvement or deterioration of the tractor stability in degrees of tilt and in meters of wheel lift from the ground. In addition to the initial modification mentioned above, the following modifications were selected: The first and second were with rear wheel weights without a protective frame and with a frame, the third and fourth were with complete wheel weights with a protective frame and without a frame. And the last fifth modification was the original modification equipped with a protective frame. The results achieved can be summarized as follows. As for lateral stability, the largest positive difference is represented by the modification without a protective frame and with complete wheel weights, namely 2.76° , which represents a difference in rear wheel lift compared to the original modification of 0.142 meters. The largest negative difference was recorded in modification 5, which represents a deterioration of 2.67° , which represents 0.125 meters. In terms of longitudinal stability, the same modification came out most positively as in lateral stability, which represents 3.92° in height terms, it is 0.206 meters. In conclusion, it can be stated that in terms of maintaining and improving the stability of a tractor with a protective frame, the tractor should be equipped with weights, preferably wheel weights, which, when improving longitudinal stability, also improve lateral stability in both directions.

Key words: : lateral and longitudinal overturning, ballast wheel weight, protective frame

1 Úvod

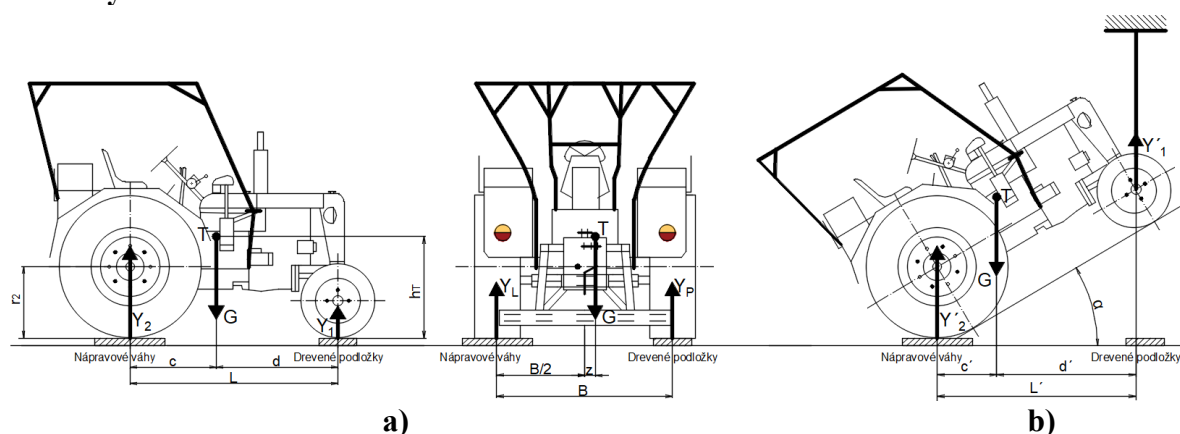
Používanie poľnohospodárskych traktorov sa považuje za najnebezpečnejšiu činnosť pre poľnohospodárov kvôli veľkému počtu úmrtí, ku ktorým dochádza každý rok (Fagnoli & Lombardi, 2020). K najväčšiemu počtu nehôd a zranení s účasťou poľnohospodárskych strojov dochádza na svahovitom teréne. Bezpečná prevádzka vyžaduje stabilný stav strojov aj pri práci v najextrémnejších podmienkach (Váliková a kol. 2013). Zlepšenie stability traktorov

pracujúcich na svahoch pomôže vyhnúť sa nebezpečným nehodám súvisiacim s prevrátením traktora a umožní lepšie využitie traktora na nerovných plochách, ktoré nie sú ideálne pre mechanizáciu (Bietresato, 2017). Existuje niekoľko praktických opatrení, ktoré možno prijať na zníženie pravdepodobnosti prevrátenia traktora. Čo najviac zväčšiť vzdialenosť medzi pravým a ľavým kolesom traktora a pokúsiť sa znížiť výšku ťažiska traktora pridaním záťaže na najspodnejšie časti traktora, alebo vyplnením 75 % priestoru kolies traktora vodou, sú široko používané opatrenia (Ahmadi, 2014). Maximálne hodnoty záťažovej hmotnosti a celkovej šírky pneumatiky sú obmedzené konkrétnou konštrukciou traktora a určuje ich výrobca traktora. Spolu s ďalšími parametrami je správanie traktorov pri prevrátení ovplyvnené najmä geometrickými rozmermi, hmotnosťou a výškou ťažiska, ako to uvádza (Silleli, 2007) pri testovaní ochranných konštrukcií chrániacich pri prevrátení. Ďalšia štúdia tiež potvrdila vplyv konštrukčných parametrov traktora, ako sú hmotnosť a rozmery, na správanie sa pri prevrátení (Franceschetti et al, 2014). Tlak v pneumatikách ovplyvňuje aj stabilitu vozidla, pretože prerozdelenie hmotnosti vozidla na jeho strany mení smer vektora ťažiska v dôsledku odklonu pneumatiky (Gorshkov et al, 2019). V poslednom období sa zvýšenie prevádzkovej bezpečnosti poľnohospodárskych vozidiel dosahuje implementáciou inteligentných systémov napojených na gyroskopické snímače do riadiacich systémov vozidiel (Redl a kol. 2014). Vyrobené poľnohospodárske traktory sa vyznačujú vysokou mierou štandardizácie a majú celý rad ďalších prídavných zariadení, ktoré umožňujú širšie používanie každého traktora a výrazne uľahčujú jeho prevádzku (Kosiba a kol., 2012).

Bočné prevrátenie poľnohospodárskych traktorov je veľmi nebezpečná nehoda. Skúšky, ktoré sa vykonávajú na charakterizáciu stability traktora, kontrolujú statický uhol priečnej stability a sú užitočné pre skutočné prevádzkové podmienky. Cieľom článku bolo porovnať statický uhol priečnej a pozdĺžnej stability traktora vypočítaný podľa normy ISO 16321-2 v šiestich rôznych modifikáciách a stanoviť vplyv ochranného rámu rúrkovej konštrukcie, predných a zadných kolesových závaží na pozdĺžnu a priečnu stabilitu.

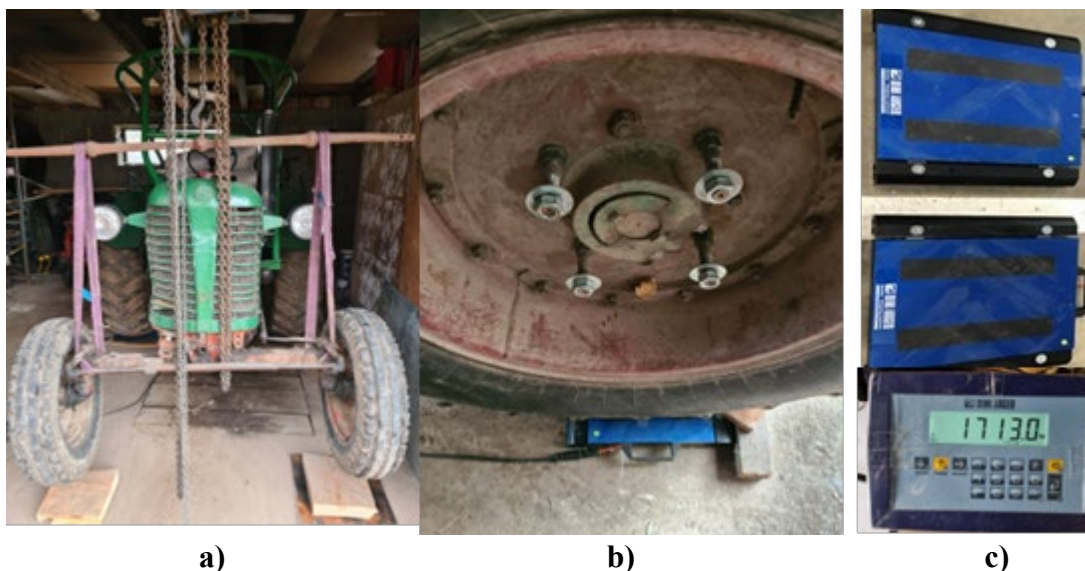
2 Materiál a metódy

Merací systém



Obr. 2. Určenie súradníc ťažiska T: a) schéma výpočtu pozdĺžnej súradnice ťažiska, b) schéma výpočtu vertikálnych súradníc ťažiska T (Majdan a kol., 2016): L – rázvor; c, d – pozdĺžne súradnice ťažiska T; h_T – vertikálna súradnica ťažiska T; B – rozchod kolies; G – tiaž traktora; Y_1 , Y_2 , Y_P , Y_L – pozemné reakcie; r_2 – statický polomer zadného kolesa; α – uhol zdvihu, L' – vertikálny priemet rázvoru, c' – vertikálny priemet parametra c, d' – vertikálny priemet parametra d, Y'_1 , Y'_2 – reakcie pri traktore v zdvihnutých polohách, z – vyosenie ťažiska z pozdĺžnej roviny.

Fig. 2. Determination of centre of gravity T coordinates: a) scheme for calculation of longitudinal coordinate of centre of gravity; b) scheme for calculation of vertical coordinates of COG (Majdan et al., 2016): L – wheelbase; c , d – longitudinal coordinates of COG; h_T – vertical coordinate of COG; B – tread width; G – tractor weight; Y_1 , Y_2 , Y_P , Y_L – ground reactions; r_2 – static rear wheel radius; ω – lifting angle, L' – vertical projection of wheelbase, c' – vertical projection of parameter c , d' – vertical projection of parameter d , Y'_1 , Y'_2 – reaction when tractor in raised position, z – offset of the center of gravity from the longitudinal plane.



Obr. 3 Váženie traktora Zetor 25K: a) váženie zadnej nápravy pri zdvihnutej prednej náprave, b) váženie zadného ľavého kolesa c) nápravové váhy Dini Argeo WWSE 3T s indikátorom
Fig. 3 Weighing a Zetor 25K tractor: a) weighing the rear axle with the front axle raised, b) weighing the rear left wheel, c) axle scales Dini Argeo WWSE 3T with indicator.

Nápravové váhy typu Dini Argeo WWSE 3T s indikátorom hmotnosti, boli použité na meranie hmotnosti pod kolesami traktora (Obr. 3a,b,c). Menovitá kapacita systému váženia je 3000 kg. Na výpočet horizontálnych a vertikálnych súradníc ťažiska sa postupovalo podľa Obr.2a,b, pričom vzdialenosti rázvoru, rozchodu, výšky otočného čapu prednej nápravy od zeme, polomeru predných a zadných kolies sa merali metrom s meracím rozsahom 3 m, triedou presnosti 2 a rozlíšením 1 mm. Vertikálne roviny potrebné na meranie vzdialenosti jednotlivých rázvorov pri zdvihnutej prednej náprave boli vypočítané matematicky podľa uhla sklonu traktora (Andrert a Macháček, 1958). Na meranie uhla sklonu traktora pri zdvíhaní prednej nápravy bol použitý digitálny uhlomer Genborx 810-100 (Changzhou Skyvictor Ltd., Čína) s meracím rozsahom $4 \times 90^\circ$, rozlíšením displeja $0,1^\circ$ a chybou presnosti $0,01^\circ$. Všetky experimentálne merania hmotnosti sa zopakovali trikrát a vypočítala sa priemerná hodnota. Merania sa vykonávali iba pri štandardnom pôvodnom traktore bez závaží a ochranného rámu a bez závaží s ochranným rámom a následne sa ďalšie štyri modifikácie stanovili výpočtom s postupným pridávaním jednotlivých kolesových predných a zadných závaží, pričom nám vzniklo spolu šesť modifikácií traktora. Vzniknuté modifikácie sú nasledovné: 1 - traktor bez závaží a bez ochranného rámu, 2 – so zadným kolesovým závažím a bez rámu, 3 – s predným a zadným kolesovým závažím bez rámu, 4 - so zadným kolesovým závažím s rámom, 5 - s predným a zadným kolesovým závažím s rámom (aktuálna modifikácia), 6 – traktor bez kolesových závaží s ochranným rámom.

Experimentálny traktor Zetor 25K

Experimentálny traktor Zetor 25K s motorom Zetor 5201 je štandardný traktor 4K2 a je vyrobený v roku 1956. Jeho pôvodná modifikácia pred úpravami je na Obr. 4b, pričom prestavba motorizácie prebehla v roku 2000. Traktor v súčasnom stave zo všetkým novým príslušenstvom zlepšujúcim bezpečnosť práce traktora na svahu je na Obr. 4a. Príspevok hodnotí vplyv príslušenstva na zlepšenie priečnej a pozdĺžnej stability.

Tab. 1 Technické údaje experimentálneho traktora Zetor 25K s motorom Z5201

Tab. 1 Technical data of experimental tractor Zetor 25K with motor Z5201

Parameter	Hodnota
Počet valcov motora	3
Zdvihový objem motora, cm ³	2696,5
Výkon, kW/min ⁻¹	33,1/2200
Rázvor, m	2,035
Prevádzková hmotnosť bez príslušenstva, kg	2253
Celková hmotnosť s príslušenstvom, kg	2545,5
Zadné pneumatiky	15-24
Predné pneumatiky	6-16
Rozmery: v/š/d, m	2,45/1,8/2,3
Rozchod zadných kolies , m	1,4



a)



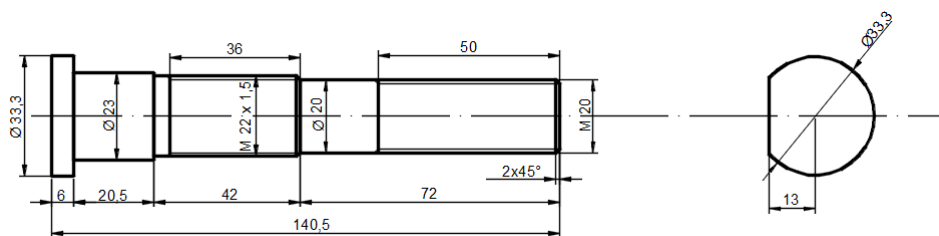
b)

Obr. 4 Experimentálny traktor Zetor 25K s motorom Z5201: a) s kompletným závažím a s ochranným rámom, b) s imitáciou tiaže vodiča v pôvodnej modifikácii

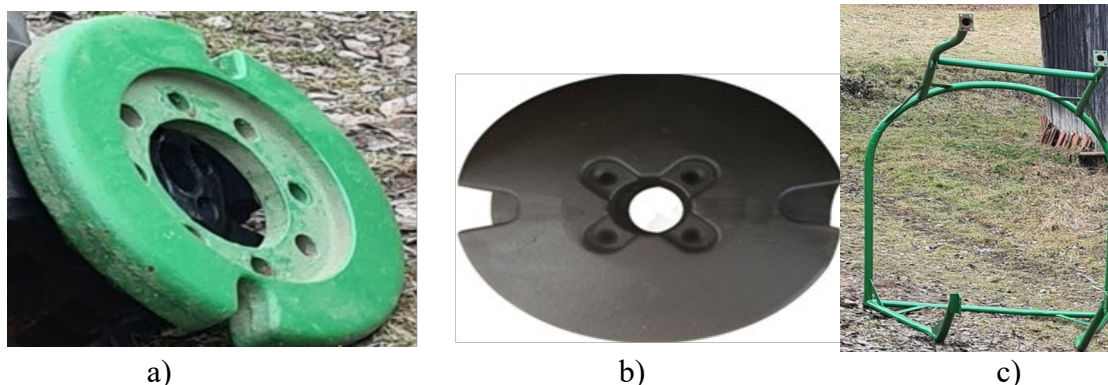
Fig. 4 Experimental tractor Zetor 25K with motor Z5201: a) with complete weight and protective frame, b) with driver's weight imitation in the original modification

Použité príslušenstvo- zadné, predné kolesové závažia a ochranný rám

Zadné kolesové závažie (Obr.6a) predstavuje štandardné závažie zadných kolies traktorov Zetor 25K, pričom sa montujú na 36 palcové kolesá. Z dôvodu, že na našom experimentálnom traktore sú použité delené 24 palcové disky kolies museli sme na mieru vyrobiť predĺžené skrutky upevnenia závaží podľa Obr. 5. Skrutky v počte 8 kusov sú vyrobené podľa originálu, ale majú o 40mm predĺžený driek M20 slúžiaci práve na pripevnenie kolesových závaží. Predĺženie bolo nutné z dôvodu, že z vnútornej strany závaží sa nachádzajú na delenom disku spájacie skrutky M16, ktoré nedovoľujú pripevniť závažia tesne k telesu disku traktora.



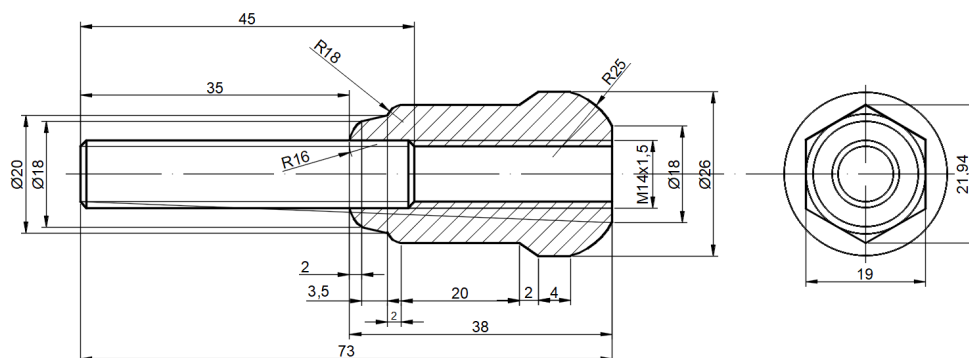
Obr. 5 Diskové skrutky zadných kolies M22x1,5 s predĺženým driekom M20 o 40mm
Fig. 5 Disc bolts of rear wheel M22x1.5 with extended shaft M20 about 40mm



Obr. 6 Použité príslušenstvo: a) zadné kolesové závažie, b) predné kolesové závažie, c) ochranný rám

Fig. 6 Accessories used: a) rear wheel weight, b) front wheel weight, c) protective frame

Predné kolesové závažia (Obr.6b) sú originálnym dielom Zetora 3511, ale po nahradení diskov s tohto Zetora, ktoré majú rovnaký náboj predného kolesa ako všetky typy traktorov Zetor 25 je možné použiť kolesové závažie aj na všetkých modeloch Zetor 25. Skrutky predných kolies slúžiacie zároveň aj na pripevnenie predných kolesových závaží boli vyrobené podľa Obr.7, pričom matice boli v originálnom prevedení z nepriechodným závitom, ale po úprave bol závit M14x1,5 zmenený na priechodný. Upravené diskové matice s počtom 8 kusov boli opatrené skrutkami s odstránenými hlavami M14x1,5 s dĺžkou 45 mm vyrobených z celozávitových skrutiek M14x1,5x50 triedy tvrdosti 10,9. Montáž závaží predných kolies prebieha nasledovne. V prvom rade odskrutkujeme po jednom pôvodné diskové matice M14x1,5 a nahradíme ich predĺženými maticami na obidve predné kolesá. Následne naskrutkujeme na vyrobené skrutky bez hláv dve matice M14x1,5 a následne ich proti sebe utiahneme. Takto pripravenú skrutku naskrutkujeme do telesa predĺženej diskovej matice a pevne dotiahneme až po teleso diskovej skrutky kolesa. Posledný krok je montáž závaží a následné utiahnutie tak, aby závažie bolo pevne spojené s diskom, a aby rovnomerne priliehalo po celom obvode k disku. Je to dôležité z hľadiska osovej súmernosti závaží a dlhšej životnosti ložísk prednej nápravy traktora. Ak sú disky predných kolies pokrivené, treba ich nahradiť za nepoškodené, aby kolesá prednej nápravy so závažiami nevykazovali rotačnú nesúmernosť.



Obr. 7 Diskové skrutky predných kolies M14x1,5 pre pripevnenie závaží
Fig. 7 Front wheel disc bolts M14x1.5 for attaching weights

Ochranný rám (Obr.6c) pochádza z traktora Zetor 50 Super a je prispôsobený na experimentálny traktor Zetor 25K, pričom obidva modely používali tú istú kabínu ale museli byť uskutočnené nasledovné konštrukčné úpravy. Predná časť ostala pôvodná ibaže sa vyrobili nové držiaky priskrutkované štyrmi skrutkami M12x100 triedy tvrdosti 10,9 o prírubu motora. Zadná časť rámu bola prispôbena z pôvodného upevnenia o prevodovku Zetora 50 Super na uchytenie o zadné dva nosníky Zetora 25K slúžiace na pripevnenie horného ťažného zariadenia prostredníctvom štyroch skrutiek M20 x 50 triedy pevnosti 10,9. Zetor 25K používal aj fabričný typ ochranného rámu no tieto rámy sa montovali iba na fabričný traktor s pôvodnými blatníkmi a pôvodnými zadnými kolesami 9,0-36. Náš experimentálny traktor nemá originálne ani blatníky ani zadné kolesá a z tohto dôvodu sme museli použiť upravený ochranný rám zo Zetora 50 Super, ktorý mal podobné upevnenie ako si vyžadoval náš upravený Zetor 25K. Z rámu z hľadiska lepšieho predného nastupovania z oboch strán boli odstránené dva nosníky, ktoré z boku mali funkciu chrániť kabínu, ale nemajú významný vplyv na pevnosť celého ochranného rámu.

Výpočet statickej priečnej stability traktora podľa normy ISO 16231-2

Norma ISO 16231-2 predstavuje metódu výpočtu statického uhla priečnej stability traktora s jednou výkyvnou nápravou bez zariadenia obmedzujúceho uhol výkyvu a bodom otáčania výkyvnej nápravy v línii so stredovou čiarou traktora (Obr. 8). Norma definuje úsečku *AB* prevracania traktora na pevnej náprave, ktorá prechádza 75% šírky pneumatiky. Úsečka *AA'* je základná čiara trojuholníka stability a počíta sa podľa tohto vzorca:

$$\alpha_{lim} = \tan^{-1} \frac{DF}{h} \quad (1)$$

Kde: *DF* – svahová línia, m
 α_{lim} – limitný uhol priečnej stability, °
h – výšky ťažiska, m

Where: *DF* – length of slope line, m
 α_{lim} – limit angle of lateral stability, °
h – vertical coordinate of COG, m

Výpočet limitného zdvihu zadného kolesa od zeme z hľadiska maximálneho bočného náklonu traktora α vypočítame podľa vzťahu:

$$h_{ZK} = \tan \alpha_{lim} \cdot B \quad (2)$$

Kde: h_{ZK} – limitná výška zdvihu zadného kolesa traktora, m

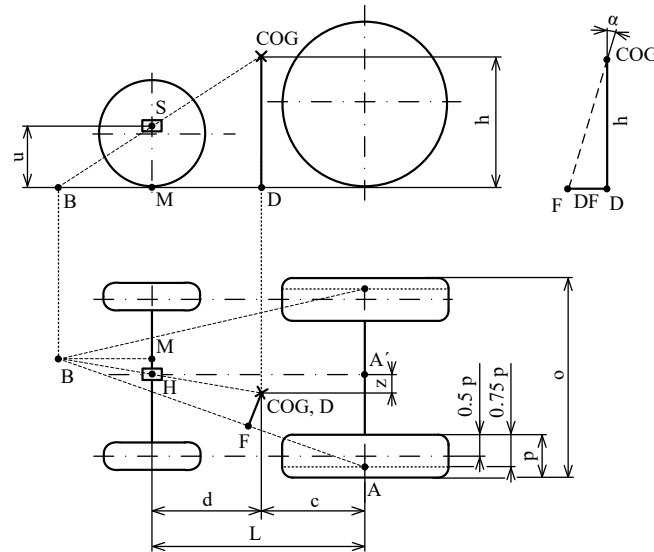
α_{lim} – limitný uhol priečnej stability, °

B – rozchod zadnej nápravy traktora, m

Where: h_{ZK} – limit height of the tractor's rear wheel lift, m

α_{lim} – limit angle of lateral stability, °

B – tractor rear axle track, m

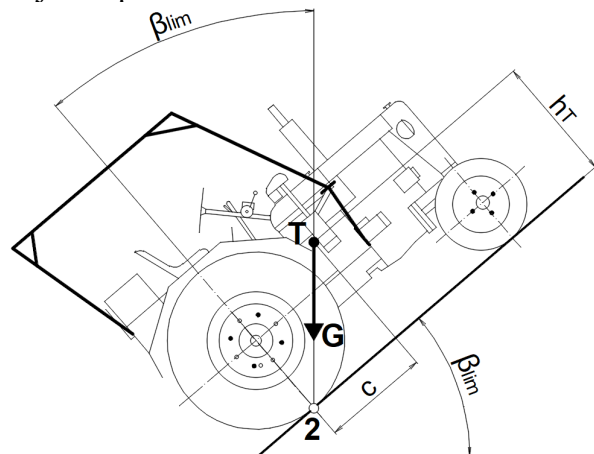


Obr. 8 Rozmerová schéma priečnej stability podľa normy ISO 16231-2 (2015): o – celková šírka od bokov kolies na pevnej náprave, p – šírka pneumatík/kolies, u – výška čapu výkyvnej nápravy, L – rázvor, c, d – parametre horizontálnej polohy ťažiska; h – vertikálna výška ťažiska, z – vyosenie ťažiska od pozdĺžnej roviny, α – uhol priečnej stability, AA' – úsečka trojuholníka priečnej stability, DF – svahová línia

Fig. 8 Determination of tractor lateral stability according to ISO 16231-2 (2015): o – overall width on tyres of the fixed axle, p – width of tyres on fixed axle, u – height of pivot point of the swelling axle, L – wheelbase, c, d – longitudinal coordinates of COG; h – vertical coordinate of COG; z – lateral position of COG; α – static overturning angle, AA' – base line of stability triangle, DF – slope line.

Výpočet statickej pozdĺžnej stability traktora

Pri riešení stability kolesového vozidla sa vychádza z momentových rovníc, v ktorých musí byť zastúpená normálová reakcia na nápravu, u ktorej je nebezpečenstvo straty silového styku s podložkou. Medzný rovnovážny stav sa v momentovej rovnici stanoví položením príslušnej normálovej reakcie rovnej nule podľa Obr.9.



Obr. 9 Traktor na svahu s limitným uhlom pozdĺžneho sklonu
Fig. 9 Tractor on slope with a limited longitudinal inclination angle

Pozdĺžna stabilita β_{lim} sa vypočíta podľa vzťahu:

$$\beta_{lim} = \tan^{-1} \frac{c}{h_T} \quad (3)$$

Kde: c – vzdialenosť ťažiska od osi zadnej nápravy, m

β_{lim} – uhol pozdĺžnej stability, °

h_T – výška ťažiska, m

Where: c – distance of centre of gravity from rear axle, m

β_{lim} – longitudinal stability angle, °

h_T – vertical coordinate of COG, m

Výpočet limitného zdvihu prednej nápravy od zeme z hľadiska maximálneho pozdĺžneho náklonu traktora β_{lim} vypočítame podľa vzťahu:

$$h_{PN} = \tan \beta_{lim} \cdot L \quad (4)$$

Kde: h_{PN} – limitná výška zdvihu prednej nápravy traktora, m

β_{lim} – uhol pozdĺžnej stability, °

L – rázvor traktora, m

Where: h_{PN} – limit lift height of the tractor's front axle, m

β_{lim} – longitudinal stability angle, °

L – tractor wheelbase, m

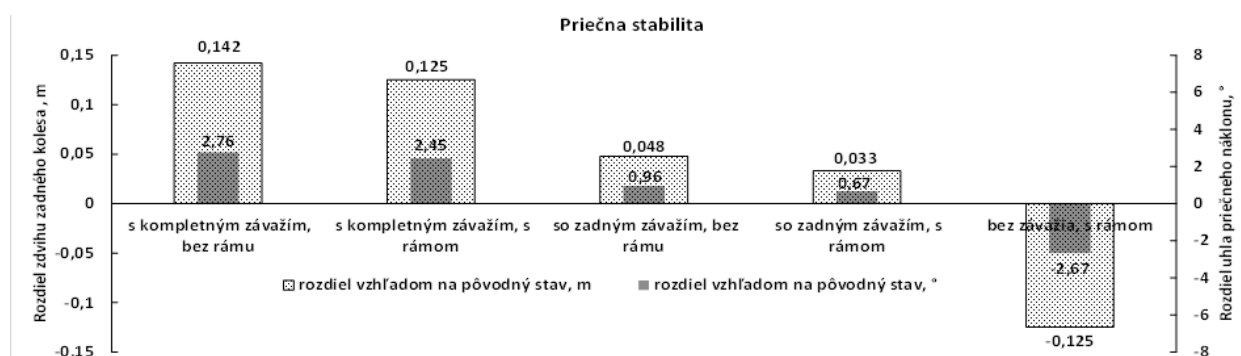
3 Výsledky a diskusia

Traktor bol odvážený, keď bol v horizontálnej polohe a tiež keď bola zdvihnutá predná náprava. Meraná bola pri všetkých šiestich modifikáciách hmotnosť zadnej nápravy, hmotnosť prednej nápravy, hmotnosť pravých kolies a ľavých kolies, keď bol traktor v horizontálnej polohe. Hmotnosť zadnej nápravy bola meraná pri náklone 7° a 10° (predná náprava bola zdvihnutá reťazovým kladkostrojom s horizontálnou a vertikálnou možnosťou pohybu s nosnosťou 2t). Vybočenie „Z“ ťažiska „T“ od strednej pozdĺžnej roviny bolo namerané vážením pravej a ľavej strany traktora. Vplyv prídavných kolesových závaží zadných a predných kolies na parametre stability, konkrétne vertikálne a horizontálne súradnice ťažiska a statický uhol priečnej stability, boli štatisticky analyzované pri konštantnom rozchode zadných kolies 1,4 m. Kompletne namerané a vypočítané parametre všetkých šiestich modifikácií traktora potrebné pre vzájomné grafické porovnanie priečnej a pozdĺžnej statickej stability sú uvedené v Tabuľke 2.

Tab. 2 Namerané údaje a hodnoty priečnej a pozdĺžnej stability (text Bolt-údaje pôvodný traktor)
Tab. 2 Measuring values and data of lateral and longitudinal (Text Bolt is the data of original tractor)

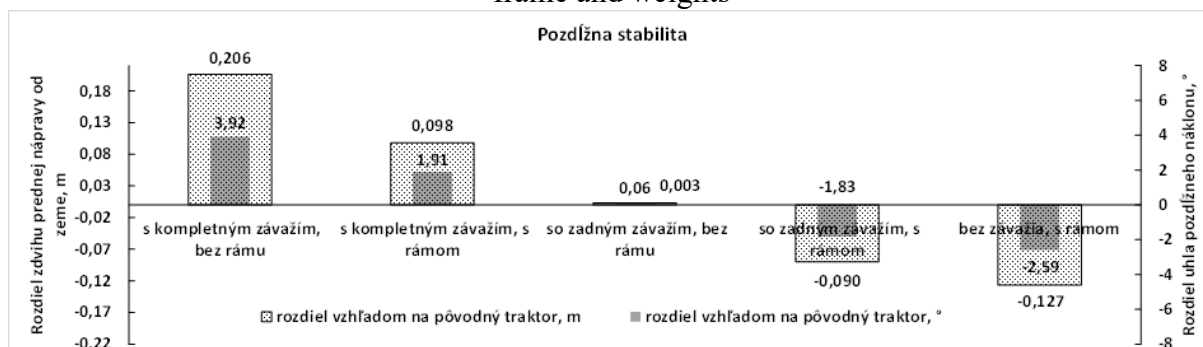
ochranný rám	Bez rámu		S rámom		Bez rámu	S rámom
	Bez kompl. závažia	S kompl. závažím	Bez kompl. závažia	S kompl. závažím	Bez predn. závažia	Bez predn. závažia
merané parametre/jednotky						
rozchod zadných kolies B , m	1,4					
šírka zadného kolesa β_k , m	0,4					

výška čapu prednej nápravy m_e , m	0,5					
statický polomer zadného kolesa r_2 na rovine, m	0,625					
statický polomer predného kolesa r_1 na rovine, m	0,348					
hmotnosť pravej strany traktora m_P , kg	1109,0	1216,5	1154,5	1262,5	1171,5	1216,5
hmotnosť ľavej strany traktora m_L , kg	1144,0	1253,5	1173,5	1283,0	1207,5	1237,5
hmotnosť prednej nápravy na rovine m_1 , kg	560,0	651,5	569,5	661,0	560,0	569,5
hmotnosť zadnej nápravy na rovine m_2 , kg	1693,0	1819,0	1758,5	1884,5	1819,0	1884,5
celková hmotnosť m_e , kg	2253,0	2470,5	2328,0	2545,5	2379,0	2454,0
vybočenie ťažiska z pozdĺžnej roviny z , m	0,01087	0,01034	0,00571	0,00563	0,01059	0,00599
rázvor na rovine L , m	2,035					
hmotnosť vodiča m_v , kg	90					
priemer zadného disku r_{2d} , m	0,6096					
hmotnosť zadnej nápravy pri sklone $m_2' 7^\circ$, kg	1 713	1 834	1789	1905	1 834	1905
rázvor pri sklone $L' 7^\circ$, m	2,054					
hmotnosť zadnej nápravy pri sklone $m_2'' 10^\circ$, kg	1 722,5	1 840	1799	1915	1 840	1915
rázvor pri sklone $10^\circ L''$, m	2,052					
výška ťažiska h_T , m	0,708	0,653	0,770	0,692	0,665	0,705
ťažisko od pr. nápravy d , m	1,529	1,498	1,537	1,507	1,556	1,563
ťažisko od zad. nápravy c , m	0,506	0,537	0,498	0,528	0,479	0,472
ťažisko od pozdĺ. roviny z , m	0,0109	0,0103	0,0057	0,0056	0,0106	0,0060
uhol priečneho náklonu α , °	45,01	47,77	42,34	45,97	47,46	45,67
zdvih zadného kolesa h_{zk} , m	1,40	1,54	1,28	1,45	1,53	1,43
uhol pozdĺžneho náklonu β , °	32,76	36,68	30,17	34,67	32,82	30,94
zdvih prednej nápravy h_{PN} , m	1,31	1,52	1,18	1,41	1,31	1,22



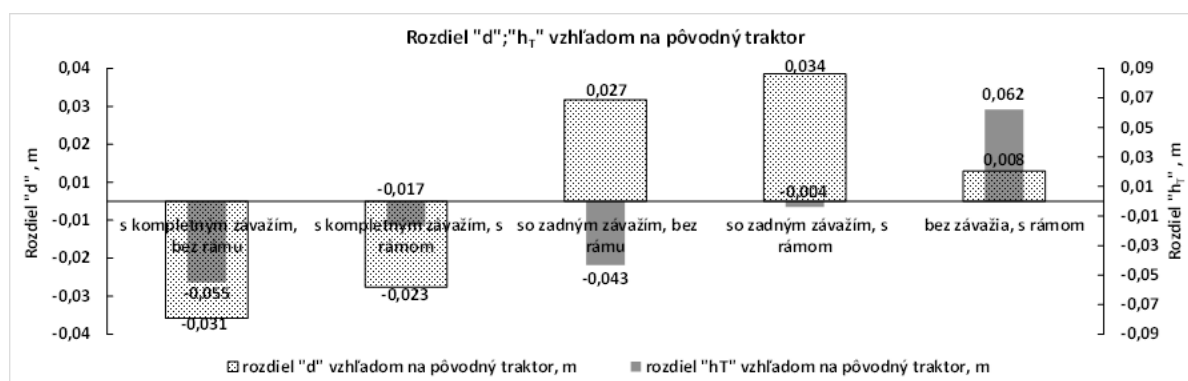
Obr. 10 Priečna stabilita piatich modifikácií traktora porovnaná s traktorom bez ochranného rámu a závaží

Fig. 10 Lateral stability of five tractor modifications compared to tractor without a protective frame and weights



Obr. 11 Pozdĺžna stabilita piatich modifikácií traktora porovnaná s traktorom bez ochranného rámu a závaží

Fig. 11 Longitudinal stability of five tractor modifications compared to tractor without a protective frame and weights



Obr. 12 Rozdiel v parametroch „d“ a „h_T“ porovnaných s parametrami traktora bez ochranného rámu a závaží

Fig. 12 Difference in parameters “d” and “h_T” compared to the parameters of the tractor without protective frame and weights

Dosiahnuté výsledky na Obr. 10 z hľadiska priečnej stability poukazujú na nasledovné rozdiely. Priečna stabilita pôvodného traktora sa v štyroch modifikáciách zlepšila, pričom najlepšiu priečnu stabilitu dosahuje traktor s kompletnými kolesovými závažiami a nasleduje modifikácia s kompletnými závažiami a s ochranným rámom a v jednej modifikácii iba s ochranným rámom sa zhoršila. Rozdiely vo veľkosti bočného náklonu pod stredom zadného kolesa dosahujú 14,2 cm, resp. 12,5 cm v aktuálnej modifikácii traktora.

Dosiahnuté výsledky na Obr. 11 z hľadiska pozdĺžnej stability ukazujú nasledovné rozdiely. Pozdĺžna stabilita pôvodného traktora je sa v troch modifikáciách zlepšila a v dvoch sa naopak zhoršila. Najlepšiu pozdĺžnu stabilitu dosahuje modifikácia bez ochranného rámu a s kompletnými závažiami, druhá v poradí je aktuálna modifikácia s kompletným príslušenstvom. Naopak horšiu pozdĺžnu stabilitu dosahuje modifikácia so zadným závažím a rámom a najhoršie dopadla modifikácia iba s ochranným rámom. Rozdiely vo veľkosti pozdĺžneho náklonu osi prednej nápravy uvedieme dve najlepšie modifikácie a tie dosahujú hodnoty 20,6 cm, resp. takmer 10 cm v aktuálnej modifikácii traktora.

Posledný Obr. 12 znázorňuje zhoršenie, resp. zlepšenie parametrov „d“ t.j. vzdialenosť ťažiska traktora od osi prednej nápravy a h_T výšky ťažiska od podložky. Opäť najlepšie obstála modifikácia s kompletným závažím bez ochranného rámu a nasleduje aktuálna modifikácia

s ochranným rámom a s kompletnými závažiami. Najhoršie vyšla modifikácia iba s ochranným rámom a o trochu lepšie modifikácia s ochranným rámom a so zadnými kolesovými závažiami.

4 Záver

V tomto príspevku bola porovnaná statická priečna a pozdĺžna stabilita traktora Zetor 25K pred a po montáži ochranného rámu, predných a zadných kolesových závaží. Na zlepšenie statickej bočnej a pozdĺžnej stability poľnohospodárskeho traktora boli použité dve úrovne záťaže kolies jednej na zadných a jednej na predných kolesách a na zlepšenie bezpečnosti bol použitý prispôbený ochranný rám z traktora Zetor 50 Super. Úlohou príspevku bolo zistiť vplyv predných, zadných kolesových závaží a trubkového ochranného rámu na priečnu a pozdĺžnu stabilitu traktora. Tento článok predstavuje porovnanie medzi priečnou statickou stabilitou traktora vypočítanou podľa normy ISO 16231-2 v šiestich modifikáciách traktora a taktiež porovnanie tých istých modifikácií traktora na pozdĺžnu statickú stabilitu traktora. Výsledky ukazujú rozdiel v zmene pozdĺžnej a priečnej stability v porovnaní so štandardným traktorom v pôvodnom prevedení bez kolesových závaží a bez ochranného rámu, pričom v prípade použitia ochranného rámu odporúčame použiť aj zadné kolesové závažia a na zlepšenie pozdĺžnej stability aj predné kolesové závažia.

5 Literatúra

AHMADI, Iman. 2013. Development of a tractor dynamic stability index calculator utilizing some tractor specifications. Turk. J. Agric. For. 37, 203–211.

ANDERT, Anton – MACHÁČEK František. 1958. Využití traktoru Zetor 25, Z-25A, Z-25K v zemědělství, Státní zemědělské nakladatelství Praha ve sbírce Mechanisace, 316s.

BIETRESATO, Marco – MAZZETTO, Fabricio. 2017. Proposal of an Advanced Facility to Perform Static and Dynamic Tests of Stability on Agricultural Machines. Chemical Engineering Transactions 58, 151–156.

FARGNOLI, Mario – LOMBARDI, Mara. 2020. Safety vision of agricultural tractors: An engineering perspective based on recent studies (2009–2019). Safety 2020, 6, 1.

FRANCESCHETTI, Bruno – LENAIN, Roland. – RONDELLI, Valda. 2014. Comparison between a rollover tractor dynamic model and actual lateral tests. Biosyst. Eng. 127, 79–91.

GORSHKOV, Yu. G. – STARUNOVA, I.N. – KALUGIN, Alexejevič – TROYANOVSKAYA, Irina. 2019. Investigation of the slope angle influence on the loading imbalance of the wheeled vehicle sides and the change in the center of gravity vector direction. J. Phys. Conf. Ser., 1177, 012005.

ISO 16231-2. 2015. Self-propelled agricultural machinery – Assessment of stability – Part 2: Determination of static stability and test procedures. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.

ISO 789-6. 1993. Poľnohospodárske traktory – Skúšobné postupy – Časť 6: Ťažisko. Medzinárodná organizácia pre normalizáciu, Ženeva, Švajčiarsko.

KOSIBA, Ján – VARGA, František – MOJŽIŠ, Miroslav – BUREŠ, Ľubomír 2012. The load characteristics of tractor Fendt 926 Vario for simulation on test device. *Acta Facultatis Technicae* 17, 63–72.

MAJDAN, Radoslav – ABRAHÁM, Rudolf – TKÁČ, Zdenko – DRLIČKA, Róbert – MATEJKOVÁ, Eva – KOLLÁROVÁ, Katarína – MAREČEK, Jan. 2021. Static Lateral Stability of Tractor with Rear Wheel Ballast Weights: Comparison of ISO 16231-2 with Experimental Data Regarding Tyre Deformation. In *Applied sciences* IF=2,474 Q2 JCR, Q1 SJR.

MAJDAN, Radoslav - TKÁČ, Zdenko - KOSIBA, Ján - ABRAHÁM, Rudolf - TULÍK, Juraj. *Teória a konštrukcia traktorov : teoretické, výpočtové riešenie kolesových traktorov pojazďové ústrojenstvo, motor, hydraulický systém a elektrické príslušenstvo*. 1. vyd. Nitra : Slovenská poľnohospodárska univerzita, 2016. 216 s.

RÉDL, Jozef - VÁLIKOVÁ, Veronika - ANTL, Ján. 2014. Design of active stability control system of agricultural off-road vehicles. In *Research in agricultural engineering*. ISSN 1212-9151, vol. 60, special iss., s. 77-84.

SÍLLELÍ, Hasan. 2007. Research on applying an anchor mechanism to orchard and vineyard tractors produced in Turkey. *Turk. J. Agric. For.* 31, 389–398.

VÁLIKOVÁ, Veronika - RÉDL, Jozef - ANTL, Ján. 2013. Analysis of accidents rate of agricultural off-road vehicles. In *Journal of Central European Agriculture online*. ISSN 1332-9049, vol. 14, no. 4, s. 1303-1316

Súhrn

Článok predstavuje porovnanie statickej priečnej a pozdĺžnej stability traktora Zetor 25K s motorom Zetor 5201 podľa normy ISO 16231-2 v šiestich rôznych modifikáciách. Rozloženia hmotnosti náprav traktora boli merané na výpočet vertikálnych a horizontálnych súradníc ťažiska. Výpočty boli zamerané na porovnanie stability v pôvodnom prevedení traktora bez kolesových závaží a ochranného rámu s ďalšími piatimi modifikáciami. Statická priečna stabilita bola vypočítaná podľa normy ISO a pozdĺžna stabilita podľa Majdana, 2016. Výsledky sme navzájom graficky porovnali a uviedli dosiahnuté rozdiely v zlepšení, resp. zhoršení stability traktora v stupňoch náklonu a v metroch zdvihu kolies od zemi. Okrem východiskovej modifikácie vyššie spomenutej boli zvolené nasledovné modifikácie: Prvá a druhá boli so zadnými kolesovými závažiami bez ochranného rámu a s rámom, tretia a štvrtá bola s kompletnými kolesovými závažiami s ochranným rámom a bez rámu. A poslednou piatou modifikáciou bola pôvodná modifikácia opatrená ochranným rámom. Dosiahnuté výsledky možno zhrnúť nasledovne. Čo sa týka priečnej stability najväčší pozitívny rozdiel predstavuje modifikácia bez ochranného rámu a s kompletnými kolesovými závažiami a to 2,76°, čo predstavuje rozdiel v zdvihu zadného kola oproti pôvodnej modifikácii 0,142 metra. Najväčší negatívny rozdiel bol zaznamenaný u modifikácie 5, čo predstavuje zhoršenie o 2,67°, čo predstavuje 0,125 metra. Z hľadiska pozdĺžnej stability vyšla najpozitívnejšie tá istá modifikácia ako v priečnej stabilite, čo predstavuje 3,92° vo výškovom vyjadrení je to 0,206 metra. V závere možno uviesť, že z hľadiska zachovania a aj zlepšenia stability traktora s ochranným rámom treba traktor do vybaviť závažiami najlepšie kolesovými, ktoré keď zlepšujú pozdĺžnu stabilitu zlepšujú aj priečnu stabilitu v oboch smeroch.

Kľúčové slová: priečna a pozdĺžna stabilita, prídavné kolesové závažia, ochranný rám

AUTOMATIZOVANÉ FRÉZOVANIE

AUTOMATED MILLING

MATEJ MARKO – LADISLAV TÓTH – PATRIK KÓSA

Abstract

The device will be intended for automated machining of various materials, primarily wood and different types of plastic, with a focus on precise milling of simple shapes. Mach3 software will be used to process the control code (G-code) and to operate the stepper motors, enabling communication between the computer and the CNC machine's control electronics. The main objective is to design and assemble a functional device capable of performing basic machining tasks based on a given program, with an emphasis on reliability, precision, and user-friendliness. The project will also include the design of the mechanical structure, electronics, and implementation of the necessary software integration.

Key words: CNC, Mach3, milling machine, Emgu CV, circle detection

1 Úvod

CNC (Computer Numerical Control) stroje predstavujú neoddeliteľnú súčasť modernej priemyselnej výroby. Umožňujú automatizované obrábanie materiálov s vysokou presnosťou, opakovateľnosťou a efektivitou.

Cieľom práce, je vyhotoviť komplexné CNC zariadenie, ktoré bude schopné podľa zadaného kódu vyvrtáť(vyfrézovať) požadované otvory do materiálu. Tieto otvory musia byť vyhotovené s čo najvyššou presnosťou. Plánované rozmery zariadenia sú: 1000x700mm.

Vo výrobnom priemysle ako ho poznáme dnes, sa CNC stroje používajú bežne. Oblasť použitia sú napr. pri sústruhoch, frézach a lisovacích strojoch. Najviac vyhovuje pre prevádzky vyrábajúce široký sortiment tvarovo jednoduchých súčiastok v kusovej alebo malosériovej výrobe. Zapojenie CNC strojov do procesu výroby zvýšilo geometrickú presnosť práce strojov, ale aj geometrické a rozmerové presnosti obrobkov a obrábaných plôch. A to nie sú jediné výhody týchto zariadení. CNC stroje výrazne zvýšili výkonnosť výroby, spoľahlivosť a hospodárnosť.

Požiadavky na skrátenie vývoja a dostupné ceny strojov vedú k uplatňovaniu konceptu modularity a stavebnicovosti v ich konštrukcii. Rôzne stroje zdieľajú napr. rovnakú platformu (lôžko, stojan), na ktorú sú usadzované potrebné moduly, ako vretenníky, superty, stoly a pod.. Tento prístup znižuje výrobné náklady a umožňuje konfigurovať stroj podľa požiadaviek odberateľa (IŽOL, 2022).

Budúcnosť CNC strojov smeruje k ešte väčšej automatizácii a prepojeniu s Priemyslom 4.0. Stroje sú čím ďalej múdrejšie, integrované s umelou inteligenciou a vzdialenými systémami riadenia. Tieto inovácie sľubujú nielen vyššiu efektivitu, ale aj lepšiu kontrolu nad celým výrobným procesom (ATP Journal, 2023).

Pri výrobe na CNC obrábacích strojoch sa využíva strojové učenie napr. na detekciu výkonových, akustických a iných signálov, ktoré sú porovnávané s indikátormi určujúcimi vyhovujúci alebo nevyhovujúci výsledok (IŽOL, 2022).

2 Materiál a metódy

Pri riešení tejto problematiky použijeme nasledovný hardvér:

- Konštrukcia CNC stroja
- Stolný PC s LPT portom
- Monitor
- Krokové motory NEMA 17/23
- Ovládače pre krokové motory DM542
- Riadiaca doska krokových motorov
- Vreteno 500 W 12 tis. ot./min.
- Full HD Web kamera Niceboy Stream PRO

Ďalej použijeme nižšie uvedený softvér:

- Mach3
- Fusion 360
- Visual Studio 2022
- Emgu CV

Konštrukcia stroja

Prvotne bolo treba navrhnuť konštrukciu pre samotný stroj. Konštrukcia musela byť dostatočne robustná a pevná, aby nedochádzalo ku krúteniu pri obrábaní. Kvôli rozmerom zariadenia, je konštrukcia rozdelená na dve hlavné časti: spodná a horná časť. To zabezpečuje jednoduchšiu manipuláciu pri prípadnom presune CNC stroja.



Obr. 1 Spodná časť rámu (stôl)
Fig. 1 Lower Part of Frame (table)

Pre jednoduchý pohyb po miestnosti je spodná časť rámu vybavená otočnými kolieskami, ktoré sa dajú zabrzdiť. A nakoľko je potrebný aj úložný priestor pre samotný stroj, ale aj pre jeho príslušenstvo, tak rám obsahuje jednu poličku presne na tieto účely.



Obr. 2 Horná časť rámu (pracovná plocha)
Fig. 2 Upper Part of Frame (Working area)

Na hornej časti rámu sú pripevnené všetky funkčné a pohyblivé časti CNC stroja. Táto časť disponuje plnohodnotným CNC strojom aj po oddelení od spodnej časti rámu. CNC stroj má spolu 3 osi (os X, os Y, os Z). Takže bolo potrebné zabezpečiť pohyb pre každú jednu os. Pohony týchto osí budeme riešiť v ďalších častiach.



Obr. 3 Hotová konštrukcia stroja
Fig. 3 Completed machine construction

Pohony jednotlivých osí:

Krokové motory – Pre každú os bol zvolený iný krokový motor kvôli rozdielnej záťaži.

Pre os X bol zvolený krokový motor NEMA23 3 N.M. 57HS11242A4D8.

Tab. 1 Technické parametre krokového motora 57HS11242A4D8
Tab. 1 Technical Parameters of the Stepper Motor 57HS11242A4D8

Uhol kroku	1,8°
Moment	3 Nm
Príruba	NEMA 23
Menovitý prúd	4,2 A
Počet fáz	2
Priemer hriadeľa	8 mm
Váha	1,7 kg

Pre os Y bol zvolený krokový motor NEMA23 1,8 N.M. 57HS7630A4D8.

Tab. 2 Technické parametre krokového motora 57HS7630A4D8
 Tab. 2 Technical Parameters of the Stepper Motor 57HS7630A4D8

Uhol kroku	1,8°
Moment	1,8 Nm
Príruba	NEMA 23
Menovitý prúd	3 A
Počet fáz	2
Priemer hriadeľa	8 mm
Váha	1,1 kg

Pre os Z bol zvolený krokový motor NEMA17 0,7 N.M. 17HS6401.

Tab. 3 Technické parametre krokového motora 17HS6401
 Tab. 3 Technical Parameters of the Stepper Motor 17HS6401

Uhol kroku	1,8°
Moment	0,7 Nm
Príruba	NEMA 17
Menovitý prúd	1,7 A
Počet fáz	2
Priemer hriadeľa	5 mm
Dĺžka hriadeľa	21 mm
Váha	0,475 kg

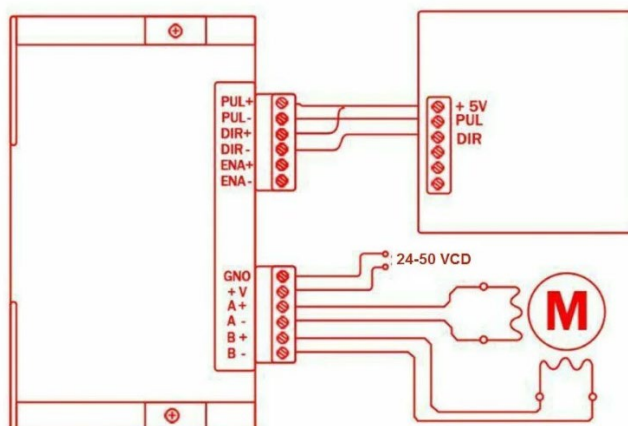
Ovládače pre krokové motory

Pre všetky krokové motory bol použitý jeden typ ovládač DM542 4,2A na zabezpečenie ich komunikácie s riadiacou doskou.

Tab. 4 Technické parametre ovládač DM542
 Tab. 4 Technical Parameters of the Driver DM542

Napájacie napätie	18 – 50 V DC
Maximálny výstupný prúd	3 A
Špičkový prúd	4,2 A
Nastavenie prúdu	Spínačmi
Nastavenie krokov	Spínačmi
Mikrokrokovanie	400 – 25600
Ovládacie napätie	5 – 24 V DC
Maximálna frekvencia na vstupe STEP	200 kHz

Krokové motory sú zapojené k driveru podľa schémy zapojenia uvedenej na Obr.4.



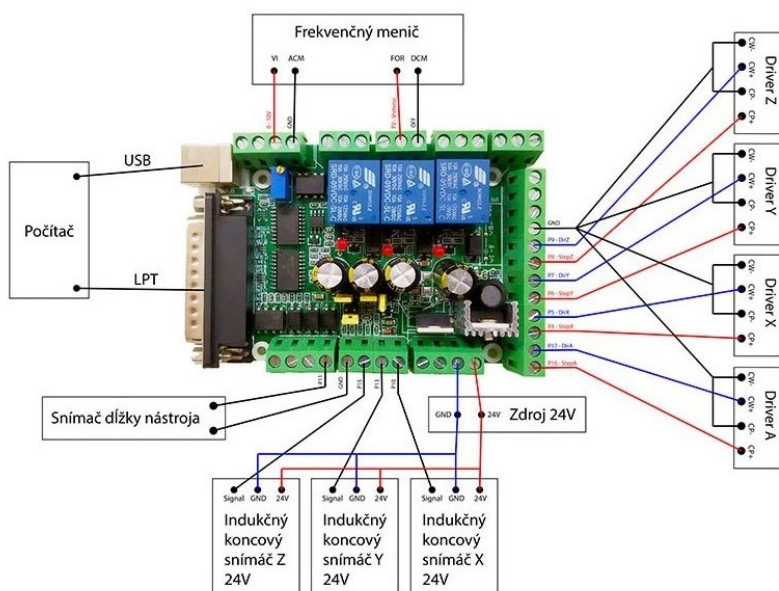
Obr. 4 Schéma zapojenia krokového motora k driveru
Fig. 4 Wiring Diagram of the Stepper Motor to the Driver

Riadiaca doska krokových motorov

Ako riadiaca doska, ktorá zabezpečuje komunikáciu medzi samotným strojom a PC bola zvolená Profi 4 253-LPTRDKM. Komunikácia s PC je zabezpečená LPT konektorom.

Tab. 5 Technické parametre riadiacej dosky 253-LPTRDKM
Tab. 5 Technical Parameters of the control board 253-LPTRDKM

Počet osí riadenia	3 – 4
Softvér	Mach3
Port pre komunikáciu s PC	LPT
Vstupné napájacie napätie	15 – 32 V DC
Vstupné napätie USB	5 V DC
Typ USB	B
Počet relé	3
Softvérové riadenie vretena	Áno
Snímač dĺžky nástroja	Áno



Obr. 5 Riadiaca doska krokových motorov
Fig. 5 Stepper Motor Control Board

Vretno 500W 12tis. Ot./min.

Ďalšou neoddeliteľnou súčasťou je vreteno, ktoré vykonáva rotačný pohyb nástroja. Použité vreteno nepoužíva na reguláciu otáčok frekvenčný menič riadiacej dosky, ale svoj vlastný. Spúšťanie vretena je zabezpečené pomocou relé z riadiacej dosky, čo nám umožňuje ovládať spustenie/zastavenie rotácie vretena cez softvér Mach3.

Tab. 6 Technické parametre vretena 500 W 12.000. ot./min.

Tab. 6 Technical Parameters of the Spindle 500 W 12,000 rpm.

Výkon	500 W
Max. otáčky	12 000 ot./min.
Rozsah otáčok	1000 – 12000 ot./min.
Napätie	110 – 230 V DC
Prúd	3,9 A
Hmotnosť	0,85 kg
Klieštiny	ER11



Obr. 6 Vretno 500 W 12tis. ot./min.

Fig. 6 Spindle 500 W 12tis. ot./min.

Full HD Web kamera 1080p

Na snímanie obrazu bola použitá kamera Niceboy Stream PRO. Táto kamera disponuje širokým uhlom snímania, až 90°. Pomocou tejto kamery budeme snímať obrobok a detegovať v ňom vyfrézované alebo vyvrtané otvory. Ďalšie užitočné parametre tejto kamery sú uvedené v Tab. 7.

Tab. 7 Technické parametre web kamery Niceboy Stream PRO

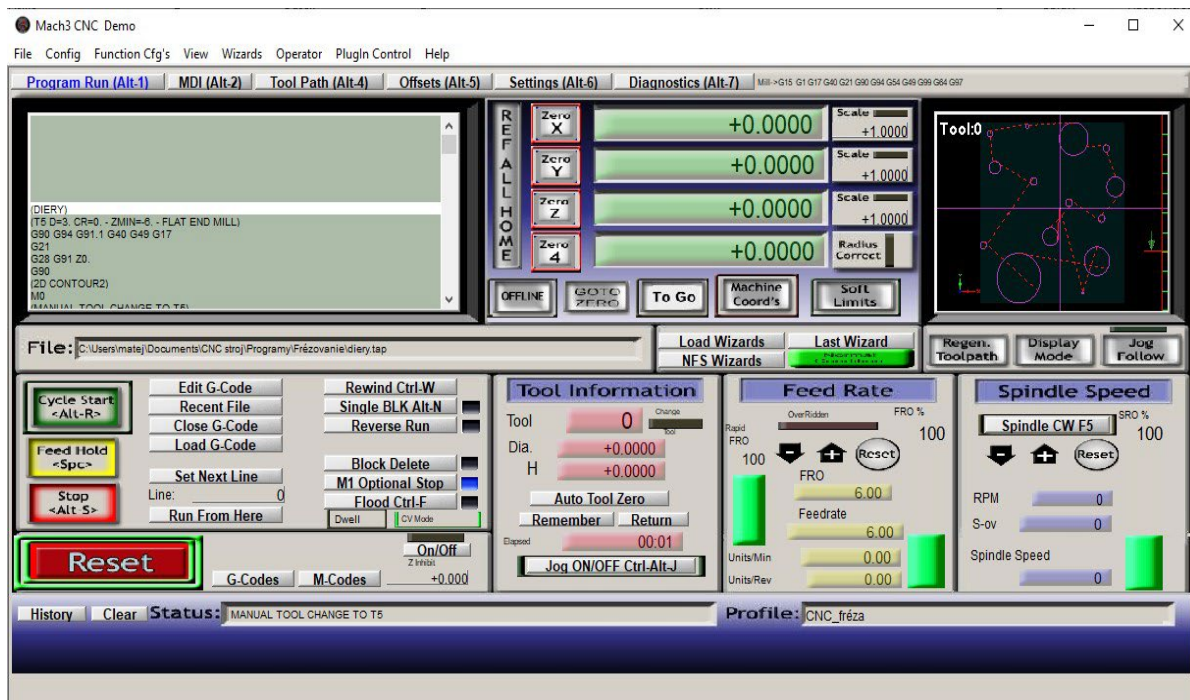
Tab. 7 Technical Parameters of the Webcam Niceboy Stream PRO

Max. rozlíšenie videa	Full HD (1920 x 1080 px)
Zorný uhol	90°
Clona	1,8
Autofocus	Áno
Stereo mikrofón	Áno
Korekcia pri slabom svetle	Áno
Váha	56 g

Mach3 – riadiaci softvér pre CNC stroje

Na zabezpečenie komunikácie medzi používateľom a hardvérom CNC stroja je použitý Mach3 softvér vyvinutý firmou ArtSoft. Tento softvér sa používa najmä v malých a domácich dielnach, hobby CNC systémoch a niektorých menších priemyselných aplikáciách. Vďaka jednoduchej inštalácii a intuitívnemu prostrediu (obr.7) je obľúbený medzi hobby používateľmi. Medzi hlavné vlastnosti tohto softvéru patria:

- Ovládanie až 6 osí
- Podpora G-kódu (ISO kódov)
- Grafické zobrazenie dráhy nástroja (toolpath)
- Prispôsobiteľné používateľské rozhranie
- Možnosť použitia makier (VBScript) pre automatizáciu
- Kompatibilita s paralelným portom (LPT), prípadne s externými riadiacimi kartami



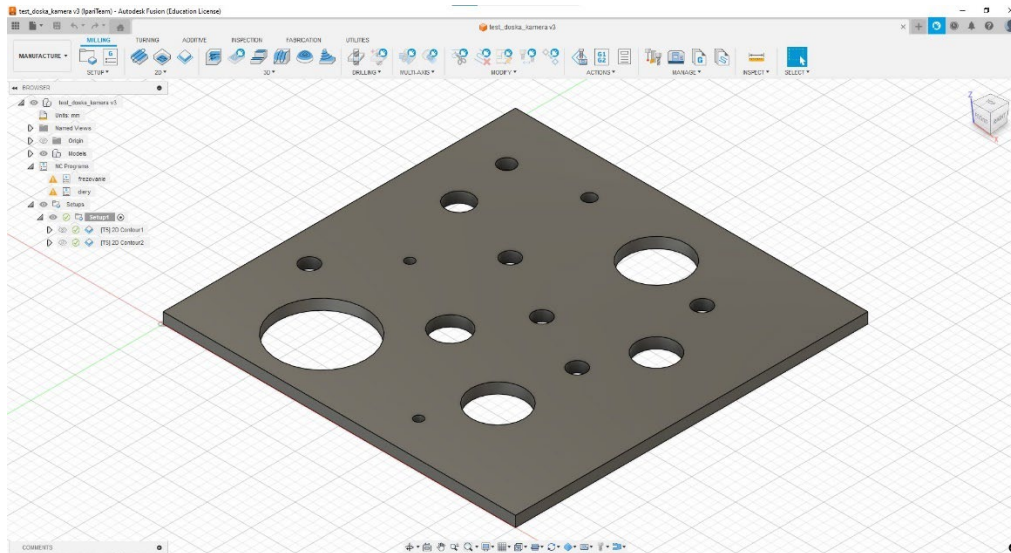
Obr. 7 Uživatelské rozhranie softvéru Mach3

Fig. 7 User Interface of the Mach3 Software

Fusion 360 – komplexný CAD/CAM/CAE softvér

Je výkonný softvér od spoločnosti Autodesk, ktorý kombinuje nástroje pre 3D modelovanie (CAD), výrobu (CAM), simulácie (CAE) a kolaboráciu v cloude – všetko v jednom prostredí. Je určený pre dizajnérov, inžinierov, vývojárov produktov a výrobcov. Hlavné funkcie tohto softvéru sú:

- Parametrické 3D modelovanie
- Modelovanie voľných tvarov (T-spline, povrchové a objemové)
- Súčiastky a zostavy
- CAM modul – generovanie dráh nástrojov pre CNC obrábanie (2.5D až 5-osé obrábanie)
- Výkresová dokumentácia (2D drawings)
- Export do formátov ako STEP, STL, IGES, DXF, G-code

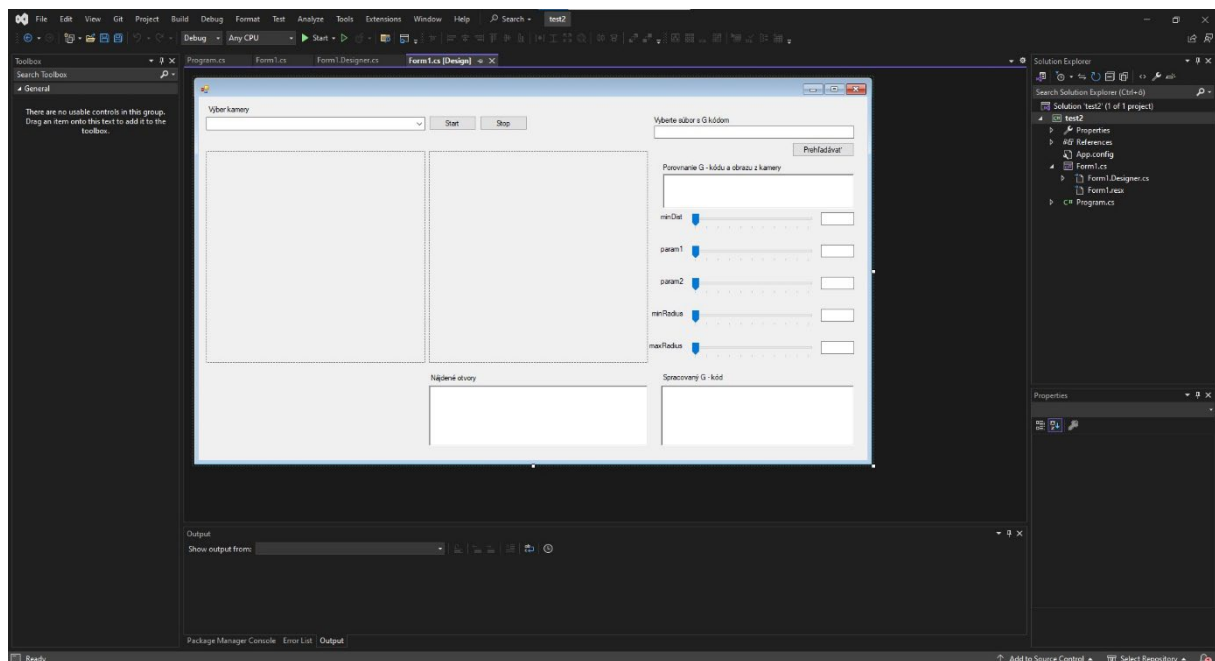


Obr. 8 Uživatelské rozhranie softvéru Fusion 360
Fig. 8 User Interface of the Fusion 360

Visual Studio Code

Je bezplatný, open-source editor kódu vyvinutý spoločnosťou Microsoft. Je dostupný pre Windows, macOS a Linux a patrí medzi najobľúbenejšie editory pre vývojárov po celom svete. Medzi vlastnosti, ktoré sa oplatí vyzdvihnúť patrí:

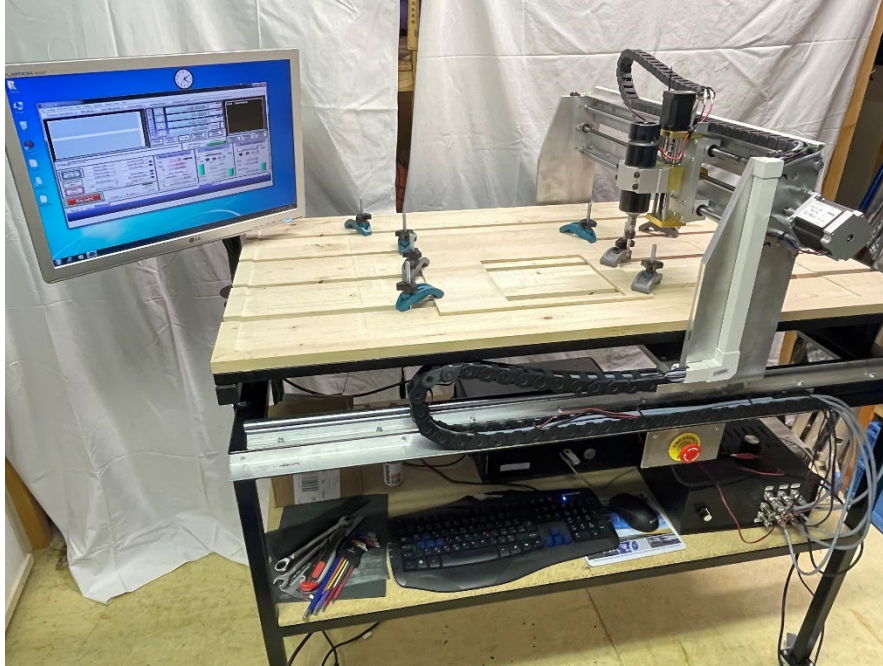
- Podpora mnohých programovacích jazykov: Python, C++, JavaScript, HTML/CSS, Java, PHP, Go, a mnoho ďalších
- Rozšírenia (extensions): Obrovská knižnica doplnkov (napr. debugger, Git, AI asistenti, syntax highlighting)
- Zvýrazňovanie syntaxe a inteligentné dopĺňanie kódu (IntelliSense)
- Ladiace nástroje (debugging)
- Git integrácia – commit, push, pull priamo z editora



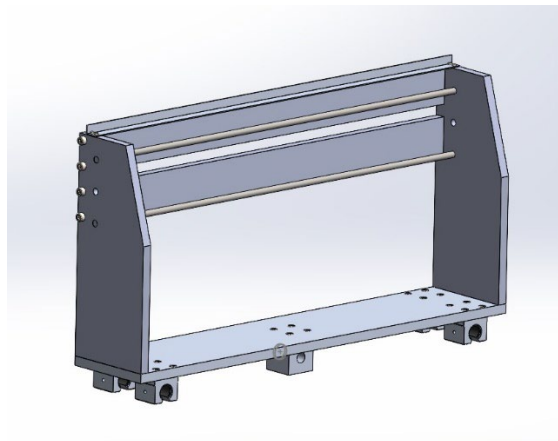
Obr. 9 Uživatelské rozhranie softvéru Visual Studio
Fig. 9 User Interface of the Visual Studio

3 Výsledky a diskusia

Pri návrhu konštrukcie bolo potrebné si spraviť rešerš už dostupných možností konštrukcií. Pri výbere jednotlivých typov a ich výhod a nevýhod bolo potrebné sa riadiť podľa parametrov výrobcov a praktických skúseností z projektov iných autorov. Nakoniec sme zvolili istý prienik medzi architektúrami a vznikla konštrukcia uvedená na obr. 10.



Obr. 10 Vyhotovený CNC stroj
Fig. 10 Completed CNC Machine



Obr. 11 Pohyblivá konzola
Fig. 11 Movable Console

Pohyb vretena je zabezpečovaný pohyblivou konzolou, ktorá je pevne spojená pod pracovnou plochou v tvare písmena U. Pohyb konzoly v osi X je realizovaný pomocou trapézovej závitovej tyče, ktorá je ukrytá pod pracovnou plochou. Pohyby v osiach Y a Z sa vykonávajú priamo na samotnej konzole, pričom aj v týchto prípadoch sa na prenos sily využívajú trapézové závitové tyče. Lineárne vedenia sú tvorené podopretými tyčami, ktoré sú pevne ukotvené ku konštrukcii – v prípade osi X k vrchnej časti rámu a v prípade osi Y k zadnej časti konzoly.

Pôvodne boli pre os Y použité len obyčajné vodiace tyče, ktoré boli uchytené do bočných stien konzoly. Tento spôsob uchytenia však spôsoboval nedostatočnú tuhosť vedenia najmä v strednej časti dráhy osi Y, čo viedlo k nadmerným odchýlkam pri výrobe vo všetkých troch smeroch. Uvedený problém bol odstránený použitím podopretých tyčí, ktoré výrazne zvýšili tuhosť osi Y a tým aj celkovú presnosť stroja.

Pri montáži pracovnej dosky sa zistilo, že osi konzoly nie sú rovnobežné s osami pracovnej plochy. Táto nepresnosť vznikla v dôsledku miernych odchýlok pri zvaraní konštrukcie. Riešenie spočívalo v uchytení drevených dosiek na vrch pracovnej plochy, po ktorých sa následne celá plocha zrovnala pomocou plošnej frézy. Takto bola pracovná plocha zarovnaná voči konzole a mohlo sa pristúpiť ku kalibrácii.

Riadenie stroja zabezpečuje softvér Mach3. Po zapojení všetkých motorov, priradení výstupov v prostredí Mach3 a vyrovnaní pracovnej plochy bolo potrebné vykonať kalibráciu jednotlivých osí. Kalibrácia prebieha priamo v softvéri, kde sa pre vybranú os zadá požadovaná vzdialenosť, ktorú má zariadenie vykonať. Po vykonaní pohybu sa odmeria reálna prejdená vzdialenosť, ktorá sa následne zapíše do príslušného poľa v softvéri. Systém následne upraví prevodový pomer automaticky. Tento proces sa opakuje pre každú os samostatne.

Na dosiahnutie vyššej presnosti bol v softvéri Fusion 360 vytvorený testovací výrobok s rozmermi 200×200 mm a hĺbkou 3 mm. Výroba testovacieho produktu vyžadovala zapojenie všetkých troch osí. Po vyfrézovaní sa vykonalo presné meranie pomocou posuvného meradla.

Tab. 8 Tabuľka nameraných hodnôt po prvej kalibrácii
Tab. 8 Table of measured values after the first calibration

Os	Odchýlka
X	+1,55 mm
Y	+1,35 mm
Z	+0,1 mm

Na základe nameraných hodnôt sa následne vykonala korekčná kalibrácia. Testovací výrobok sa následne vyhotovil opäť, za účelom porovnania a overenia výsledných odchýlok.



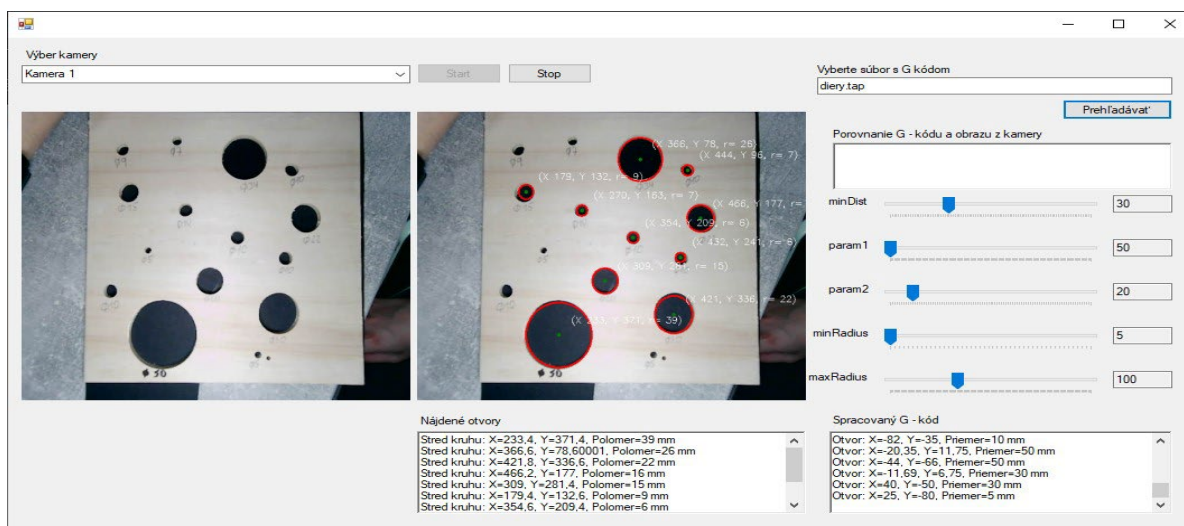
Obr. 12 Kalibrácia stroja
Fig. 12 Machine calibration

Tab. 9 Tabuľka nameraných hodnôt po druhej kalibrácii
Tab. 9 Table of measured values after the second calibration

Os	Odchýlka
X	-0,1 mm
Y	+0,05 mm
Z	-0,01 mm

Dosiahnuté hodnoty odchýlok boli vyhodnotené ako uspokojivé a postačujúce pre daný typ výroby. Do budúcnosti však zostáva cieľom zníženie odchýlky aj v osi X. Zvýšenie presnosti sa plánuje dosiahnuť použitím guľôčkovej závitovej tyče, ktorá v porovnaní s trapézovou závitovou tyčou ponúka vyššiu presnosť a menšiu vôľu pri prenose pohybu.

V budúcnosti bude CNC stroj obsahovať kameru na snímánie vyvrtaných resp. vyfrézovaných otvorov. Kamera bude snímáť výrobok a porovnávať ho so súradnicami, ktoré načíta aplikácia z G-kódu. Kamera bude tiež snímáť dĺžku nástroja a pri zlomení nástroja alebo odchýlke od výrobného plánu, sa stroj automaticky zastaví. Momentálne je aplikácia vo vývoji. Na detegovanie kruhov je použitá Houghova transformácia. Pomocou ktorej je možné detegovať kruhy na obraze, nájsť ich stredy a určiť ich polohu v rámci súradnicového systému. Funkcia Houghovej transformácie je dostupná v MS Visual studiu pomocou referencie na súbory knižnice na spracovanie obrazu Emgu CV.



Obr. 13 Aplikácia na detegovanie kruhov a porovnanie z G kódom
Fig. 13 Application for circle detection and comparison with G-code

4 Záver

Cieľom tejto práce bolo navrhnúť a zostaviť funkčné CNC zariadenie schopné automatizovaného obrábania materiálov, ako je drevo a rôzne druhy plastu. V rámci riešenia bol kladený dôraz na presné frézovanie jednoduchých tvarov a používateľskú jednoduchosť celého systému.

Na ovládanie krokových motorov a spracovanie riadiaceho kódu bol použitý softvér Mach3, ktorý zabezpečuje spoľahlivú komunikáciu medzi počítačom a riadiacou elektronikou zariadenia. Vďaka tomu je možné presne a opakovane vykonávať pohyby podľa zadaného programu.

Po mechanickom zhotovení a vykonaní kalibrácie osí bola overená presnosť pohybu v jednotlivých osiach. Zistené odchýlky boli: os X: -0,1 mm; os Y: +0,05 mm; os Z: -0,01 mm.

Tieto hodnoty sú v rámci tolerancie pre daný typ a účely zariadenia a potvrdzujú dostatočnú presnosť frézovania. Zariadenie preukázalo stabilnú prevádzku a schopnosť opakovane vykonávať úlohy bez nutnosti zásahu používateľa. Výsledky potvrdzujú praktickú využiteľnosť navrhnutého CNC zariadenia a úspešné splnenie stanovených cieľov.

5 Literatúra

ATP Journal. 2023. Vývoj CNC smeruje k integrácii s CAM a využívaniu inteligencie. Dostupné z: <https://www.atpjournals.sk/novetrendy/vyvoj-cnc-smeruje-k-integracii-s-cam-a-vyuzivaniu-inteligencie.html?page_id=39153>

DOBEŠ, Michal. *Zpracování obrazu a algoritmy v C#*. vyd. BEN – technická literatura, 2008. 143 s. ISBN 8073002336.

DOLEČEK, J., 2005. Moderní učebnice elektroniky - 2. díl - polovodičové prvky a elektroniky. 1. vyd. Praha : BEN Technická literatura, 2005. 208 s. ISBN 80-7300-161-6.

FROHN, N. et. al., Elektronika - polovodičové součástky a základní zapojení. 1. vyd. Praha : BEN Technická literatura, 2006. 480 s. ISBN 80-7300-123-3.

IŽOL, P. et. al. Trendy vývoja CNC obrábania a CAM systémov. Dostupné na: <<https://www.sjf.tuke.sk/transferinovaci/pages/archiv/transfer/46-2022/pdf/004-009.pdf>>

MAREŠ, Amadeo. *1001 tipů a triků pro C# 2010*. vyd. Computer Press, 2011. 416 s. ISBN 9788025132500.

OLEJÁR, Martin; CVIKLOVIČ, Vladimír; BRACHTÝR, Bohumír; JABLONICKÝ, Juraj. *Riadenie pohonov prostredníctvom PLC*. 1. vyd. Nitra : Slovenská poľnohospodárska univerzita, 2015. 193 s. ISBN 978-80-552-1409-2.

Súhrn

Cieľom tejto práce je vyhotovenie CNC zariadenia. Zariadenie bude určené na automatizované obrábanie rôznych materiálov, hlavne drevo a rôzne druhy plastu, pričom sa zameria najmä na presné frézovanie jednoduchých tvarov. Na spracovanie riadiaceho kódu (G-kódu) a ovládanie krokových motorov bude využitý softvér Mach3, ktorý umožňuje prepojenie medzi počítačom a riadiacou elektronikou CNC stroja. Hlavným cieľom je navrhnuť a zostaviť funkčné zariadenie, ktoré bude schopné vykonávať základné obrábacie úlohy podľa zadaného programu, s dôrazom na spoľahlivosť, presnosť a používateľskú jednoduchosť. Súčasťou práce bude aj návrh mechanickej konštrukcie, elektroniky a realizácia potrebného softvérového prepojenia.

Kľúčové slová: cnc, mach3, fréza, Emgu CV, detekcia kruhov

PodĎakovanie

„Článok bol realizovaný s finančným príspevkom projektu Implementácia virtualizácie fyzikálnych laboratórií pomocou riadiacich a automatizačných systémov v odbore strojárstvo Projekt KEGA č. 020SPU-4/2023

ELEKTROMECHANICKÉ POMOCNÉ ZARIADENIE NA MERANIE VZDIALENOSTÍ VO VIACERÝCH VRSTVÁCH S LÍNIOVÝM 2D LASEROVÝM SKENEROM

ELECTROMECHANICAL AUXILIARY DEVICE FOR MULTI-LAYER DISTANCE MEASUREMENT USING A LINE 2D LASER SCANNER

MATEJ MARKUSEK – LADISLAV TÓTH

Abstract

The aim of this work is to design, construct, calibrate, and evaluate the accuracy of distance measurements using an electromechanical device with the Hokuyo URG-04LX 2D laser scanner. The device measures distances across multiple layers and is controlled by an Arduino UNO microcontroller. Measurement results are displayed in a Windows application created in C#. A NEMA17 stepper motor, controlled by an A4988 driver, moves a mirror to direct the laser beams. An infrared pulse counter sets the initial position of mirror. The result is a functional application that graphically displays and saves the measured data, and a working prototype of the device. Through testing, we found that the measurement deviation is a maximum of 14.94 % in the range of distances 0 – 1500mm from the obstacle.

Key words: Hokuyo Scanner, C#, Arduino, Electromechanical device

1 Úvod

V posledných rokoch si technológia LiDAR (Light Detection and Ranging) získala obrovskú popularitu v rôznych aplikáciách ako je navigovanie, robotika, diaľkové bezkontaktné snímanie a pokročilých asistenčných systémoch riadenia ADAS (Advanced driving assistance systems). Zvýšená popularita týchto systémov je spôsobená atribútmi ako sú nízke požiadavky na náklady, nízka hmotnosť a malé rozmery. Skenovanie pomocou zariadení LiDAR je riadené vychyľovaním laserových lúčov, ktoré môžu byť voľným okom viditeľné alebo nie. Lasery sa rozdeľujú do tried 1 – 4, ktoré určujú úroveň žiarenia. Primárne zameranie technológie LiDAR je meranie vzdialeností a vytváranie máp okolitého prostredia. Myšlienku vyvinutia líniového skenera, schopného snímať prostredie vo viacerých vrstvách uskutočnila firma Pepperl+Fuchs. Vytvorené zariadenie série R2300, sníma prostredie v 100° horizontálnom uhle a 9° vertikálnom uhle. LiDAR od firmy Pepperl+Fuchs meria vzdialenosti pomocou technológie Time-of-Flight na rozdiel od výrobcu Hokuyo, ktorý vo svojom zariadení URG-04LX používa metódu porovnávania fáz.

V rámci nižšie uvedeného systému – elektromechanického pomocného zariadenia na meranie vzdialeností vo viacerých vrstvách s líniovým 2D laserovým skenerom, je uhol snímania prostredia vo vertikálnom uhle 20°. Podobné zariadenie od firmy Pepper+Fuchs má vertikálny uhol snímania o 11° menší. Vytvárané zariadenie je založené na vychyľovaní lúča 2D líniového skenera zrkadlom za pomoci krokového motora.

2 Materiál a metódy

Hokuyo URG-04LX je laserový senzor ktorý slúži na skenovanie okolia. Zdroj svetla je infračervený laser s vlnovou dĺžkou 785 nm, pričom sa jedná o laser bezpečnostnej triedy 1 t. j. bezpečný laser. Skener využíva amplitúdovo modulované laserové svetlo, celkovú vzdialenosť objektu si vyvodzuje meraním fázového posunu medzi vyžarovanou svetelnou vlnou a jej odrazom od objektu. V projekte slúži na skenovanie prostredia v obmedzenom horizontálnom uhle.

Tab. 1 Hlavné parametre zariadenia Hokuyo URG-04LX

Tab. 1 Main parameters of Hokuyo URG04-LX

Napájacie napätie	5 V DC
Rozmery (š x h x v)	50 x 50 x 70 mm
Hmotnosť	160 g
Detekcia objektu vo vzdialenosti	20 mm – 5600 mm
Rozlíšenie	0,36°

Arduino UNO je mikrokontrolérová doska, ktorá v pomocnom elektromechanickom zariadení pre laserový skener slúži na vyhodnocovanie údajov získaných z infračerveného snímača impulzov a následné riadenie krokového motora tak, aby sa vychýľovacie zrkadlo nachádzalo v momente snímania na správnej pozícii.

Tab. 2 Základné parametre mikrokontroléra Arduino UNO

Tab. 2 Basic parameters of Arduino UNO microcontroller

Vstupné napätie (odporúčané)	7 – 12 V
Vstupné napätie (hraničné hodnoty)	6 – 20 V
Počet digitálnych V/V vývodov	16
Počet analógových V/V vývodov	6
DC prúd pre každý vstupno-výstupný pin	20 mA
Flash pamäť	32 KB z toho 0,5 kB vyhradené pre bootloade
Rýchlosť hodinového signálu	16 MHz
Mikrokontrolér	ATmega328P

A4988 Motor Driver slúži na riadenie smeru a rýchlosti bipolárneho krokového motora NEMA 17. Je schopný dodať prúd až 2 A na každú cievku krokového motora. Medzi prednosti ovládača motorov A4988 patrí možnosť nastavenie celého, polovičného a štvrtinového, osminového a šestnásťtinového kroku.

IR počítač impulzov je integrovaný obvod LM393 s infračervenou diódou a fotodiódou. Funkcia zariadenia v projekte je na zistenie aktuálnej polohy hriadeľa s vychýľovacím zrkadlom.

Krokový motor NEMA17 je bipolárny typ krokového motora s uhlom kroku 1,8° a krútiacim momentom 0,55 Nm. V projekte slúži na otočenie hriadeľa na konkrétnu pozíciu podľa požiadaviek softvéru.

Napájací zdroj slúži na napájanie ovládača krokového motora a tým pádom aj motora samotného. Na vstup sa pripája 230 V striedavých, na výstupe dodáva stabilných 12 V jednosmerných, s maximálnym prúdovým odberom 1 A.

Arduino IDE je softvér na programovanie mikrokontroléra a umožňuje detailne nastaviť konkrétne funkcie pre každý vstup a výstup zariadenia. Je kompatibilný s operačnými systémami Windows, Linux a iOS, čo zaisťuje širokú dostupnosť a flexibilitu pri používaní na rôznych platformách.

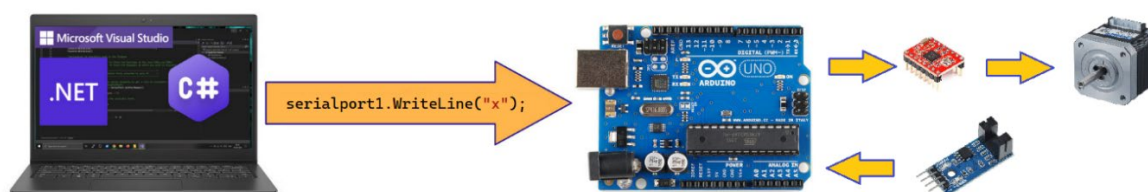
Visual Studio 2022 je integrované vývojové prostredie (IDE) od Microsoftu, určené pre vývoj aplikácií v rôznych programovacích jazykoch, ako sú C#, C++, Python, JavaScript a ďalšie. Ponúka množstvo nástrojov na vývoj, ladenie a nasadenie aplikácií, vrátane podpory pre webové, desktopové a mobilné aplikácie. V prípade návrhu aplikácie pre elektromechanické zariadenie na vychyľovanie zrkadla sme použili C# Windows Forms App s .NET frameworkom.

SolidWorks je profesionálny CAD softvér, ktorý sme v projekte použili na návrh 3D modelov, ktoré slúžia ako šasi zariadenia.

Počas riešenia stanovenej úlohy je potrebné vyriešiť viacero úloh. Medzi tieto úlohy patrí hlavne určenie mikrokontroléra, ktorý bude riadiť krokový motor NEMA17 a zbierať údaje z optického počítača impulzov. Taktiež je potrebné určiť spôsob komunikácie medzi stanoveným mikrokontrolérom a navrhnutou aplikáciou, v ktorej sú graficky sprístupnené výsledky merania v reálnom čase. Pri návrhu aplikácie je nutné zvážiť, či dané vývojové prostredie a programovací jazyk sú vhodné pre riešenie úlohy ako je riadenie elektromechanického zariadenia a zobrazovania výsledkov. Následne je možné pristúpiť k návrhu jednotlivých modelov, ktoré budú slúžiť ako úchyt pre každý komponent použitý v projekte. Na návrh použijeme softvér na návrh 3D modelov – SolidWorks. Následne vytvorené modely vytlačíme na 3D tlačiarňu a osadíme ich na správne miesto – podľa zostavného výkresu. Na vytvorenú šasi zariadenia upevníme vychyľovacie zrkadlo, ložiská, hriadeľ, elektrické komponenty a dosku plošných spojov, ktorá slúži ako prepojovací modul mikrokontroléra s počítačom impulzov a ovládačom krokového motora. Po úspešnom skompletizovaní elektromechanického zariadenia pristúpime k návrhu riadiaceho softvéru pre mikrokontrolér a následne k návrhu aplikácie vo vývojovom prostredí Visual Studio. Po skompletizovaní softvérovej stránky projektu pristúpime ku kalibrácii zariadenia. Medzi hlavné body kalibrácie patrí osadenie skenera Hokuyo URG-04LX na takú pozíciu, z ktorej je možné vykonávať meranie vo vertikálnom uhle $+10^\circ$ a -10° . Ďalším veľmi dôležitým krokom je nastavenie zrkadla tak, aby boli lúče laserového skenera vychýlené pod želaným uhlom. Následne určíme presnosť získavania údajov pod uhlami voči skeneru $+10^\circ$, $+5^\circ$, 0° , -5° , -10° . Po zostavení softvérovej a hardvérovej stránky zariadenia vykonáme potrebné merania.

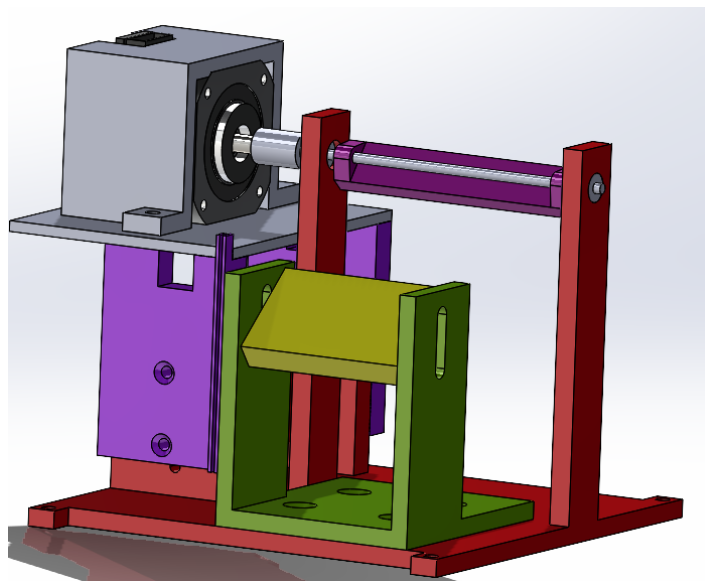
3 Výsledky a diskusia

V projekte bola zvolená platforma Arduino UNO, pretože poskytuje dostatočnú rýchlosť a spĺňa všetky hardvérové požiadavky, ktoré na mikrokontrolér projekt kladie. Riadenie zariadenia zabezpečuje mikrokontrolér, ktorý komunikuje cez sériovú linku RS232 s aplikáciou na zobrazovanie údajov, ktorej chod je nutný počas celej doby merania. Komunikácia prebieha pomocou vlastného protokolu a odosielaním znakov. Aplikácia vyhotovená v programovacom jazyku C# vo vývojovom prostredí Microsoft Visual Studio 2022 nielen riadi meranie, komunikáciu a zobrazuje nemerané dáta, ale aj ukladá dáta. Bloková schéma na obrázku č. 1 opisuje komunikáciu medzi jednotlivými modulmi vytvoreného systému.



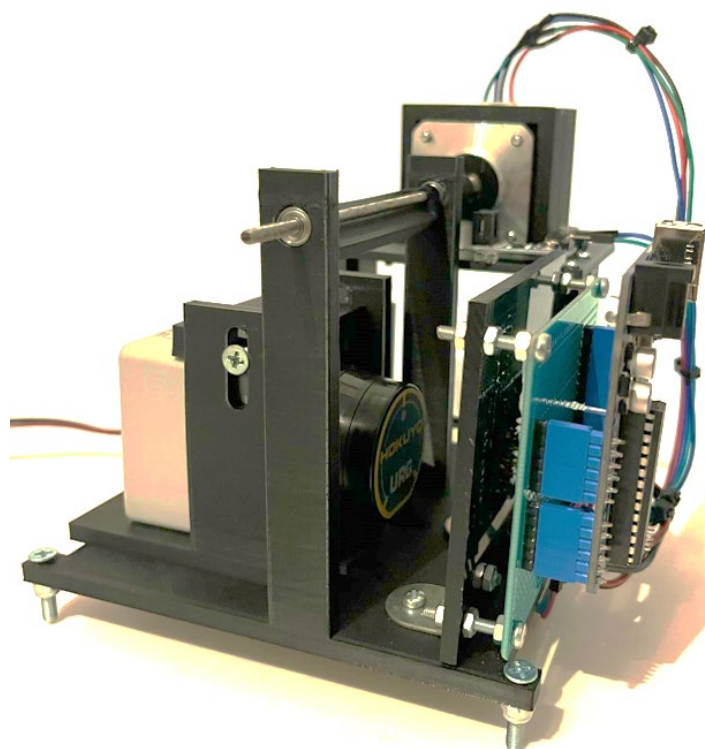
Obr. 1 Princíp komunikácie medzi jednotlivými komponentami
Fig. 1 Principle of communication between individual components

Pri návrhu držiakov sme použili CAD softvér SolidWorks, v ktorom sme si vytvorili 3D modely, ktoré sme vytlačili 3D tlačou a následne použili ako držiaky jednotlivých komponentov. Výsledok tlače je zobrazený na obrázku č. 2.



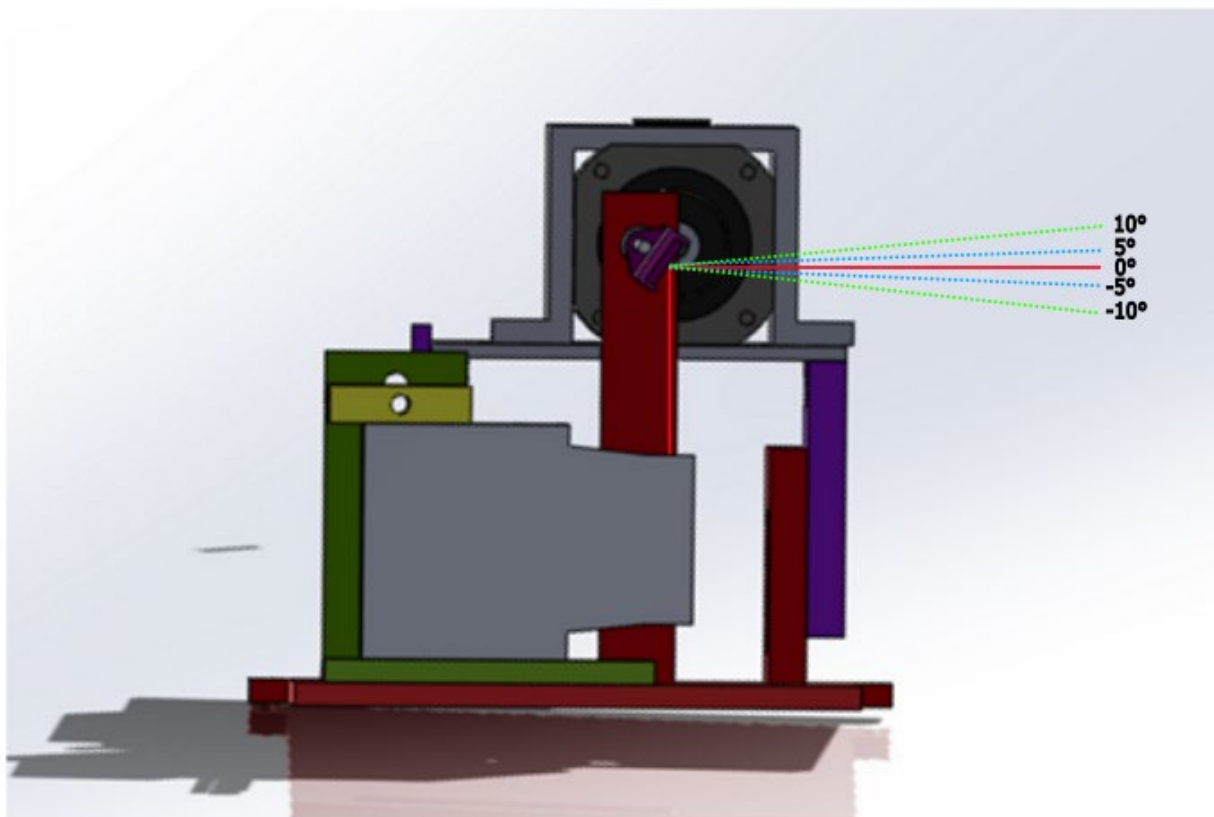
Obr. 2 Zostava 3D modelov na tlač
Fig. 2 Assembly of 3D models for print

Následne sme všetky komponenty osadili na príslušné miesto na šasi a vytvorili elektromechanickú časť zariadenia s vychýľovacím zrkadlom. Na obrázku č.3 je zobrazený výsledok práce s osadenými všetkými komponentami.



Obr. 3 Vytvorené zariadenie
Fig. 3 Created device

Po namontovaní jednotlivých komponentov na svoje pozície sme pristúpili ku kalibrácii zariadenia. Líniový skener Hokuyo URG-04LX musí byť umiestnený presne v osi vychýľovacieho zrkadla. Je to dôležité vykonať preto, aby vyžarované lúče dopadali na zrkadlo aj v krajných polohách natočenia zrkadla, pri $+10^\circ$ a -10° . Na nastavenie základnej pozície zrkadla slúži optický počítač impulzov. Na obrázku č. 4 je zobrazený princíp zbierania dát v rôznych vertikálnych polohách.



Obr. 4 Vizualizácia natočenia zrkadla pri meraní v priamej rovine
Fig. 4 Visualization of mirror rotation when measuring in a straight plane

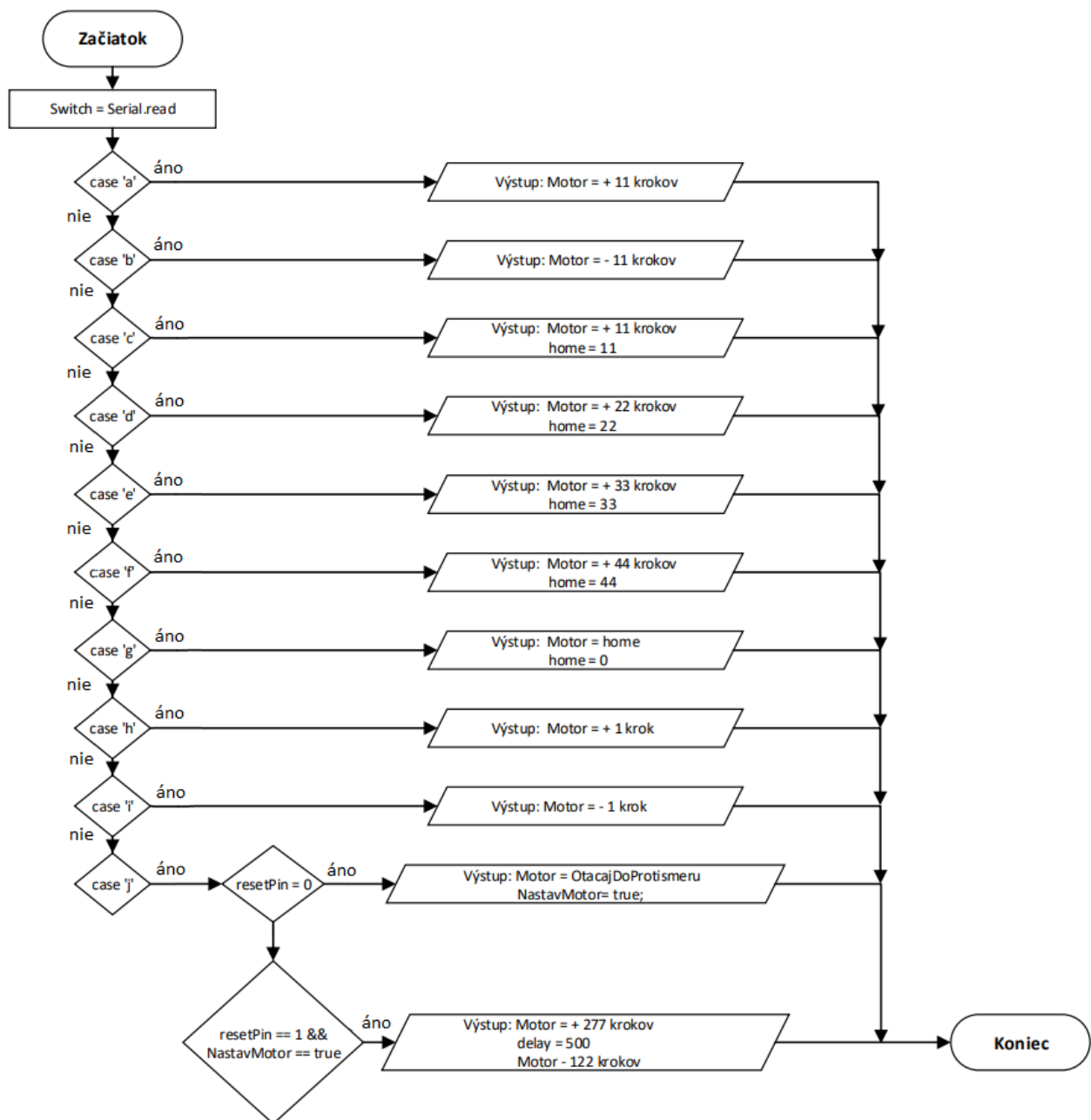
Pri snímaní prostredia pod uhlom iným ako 0° je potrebné zobrať do úvahy fakt, že nameraná vzdialenosť je v skutočnosti vyššia ako je skutočná (kolmá) vzdialenosť. Odchýlku eliminujeme vzťahom č. 1.

$$S_{\text{real}} = S_{\text{nam}} \cdot \cos(\varphi) \quad (1)$$

Kde: S_{real} – skutočná vzdialenosť, m
 S_{nam} – nameraná vzdialenosť, m
 Φ – uhol natočenia, $^\circ$

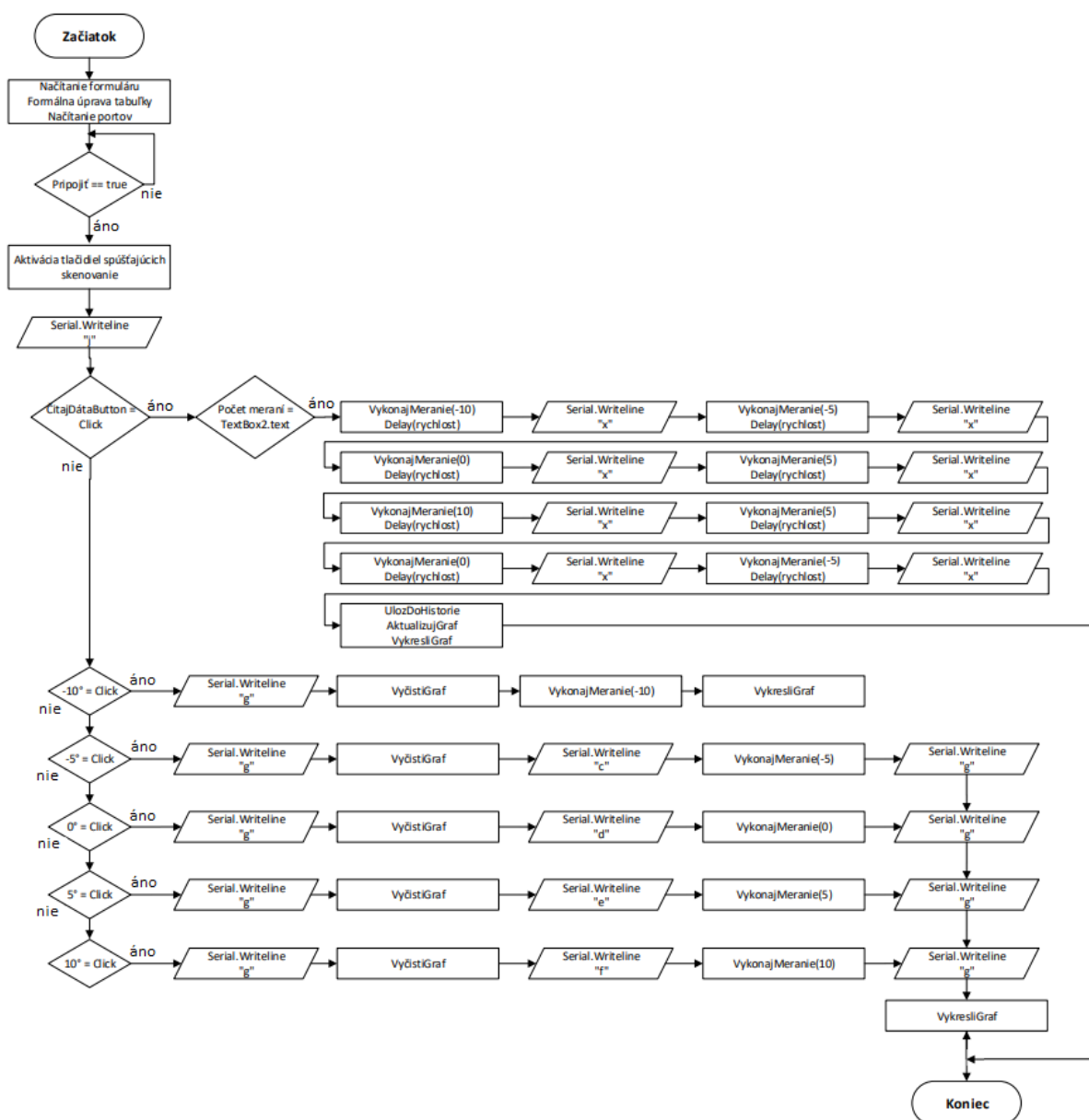
Where: S_{real} – real distance, m
 S_{nam} – measured distance, m
 Φ – uhol natočenia, $^\circ$

Na obrázku č. 5 je vyobrazený vývojový diagram popisujúci činnosť softvéru v zariadení Arduino UNO. Mikrokontrolér číta znaky zo sériovej linky a podľa príslušného znaku vykoná príslušný príkaz.



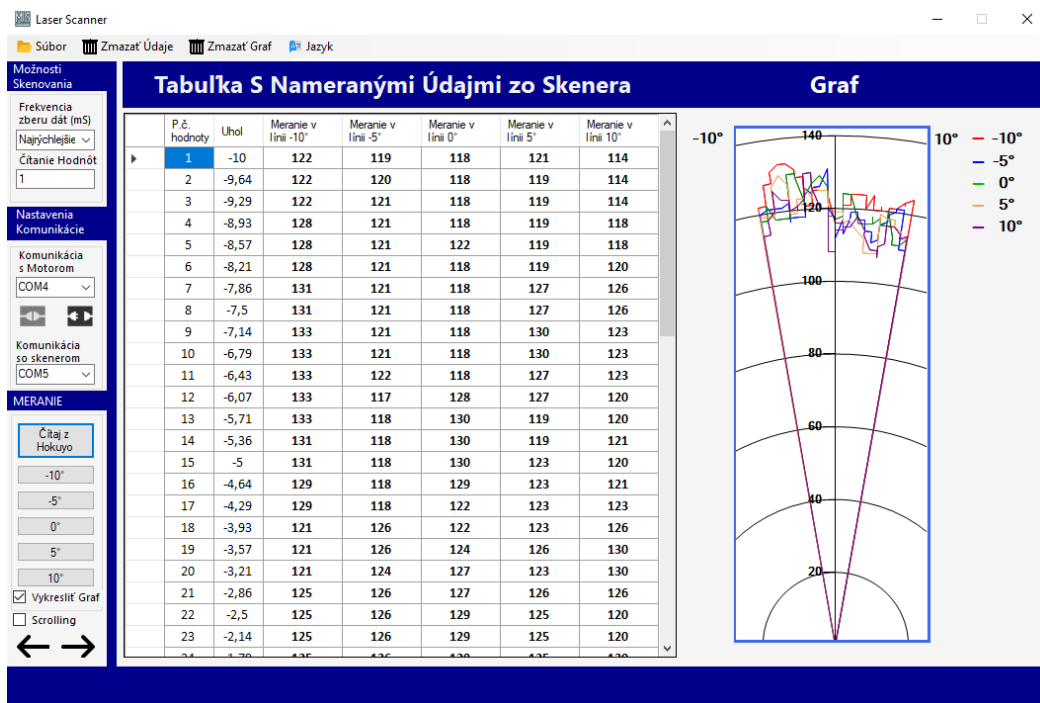
Obr. 5 Vývojový diagram popisujúci činnosť softvéru v mikrokontroléry
Fig. 5 Flowchart describing the operation of the software in microcontroller

Obrázok č.6 popisuje zjednodušený vývojový diagram, ktorý popisuje zber údajov zo skenera a následné grafické zobrazovanie dát. Softvér opísaný diagramom je vytvorený v programovacom jazyku C#.



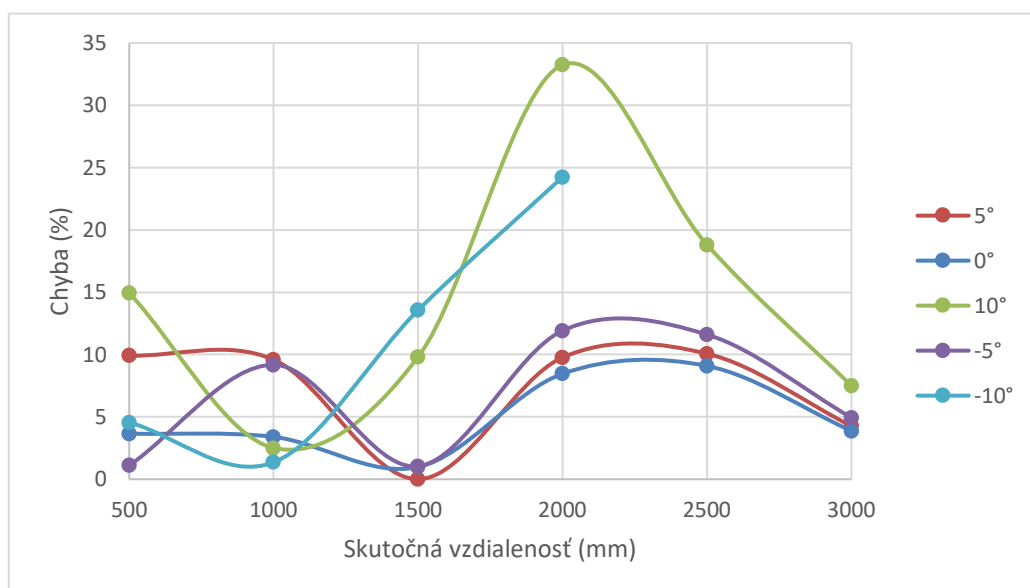
Obr. 6 Zjednodušený vývojový diagram popisujúci zber dát zo skenera
Fig. 6 Simplified flowchart describing data collection from a scanner

Výsledky celého merania sú zobrazené v aplikácii, ktorú zobrazuje obrázok č. 7. Pre spustenie merania je potrebné vybrať v sekcii „možnosti skenovania“ parameter frekvenciu zberu dát, následne parameter „čítanie hodnôt“, ktorý hovorí o tom, koľkokrát meranie prebehne. V prípade ak užívateľ nevyberie ani jednu možnosť, meranie prebehne podľa prednastavených hodnôt. Následne užívateľ vyberie komunikačný port pre mikrokontrolér a skener, pripojí sa k mikrokontroléru a spustí meranie kliknutím na ktorékoľvek tlačidlo v sekcii „MERANIE“. Aplikácia disponuje základnými funkciami ako je uloženie údajov merania a ich následné zobrazenie, s možnosťou prepínania medzi jednotlivými meraniami. Taktiež je možné pomocou aplikácie zmazať údaje, zmazať graf a prepínať medzi slovenským a anglickým variantom aplikácie.



Obr. 7 Aplikácia na zobrazovanie nameraných dát
Fig. 7 Application for measured data plotting

Po vytvorení všetkých hardvérových a softvérových náležitostí projektu sme pristúpili k meraniam, ktoré stanovujú presnosť elektromechanického systému. Z obrázku č. 8 vieme vyvodit' záver, že zariadenie s chybou maximálne 14,94 %, ktoré vychýľuje lúče laserového skenera je použiteľné na akúkoľvek vzdialenosť v meracom rozsahu. Pri snímaní prostredia pod uhlom +10° a -10° je presnosť zariadenia akceptovateľná do vzdialenosti 1500 mm od prekážky. Pri vyšších vzdialenostiach ako 1500 mm je chyba merania vyššia a niektoré hodnoty nie sú merateľné. Namerané odchýlky sú s najväčšou pravdepodobnosťou zapríčinené konštrukciou vychýľovacieho zrkadla.



Obr. 8 Výsledky meraní
Fig. 8 Measurement results

4 Záver

V práci bol úspešne navrhnutý, skonštruovaný a otestovaný elektromechanický systém na meranie vzdialeností vo viacerých vrstvách, využívajúci líniový 2D laserový skener Hokuyo URG-04LX. Zariadenie dosahuje vertikálny a horizontálny uhol skenovania 20°, čo predstavuje širší rozsah v porovnaní so zariadením rady R2300 od firmy Pepperl+Fuchs, ktoré pokrýva iba 9° vo vertikálnom smere. Tento rozdiel umožňuje detailnejšie snímanie v širšom zornom poli, čo je významný prínos oproti doterajším riešeniam.

Na základe vykonaných meraní, bola maximálna odchýlka zariadenia vo všetkých vrstvách vo vzdialenosti menšej ako 1500 mm nižšia ako 14,94 %. Možno skonštatovať, že pri využívaní vrstiev +5°, -5° a 0° je vhodné používať zariadenie v rozsahu 0 – 3000 mm. Pri líniiach +10° a -10° je odporúčané zariadenie využívať len do vzdialenosti 1500 mm od prekážky. Pri vyšších vzdialenostiach sú odchýlky vysoké a hodnoty vzdialeností v niektorých prípadoch nemerateľné, čo môže byť zapríčinené konštrukciou vychyľovacieho zrkadla.

Na záver možno konštatovať, že stanovený cieľ práce bol splnený. Bol vytvorený funkčný elektromechanický systém, ktorý umožňuje meranie vzdialeností vo viacerých vrstvách a poskytuje výsledky v rámci definovaného rozsahu s uvedenou presnosťou.

5 Literatúra

GOODIN Christopher et al. 2019. Predicting the Influence of Rain on LIDAR in ADAS [online]. © 2019 [cit. 2025-03-15]. Dostupné na: <https://www.mdpi.com/2079-9292/8/1/89>.

What is lidar?. 2024. In <https://oceanservice.noaa.gov> [online]. © 2024 [cit. 2025-03-18]. Dostupné na: <https://oceanservice.noaa.gov/facts/lidar.html>.

CANDACE Flores. 2018. Laser Classification Explanation [online]. © 2018 [cit. 2025-03-12]. Dostupné na: <https://ehs.lbl.gov/resource/laser-classification-explanation/>.

BONISTEEL Jamie et al. 2009. Experimental Advanced Airborne Research Lidar [online]. © 2009 [cit. 2025-03-12]. Dostupné na: <https://pubs.usgs.gov/of/2009/1078/pdf/OFR2009-1078.pdf>.

3-D LiDAR sensor. 2024. In www.pepperl-fuchs.com/ [online]. © 2024 [cit. 2024-07-20]. Dostupné na: <https://www.pepperl-fuchs.com/it-it/products-gp25581/125257#overview>.

SIMEGNEW Yihunie et al. 2022. A Survey on Deep-Learning-Based LiDAR 3D Object Detection for Autonomous Driving [online]. © 2022 [cit. 2025-07-15]. Dostupné na: https://www.researchgate.net/publication/366119301_A_Survey_on_Deep-Learning-Based_LiDAR_3D_Object_Detection_for_Autonomous_Driving.

Súhrn

Cieľom tejto práce je navrhnúť, zhotoviť, kalibrovať a vyhodnotiť presnosť merania vzdialeností pomocou elektromechanického zariadenia, ktoré využíva líniový 2D laserový skener Hokuyo URG-04LX na meranie vzdialeností vo viacerých vrstvách. Taktiež je cieľom práce vyhotoviť aplikáciu, v ktorej je možné zobrazovať výsledky merania. Elektromechanická časť projektu je ovládaná mikokontrolérom Arduino UNO a výsledky sú zobrazované v aplikácii pre systém Windows navrhnutú v programovacom jazyku C#. Zariadenie využíva na usmernenie lúčov laserového skenera zrkadlo vychyľované krokovým motorom NEMA17, ktorý je riadený ovládačom krokových motorov A4988. Na nastavenie počiatkovej hodnoty je použitý infračervený počítač impulzov. Výsledkom práce je funkčná aplikácia, ktorá graficky zobrazuje namerané údaje, ktoré je možné uložiť do súboru a následne prehliadať a funkčný prototyp zariadenia, ktorého odmerané parametre sú zobrazené v článku. Z týchto parametrov je možné prehlásiť, že zariadenie je vhodné používať do vzdialenosti 1500 mm od prekážky.

Kľúčové slová: Hokuyo skener, C#, Arduino, elektromechanické zariadenie

Pod'akovanie

„Článok bol realizovaný s finančným príspevkom projektu Implementácia virtualizácie fyzikálnych laboratórií pomocou riadiacich a automatizačných systémov v odbore strojárstvo Projekt KEGA č. 020SPU-4/2023

VPLYV TLAKU V PNEUMATIKÁCH NA VYBRANÉ PREVÁDZKOVÉ VLASTNOSTI STROJOVEJ SÚPRAVY PRI OBRÁBANÍ PÔDY

IMPACT OF TYRE INFLATION PRESSURE ON THE SELECTED MACHINERY OPERATION PARAMETERS DURING SOIL CULTIVATION

JAKUB MEŠINA¹ – JANA GALAMBOŠOVÁ²

Abstract

Presented work deals with the issue of the impact of tyre inflation pressure on the selected machinery operation parameters during soil cultivation. The parameters of the machine unit, obtained from the telematics system, were observed. The experiment consisted of performing three work operations with a combined cultivator. Each operation was carried out with a different tire pressure value on the front and rear axles: 1. the highest pressure value, 2. the medium pressure value, and 3. the lowest pressure value. The results show that by reducing the air pressure in the tires, fuel consumption decreased, wheel slippage was optimized, and unit costs of the machine were reduced.

Key words: tyre inflation, telematics, machinery units, costs

1 Úvod

Poľnohospodársky sektor sa v súčasnosti dostáva do štádia maximalizácie výkonov a intenzity, pri minimalizácii vstupov. Takéto ponímanie poľnohospodárskeho systému, môžeme jednoslovne charakterizovať ako efektívnosť. Efektívnosť sa zameriava aj na prevádzku strojov, resp. traktorov.

Prevádzka traktora pozostáva z rôznych nákladových položiek. Tieto položky môžeme, diferencovať na jednotkové náklady (napríklad náklady na jednotku plochy $\text{€} \cdot \text{ha}^{-1}$) a náklady ročné ($\text{€} \cdot \text{rok}^{-1}$). Vo všeobecnosti náklady pozostávajú z: nákladov na pohonné hmoty, údržby a opravy, mzdy, poistné a amortizácia a iné. Náklady na energie – spotrebované PHM na spotrebovanú naftu sa v priemere 55 – 70 % z celkových nákladov na prevádzku stroja. Tento podiel je získaný z meraní pri bežnej prevádzke strojov, v poľnohospodárskych podnikoch na Slovensku. Na spotrebu nafty má vplyv viacero faktorov. Súčasné technológie vývoja spaľovacích motorov, použitých v traktoroch, v kombinácii s plynulými prevodovkami umožňujú dosahovať ekonomický prevádzkový režim – rozmedzie otáčok 1400 až 1850 min^{-1} . Spotrebu PHM, dokážeme znižovať aj správnym nastavením, údržbou prevádzkou ostatných častí traktora (Dudák 2022).

Efektívna práca traktora závisí vo veľkej miere práve od správnej voľby pneumatík. Hlavným aspektom pri voľbe a maximalizácie správnej činnosti pneumatík, je spôsob ich kontaktu s podložkou (pri traktoroch najmä pôdou). Správnu veľkosť styčnej plochy pneumatiky s podložkou, dosahujeme napríklad obutím pneumatík s čo najväčším priemerom. Tie vytvárajú väčšiu styčnú plochu. Okrem správneho rozmeru dokážeme, styčnú plochu zvýšiť

¹ Bc. Jakub Mešina, SPU TF, Ústav poľnohospodárskej techniky, dopravy a bioenergetiky, xmesina@uniag.sk

² doc. Ing. Jana Galambošová, PhD., SPU TF, Ústav poľnohospodárskej techniky, dopravy a bioenergetiky, jana.galambosova@uniag.sk

aj znížením tlaku nahustenia. Tým sa zlepšujú ťahové účinky traktora. Pneumatiky s menším nahustením – menšou tuhosťou a tvrdosťou prispievajú k dosiahnutiu vyššieho pohodlia obsluhy. Minimálna styčná plocha v konečnom dôsledku znamená menšiu hodnotu ťahovej sily (Ďuďák, 2020). Na základe výskumov sa 20 – 55% dostupného výkonu traktora stráca v procese interakcie medzi pneumatikami a povrchom pôdy. Strata výkonu traktora má priamy vplyv na spotrebu paliva. Spotrebu paliva možno následne prepočítať aj na vyprodukované emisie. Samotné zaťaženie kolies, tlak v pneumatikách a preklz, sú najvýznamnejšie parametre ovplyvňujúce výkon stroja alebo strojovej súpravy. Taktiež bolo pozorované, že len zníženie tlaku v pneumatikách prinieslo zlepšenia súčiniteľa ťahu, účinnosti prenosu výkonu a spotreby paliva (Janulevičius - Damanauskas, 2015). Z hľadiska preklzu kolies sa pri obrábaní pôdy považuje za optimálne, ak preklz kolies traktora dosahuje hodnoty medzi 10 a 17 %. Hodnoty nad toto rozmedzie môže viesť k nadmernému presunu ornice, jej zhutneniu a iným poškodeniam pôdy, ako aj k výrazným stratám energie. Na zníženie preklzu kolies sa využívajú systémy kontroly trakcie, zvýšenie doťaženia traktora a implementácia nízkotlakých pneumatík, alebo správne nahustenia pneumatík ako takých. Jednou z najdôležitejších vlastností pneumatík ovplyvňujúcich takmer všetky oblasti je vertikálna tuhosť pneumatiky. Vertikálna tuhosť pneumatiky je určená kombináciou jej veľkosti, konštrukcie a tlaku v pneumatikách (Janulevičius – Damanauskas, 2022). Najviac namáhanou časťou, v rámci konštrukcie pneumatiky, je bočnica. Pri činnosti pneumatiky, dochádza k výrazným ohybom najmä pri nižšom nahustení. To si vyžaduje vyššie nároky na štruktúru, presnosť výroby a použité materiály. Pneumatiky s technológiou flexibilnej bočnice (označené ako VF alebo VHF) umožňujúcej činnosť pneumatiky pri nízkom tlaku, resp. pri väčšom zaťažení, v porovnaní s klasickými pneumatikami. Z výskumu vyplýva, že pneumatiky s označením VF dosahujú preukázateľne najnižší preklz. V porovnaní so štandardnými pneumatikami si pneumatiky VF udržali približne o 12 % vyššiu trakčnú schopnosť – to znamená, že bola dosiahnutá vyššia ťahová sila pri obutí týchto pneumatík (Pražan et al. 2016).

Okrem vplyvu na efektívnosť, resp. ekonomiku prevádzky na základe zníženia spotreby, existujú aj viaceré aspekty z hľadiska vplyvu nahustenia pneumatík na utuženie pôdy. Zvýšenie tlaku v pneumatikách poľnohospodárskych strojov znižuje styčnú plochu pneumatiky s pôdou- čo zvyšuje utuženie pôdy. Kukharets (2025) vo výsledkoch výskumu deklaruje, že do hĺbky 10 cm vykazujú pneumatiky, so šírkou odtlačku 0,92 m (s tlakom v pneumatikách 0,08 MPa) zníženie zhutňovania pôdy o 25,4 % v porovnaní s pneumatikami so šírkou odtlačku 0,872 m (s tlakom v pneumatikách 0,24 MPa). V hĺbke do 20 cm vykazovali pneumatiky so šírkou 0,92 m zníženie utuženia pôdy o 18,9 % v porovnaní s pneumatikami so šírkou 0,872 m. V hĺbke do 30 cm bol rozdiel len 5,1 %. Takéto utuženie, má negatívny dopad na fyzikálny a chemický stav pôdy, čo značí zhoršené podmienky pre pestované plodiny (Kukharets et al. 2025).

2 Materiál a metódy

Cieľom experimentu bolo zistiť a vyhodnotiť, pomocou telematického systému, vplyv nahustenia pneumatík na prevádzku strojovej súpravy na obrábanie pôdy. Samotný experiment bol riešený ako porovnanie troch operácií, na jednej parcele. Pre každú túto operáciu sme skúmali vplyv nahustenia (pri troch hodnotách) predných a zadných pneumatík, na spotrebu paliva, preklz kolies a vyhodnotenie nákladov na spotrebované PHM.

Použitá strojová súprava a jej parametre vo vzťahu k experimentu

Realizáciu experimentu sme vykonali pomocou strojovej súpravy na obrábanie pôdy, menovite traktor agregovaný s kombinovaným kultivátorom. Parametre použitého traktora sú uvedené v tabuľke 1, charakteristika pneumatík v tabuľke 2 a parametre kultivátora v tabuľke 3.

Tab. 1 Technické parametre JD 8R340
Tab. 1 Technical parameter of JD 8R340

Parameter	Špecifikácia
Typ motora	John Deere PVS s objemom 9,0 l
Motohodiny (mth)	1360
Menovitý výkon (kW/koní)	250 / 340
Menovité otáčky (ot.min ⁻¹)	2100
Typ prevodovky	AutoPower IVT (plynulá)
Hmotnosť (kg)	14600

Tab. 2 Označenie pneumatík a parametre
Tab. 2 Tyre specifications

Pneumatiky predné	Nízkotlaké (Very Flexion) Bridgestone 650/60 R34 NRO TL 165D/161E
Pneumatiky zadné	Nízkotlaké (Very Flexion) Bridgestone 710/75 R42 TL 181D/178E

Tab. 3 Parametre Topdown 400
Tab. 3 Technical parameters of Topdown 400

Parameter	Špecifikácia
Efektívna pracovná šírka (m)	3,75
Šírka (m)	4
Hmotnosť (kg)	6400
Počet diskov	30
Počet radličiek	14
Rozostup radličiek (cm)	27

Experimentálne meranie zahŕňalo 3 varianty, ktoré zodpovedali 3 rôznym tlakom v pneumatikách od najnižšieho po najvyšší (Tabuľka 4). Výber jednotlivých tlakov bol stanovený na základe konzultácie s importérom (osobná komunikácia). Pri stanovení sme zohľadnili hmotnosť a doťaženie traktora, hmotnosť náradia a charakter práce.

Tab. 4 Hodnoty nahustenia pneumatík pre merania
Tab. 4 Tyre pressure values for measurements

	1.meranie	2.meranie	3.meranie
Nahustenie pneumatík predná náprava (kPa)	220	140	110
Nahustenie pneumatík zadná náprava (kPa)	230	180	150

Experimentálna parcela a metodika experimentu



Obr. 1 Variabilita NDVI index (www.onesoil.com)
Fig. 1 Variability of NDVI index (www.onesoil.com)

Na realizáciu experimentu bola vybraná parcela s názvom „Kaniánské lúky“, ktorá sa nachádza v katastrálnom území obce Kaniánka v regióne Hornej Nitry. Z hľadiska pôdnej jednotky sa na parcele vyskytujú prevažne fluvizeme kultizemné. Výmera parcely je 30,46 hektárov, s prevýšením zhruba 20 metrov.

Na parcele sa v pestovateľskom roku 2024 nachádzala plodina sója, ktorá bola zasiata 10.5.2024 a zožatá 6.10.2024. Pri realizácii pokusu bola parcela pokrytá strniskom, na ktorom bolo viditeľné utuženie pôdy spôsobené prejazdmi techniky pri zbere.

Variabilitu parcely sme charakterizovali prostredníctvom online softvéru Onesoil, ktorý využíva satelitné snímkovanie v rámci DPZ. Na základe zistenej variability boli navrhnuté trasy pre realizáciu experimentu.

Experiment zahŕňal 4 prejazdy pre každý variant tlaku, pri pracovnej rýchlosti $7,5 \text{ km.h}^{-1}$ a hĺbke spracovania $0,18 \text{ m}$. Spracovaná plocha tak predstavovala $1,7 \text{ ha}$ pre každý variant.

Metodika vyhodnocovania skúmaných ukazovateľov a parametrov

Pomocou telematického softvéru od spoločnosti John Deere – JD Operations Centre, sme vo výsledkoch práce zaznamenávali, porovnávali a vyhodnocovali tieto parametre strojovej súpravy pre každý jeden tlak:

- Priemerná spotreba paliva na hektár (l.ha^{-1}).
- Priemerná spotreba paliva za hodinu (l.h^{-1}).
- Celkové množstvo paliva (l).
- Preklz kolies (%).

Štatistické spracovanie údajov

Vzhľadom na vysoký počet údajov exportovaných z telematického systému, boli pre účely štatistických analýz vytvorené výberové súbory. Test na normalitu bol realizovaný pomocou Shapiro – Wilcoxovho testu. Následne boli údaje štatisticky analyzované s cieľom potvrdiť zhodu resp. rozdiel v údajoch.

Všetky štatistické analýzy boli realizované v softvéri STATISTICA CZ (Statsoft).

Výpočet nákladov

Ukazovatele nákladov na spotrebované pohonné hmoty podľa **Ďudák** (2016):

Jednotkové náklady:

$$jN_{PHM} = Q \cdot C_E \cdot 1,1 \text{ (€} \cdot \text{ha}^{-1}\text{)} \quad (1)$$

kde:

Q - spotreba energie ($\text{l} \cdot \text{ha}^{-1}$),

C_E - cena energie ($\text{€} \cdot \text{l}^{-1}$),

1,1 – konštanta zohľadňujúca spotrebované oleje a mazacie tuky.

Ročné náklady:

$$rN_{PHM} = Q \cdot C_E \cdot rW \cdot 1,1 \text{ (€} \cdot \text{rok}^{-1}\text{)} \quad (2)$$

kde:

Q - spotreba energie ($\text{l} \cdot \text{ha}^{-1}$),

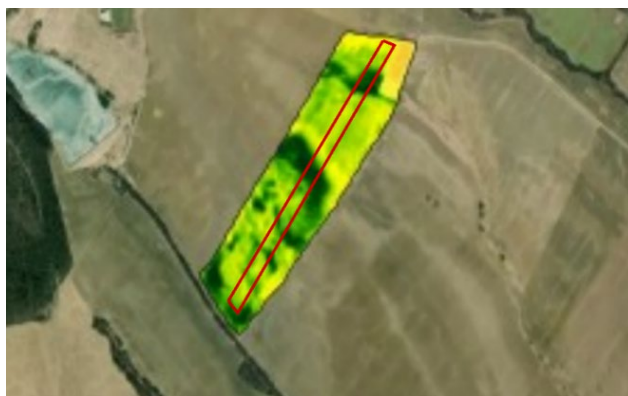
C_E - cena energie ($\text{€} \cdot \text{l}^{-1}$),

rW - ročná výkonnosť stroja (ha),

1,1 - konštanta zohľadňujúca spotrebované oleje a mazacie tuky.

3 Výsledky a diskusia

Vzhľadom na svahovitosť pozemku a detekovanú variabilitu boli všetky prejazdy boli realizované naprieč celou dĺžkou parcely (Obr 2). Z experimentu boli vylúčené úvrate a okraje poľa. Vlhkosť pôdy mala hodnotu 28 %.



Obr. 2 Miesto realizácie meraní
Fig. 2 Location of measurements

Vplyv nahustenia pneumatík na spotrebu PHM

Skúmali sme vplyv troch rôznych hodnôt tlaku v pneumatikách prednej (P) a zadnej (Z) nápravy traktora: najvyššia hodnota tlaku ($P = 220 \text{ kPa}$, $Z = 230 \text{ kPa}$), stredná hodnota tlaku ($P = 140 \text{ kPa}$, $Z = 180 \text{ kPa}$) a najnižšia ($P = 110 \text{ kPa}$, $Z = 150 \text{ kPa}$). Hodnoty sledovaných prevádzkových parametrov sú uvedené v tabuľke 5.

Tab. 5 Spotreba PHM pre jednotlivé tlaky v pneumatikách
Tab. 5 Fuel consumption for each tyre inflations

Parameter \ Tlak v pneumatikách	P = 220 kPa Z = 230 kPa	P = 140 kPa Z = 180 kPa	P = 110 kPa Z = 150 kPa
Spotreba paliva na jednotku plochy (l.ha^{-1})	14,6	14,1	13,8
Celkové množstvo spotrebovaného paliva pri operácii (l)	25,3	24,1	23,8
Spotreba paliva za hodinu (l.h^{-1})	41,6	40,3	39,8

(P = predné pneumatiky, Z= zadné pneumatiky)

Údaje v tabuľke 5, zhotovenej zo záznamov práce v telematickom softvéri, vykazujú trend znižovania spotreby paliva so znižujúcim sa tlakom v pneumatikách. Pri spotrebe paliva na hektár sme zaznamenali pokles z $14,6 \text{ l.ha}^{-1}$ pri najvyššom tlaku, na $13,8 \text{ l.ha}^{-1}$ pri najnižšom tlaku, čo predstavuje celkové zníženie o $0,8 \text{ l.ha}^{-1}$ (5,48%).

Podobný trend bol zaznamenaný pri celkovom množstve spotrebovaného paliva, ktoré sa rovnalo, pri najvyššom meranom tlaku, hodnote 25,3 litrov. Pri najnižšom tlaku pneumatík sa hodnota spotrebovaného paliva dostala na úroveň 23,8 l, čo zodpovedá 5,93% zníženiu.

Spotreba paliva za hodinu sa znížila zo $41,6 \text{ l.h}^{-1}$ na $40,3 \text{ l.h}^{-1}$, a pri najnižšom tlaku až na hodnotu $39,8 \text{ l.h}^{-1}$. Traktor s náradím tak dokázal vykonávať operáciu s úsporou paliva v hodnote 1,8 litra za hodinu, pri najnižšom tlaku.

Vplyv nahustenia pneumatík na preklz kolies

V súvislosti s pneumatikami a ich vplyvom na spotrebu, sme skúmali a vyhodnotili hodnoty preklzu kolies. Hodnoty vyjadrujú aký podiel z vybraného časového intervalu, bola zaznamenaná daná percentuálna miera preklzu.

Z Analyzátoru stroja sme exportovali údaje pre nízky a vysoký tlak v rámci preklzu kolies do tabuľky 6.

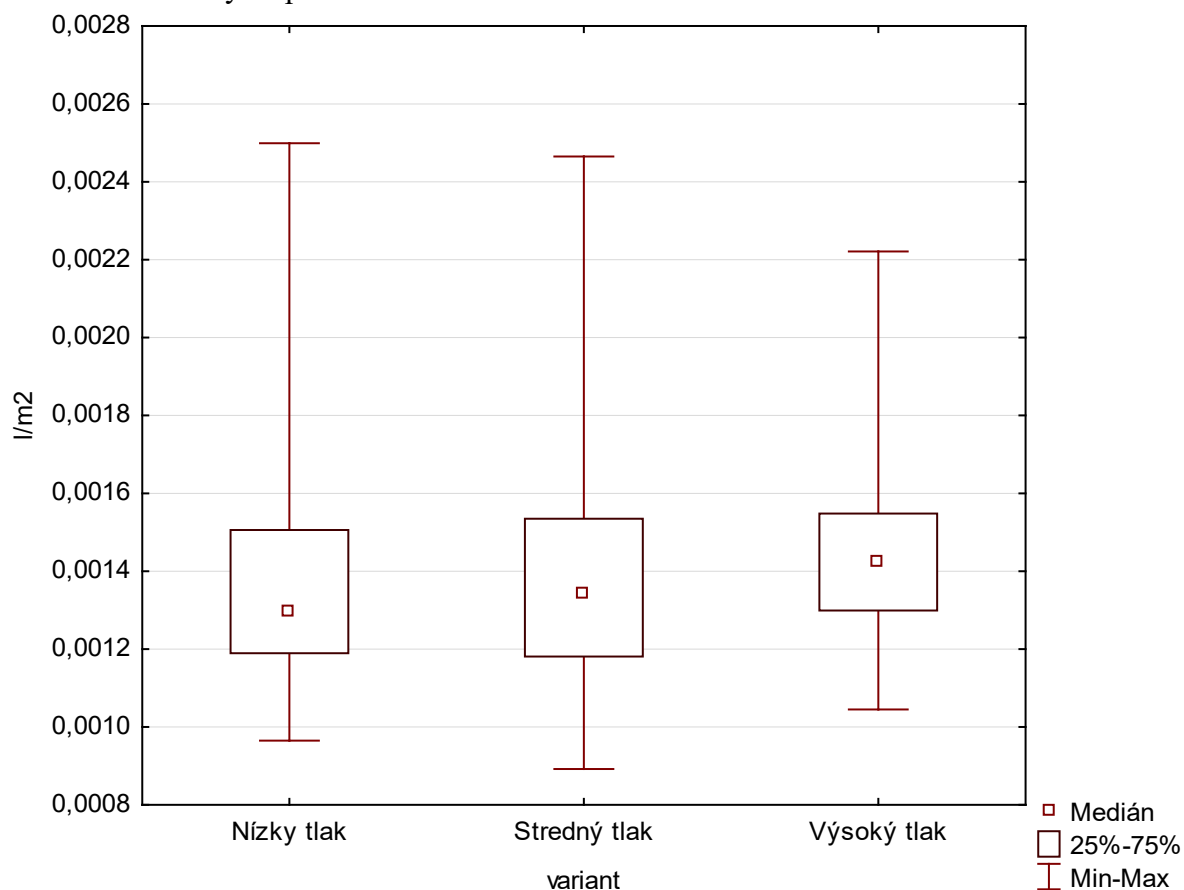
Tab. 6 Hodnoty preklzu kolies
Tab. 6 Values of wheel slip

Percento preklzu	Nízky tlak	Vysoký tlak
	Podiel z času	Podiel z času
2 %	0,07	0,04
4 %	0,15	0,14
6 %	0,30	0,33
8 %	0,16	0,14
10 %	0,07	0,02
12 %	0,02	0,01
14 %	0,01	0
16 %	0	0
Priemer preklzu	6,28 %	5,97 %

Na porovnanie preklzu sme zvolili hodnoty preklzu pre nízky a vysoký tlak. Priemerný preklz pre pneumatiky s nízkym tlakom (P = 110 kPa, Z = 150 kPa), počas trvania pracovnej operácie bol 6,28 %. Preklz pre pracovnú operáciu s nahustenými pneumatikami na vysoký tlak (P = 220 kPa, Z = 230 kPa), dosiahol priemernú hodnotu 5,97 %.

Štatistické zhodnotenie experimentu

Na základe Shapiro – Wilkoxovho testu nebola potvrdená normalita údajov výberových súborov dát. Preto sme súbory porovnávali neparametrickými testami Kruskal – Wallisovým testom a Mediánovým testom. Oba testy potvrdili významné rozdiely v analyzovaných súboroch. Hodnoty sú prezentované na obr. 3.



Obr. 3 Porovnanie hodnôt výberových súbor
Fig. 3 Box plot of the sample files

Vplyv nahustenia pneumatík na ekonomiku prevádzky súpravy

Pri vyhodnotení vplyvu nahustenia pneumatík, sme sa zamerali na určenie jednotkových a ročných nákladov, pri prevádzke strojov súpravy s jednotlivými experimentálnymi tlakmi.

Jednotkové náklady:

Tab. 7 Jednotkové náklady v závislosti od tlaku v pneumatikách
Tab. 7 Unit costs in relation to tyre pressure

	P = 220 kPa Z = 230 kPa	P = 140 kPa Z = 180 kPa	P = 110 kPa Z = 150 kPa
Q - spotreba energie (l.ha ⁻¹)	14,6	14,1	13,8
C _E - cena energie (€)	1,568		

Konštanta na oleje a mazivá	1,1		
jN_{PHM} (€·ha ⁻¹)	25,18208	24,31968	23,80224
Rozdiel (€·ha ⁻¹)		-0,8624	-1,37984

Pri znížení tlaku na nami zvolené minimálne hodnoty za definovanej ceny nafty, sme vypočítali úsporu 1,38 €·ha⁻¹, oproti vysokému tlaku v pneumatikách.

Ročné náklady:

Z telematiky vyplývalo, že podnik vykonal za sezónu 2024, sejbu na ploche 1900 hektárov. V prípade hypotetického nasadenia použitej súpravy na predsejbovú prípravu, sme mohli vyhodnotiť ročné náklady na pohonné hmoty pre jednotlivé tlaky nahustenia v tabuľke 8.

Tab. 8 Ročné náklady v závislosti od tlaku v pneumatikách

Tab. 8 Annual unit costs in relation to tyre pressure

	P = 220 kPa Z = 230 kPa	P = 140 kPa Z = 180 kPa	P = 110 kPa Z = 150 kPa
Q - spotreba energie (l·ha ⁻¹)	14,6	14,1	13,8
C _E - cena energie	1,568		
W - výkonnosť stroja (ha)	1900	1900	1900
Konštanta na oleje a mazivá	1,1		
rN_{PHM} (€·rok ⁻¹)	47 845,95	46 207,39	45 224,26
Úspora (€·rok ⁻¹)		-1638,56	-2621,70

Suma ročných nákladov na PHM, pri kalkulácii so spotrebou paliva pri vysokom tlaku v pneumatikách, sa vyšplhala na úroveň 47 845,95 € za rok. Pri strednej hodnote tlaku, bola úspora oproti prvej sume 1638,56 €. Pri kalkulácii so spotrebou paliva pri použití nízkeho tlaku v pneumatikách, sa ročné náklady na PHM strojovej súpravy dostali na úroveň 45 224,26 €, t.j. úspora 2621,70 € za rok.

Okrem ekonomického dopadu na prevádzku traktora, sa so zmenou nahustenia pneumatík dosahujú zmeny aj v iných oblastiach. Podhustením pneumatík, zvyšujeme styčnú plochu traktora s podložkou, čo lepšie rozkladá hmotnosť traktora – znižovanie utuženia pôdy ako uvádza Kukharets (2025). Nami použitý traktor s nízkotlakovými pneumatikami, dokáže násobne znižovať toto utuženie, keďže pneumatika je schopná pracovať pri nižšom tlaku alebo pri rovnakom tlaku, ale s väčšou záťažou ako klasické pneumatiky. Pri hodnotách preklzu kolies sme taktiež spozorovali rozdiely, ktoré značia dosiahnutie optimálnejších hodnôt pri nízkom tlaku pneumatík. To má vplyv aj na životnosť pneumatík.

Regulovanie tlaku v pneumatikách, vyžaduje minimálny technický zásah. V stručnosti sa len odpúšťa alebo dopúšťa vzduch v rozmedzí, ktoré určuje výrobca. Touto problematikou sa v súčasnosti zaoberajú viacerí výrobcovia traktorov, ktorí ponúkajú riešenie, vo forme integrovaného systému na reguláciu tlaku vzduchu v pneumatikách ako referuje v článku Ďuďák (2017).

4 Záver

Výsledky experimentu ukazujú preukázateľný vplyv nahustenia pneumatík, na prevádzku strojovej súpravy. Najdôležitejším výsledkom pre riadiaceho pracovníka, je vplyv nahustenia pneumatík na ekonomiku prevádzky stroja, kde sme jasne preukázali úsporu približne 2600 eur za rok, pri prevádzke vybranej strojovej súpravy. Dôležité je poznamenať, že vyčíslenie zohľadňuje len jednu súpravu a jednu operáciu (predsejbová príprava pôdy). V podniku sa vykonávajú početné operácie pri spracovaní pôdy. Na základe výsledku nášho experimentu môžeme hypoteticky predpokladať zvýšenie celkovej hodnoty úspor v rámci nákladov na PHM, ak by boli takéto pneumatiky s nízkym tlakom obuté aj pri ostatných súpravách.

Pri znižovaní nákladov nie je nutné investovať do špeciálnych typov pneumatík, ale stačí akékoľvek pneumatiky na traktore prevádzkovať na správnych hodnotách tlaku, čím sa tiež znižuje spotreba (0,5 l na hektár pri porovnaní vysokého a stredného tlaku) a samotné náklady na prevádzku stroja.

5 Literatúra

ĎUĎÁK, Jozef. *Riadenie prevádzky strojov*. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita, 2016. ISBN 978-80-552-1616-4.

ĎUĎÁK, Jozef. 2022. *Ekonomika a efektívnosť prevádzky traktora*. In: *Rolnícké noviny*. 93, 2. s. 12--13. ISSN 0231-6617.

ĎUĎÁK, Jozef. 2020. *Pneumatiky a prevádzka mobilných strojov*. In: *Rolnícké noviny*. 91, 46. s. 9--10. ISSN 0231-6617.

ĎUĎÁK, Jozef. 2017. *Správne hustenie pneumatík je pre prevádzku nevyhnutnosťou*. In: *Moderná mechanizácia v poľnohospodárstve*. 25, 12. s. 5--9. ISSN 1335-6178.

JANULEVIČIUS, Algirdas - DAMANAUSKAS, Vidas. 2022. *Prediction of tractor drive tire slippage under different inflation pressures*. In *Journal of Terramechanics*. Vol. 101, s. 23–31. ISSN 0022-4898.

JANULEVIČIUS, Algirdas; DAMANAUSKAS, Vidas. 2015. *How to select air pressures in the tires of MFWD tractor to minimize fuel consumption for the case of reasonable wheel slip*. In: *Energy*. 90(1), s. 691–700. ISSN 0360-5442.

KUKHARETS, S. - ZABRODSKYI, A. - SHELUDCHENKO, B. - JASINSKAS, A. - DOMEIKA, R. - ŠARAUSKIS, E. 2025. *Assessment of changes in soil contact stress depending on tractor tire parameters*. In: *Scientific Reports*. Vol. 15, no. 1. online. Dostupné na: <<https://www.nature.com/articles/s41598-024-84102-y>>

PRAŽAN, Radek; ČEDÍK, J; GERNDTOVÁ, I; NEŘOLD, J a PEXA, M., 2016. *Comparison of three sets of drive tractor tyres with respect to traction properties*. In: *Engineering for Rural Development*. Jelgava, 25.-27.05.2016, s. 516-521. online. Dostupné na: <https://www.vuzt.cz/publikace/2016/053.pdf>

StatSoft. (2013). Electronic statistics textbook. Tulsa, OK: StatSoft, Inc. Dostupné na <http://www.statsoft.com/textbook>

Súhrn

V predkladanej práci sa riešila problematika vplyvu nahustenia pneumatík na prevádzku strojovej súpravy pri obrábaní pôdy. Pozorované boli parametre strojovej súpravy, získané z telematického systému.

Experiment spočíval vo vyhotovení troch pracovných operácií s kombinovaným kultivátorom. Každá jedna operácia bola vykonaná s inou hodnotou tlaku v pneumatikách prednej a zadnej nápravy: 1. najvyššia hodnota tlaku ($P = 220 \text{ kPa}$, $Z = 230 \text{ kPa}$), 2. stredná hodnota tlaku ($P = 140 \text{ kPa}$, $Z = 180 \text{ kPa}$) a 3. najnižšia ($P = 110 \text{ kPa}$, $Z = 150 \text{ kPa}$).

Z výsledkov vyplýva, že pri znižovaní tlaku vzduchu v pneumatikách, sa znižovala spotreba PHM, dosiahol sa optimálnejší preklz kolies a dosiahlo sa zníženie nákladov na prevádzku strojovej súpravy.

Kľúčové slová: nahustenie pneumatík, telematika, náklady

Podakovanie patrí spoločnosti PD Horná Nitra Nedožery-Brezany, menovite pánovi Miroslavovi Mendelovi pri realizácii meraní a zapožičaní techniky a pánovi Ivanovi Kamenskému za odborný dohľad nad problematikou pneumatík.

AUTOMATICKÉ PRACIE ZARIADENIE

AUTOMATIC WASHING MACHINE

TOMÁŠ ORAVEC – ANNA HUDECOVÁ

Abstract

This study describes the automatic washer used at Jaguar Land Rover (JLR), its components and its function within the manufacturing process. It provides information on the use of this equipment in industrial applications where its simple principle and efficiency find wide application. To develop the device, a digital simulation of the mechanism was first created in Fluidsim, After that the necessary components were gathered to build the mechanism, which was tested in practice. The device is used for automatic washing of components such as automotive parts. It uses advanced cleaning technologies such as solution washing, which contributes to improved production quality and its efficiency. These systems reduce the need for manual labor and minimize errors. Further the study deals with the use of pneumatic and electro-pneumatic systems in the automation of production, at the same time highlighting technological advances of materials, mechanical designs and control systems. It also discusses the transition from relays to programmable logic automation, which increases the flexibility and efficiency of manufacturing processes.

Key words: automatic operation equipment, pneumatics, electropneumatics

1 Úvod

Cieľom tejto práce je priblíženie problematiky automatického pracieho zariadenia, ktoré je využívané v spoločnosti Jaguár Land Rover, popis komponentov a funkcie vo výrobnom procese.

Práca predstavuje informácie o využití automatického pracieho zariadenia v priemyselnom odvetí. Jeho jednoduchosť a princíp má široké uplatnenie v priemysle medzi technologickými spôsobmi výroby zariadení a prístrojov každodenného využitia.

Pneumatika a elektropneumatika sú využívané v mnohých odvetviach automatizácie výroby. Elektropneumatické systémy sú využívané vo výrobných, montážnych a baliacich systémoch na celom svete. Okrem toho technologický vývoj v materiáloch, konštrukcii a výrobných procesoch prispel k zvýšeniu kvality a rozmanitosti komponentov a tak rozšíreniu ich využitia.

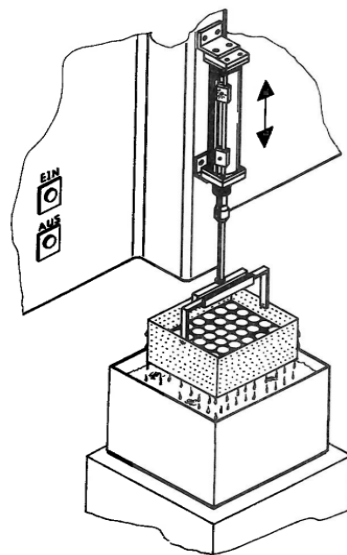
Meniace sa požiadavky a technologický rozvoj dramaticky zmenil vzhľad riadiacich systémov. V časti riadenia elektrického signálu je relé v mnohých oblastiach využitia stále viac nahrádzané programovateľným logickým automatom, ktorý umožňuje oveľa vyššiu flexibilitu. V časti napájania elektropneumatických systémov boli začlenené nové koncepcie, ktoré zodpovedajú požiadavkám priemyselnej praxe. Ide napríklad o nové koncepcie využívajúce ventilové terminály, zbernicové siete a proporcionálnu pneumatiku.

2 Materiál a metódy

Pred zostrojením daného zariadenia bolo potrebné zostrojiť digitálnu formu mechanizmu, ktorý som vypracoval v programe Fluidsim a po skúške funkčnosti nasledovalo zhromaždenie všetkých potrebných súčiastok k zostrojeniu mechanizmu.

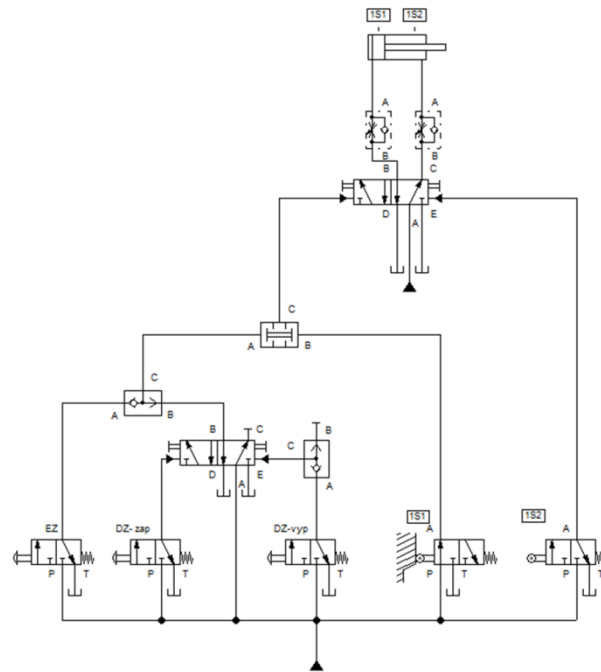
Po zostrojení a zapojení mechanizmu na špeciálny pult na výučbové účely bola opakovane uskutočnená skúška.

Zásobník sa má pohybovať v očístnom kúpeli. Zapnutie a vypnutie nepretržitého chodu je zabezpečené tlačidlom. Signál na vypnutie chodu spôsobí, že zásobník zostane stáť hore. Po vypnutí zariadenia hlavným vypínačom (pneumaticky alebo elektricky) zásobník nemôže spadnúť do očístného kúpeľa.



Obr. 1 Automatické pracie zariadenie

Fig. 1 Automatic washing machine



Obr. 2 Schéma zapojenia v programe Fluidsim
Fig. 2 Circuit diagram in Fluidsim

Pneumatický valec (Cylinder)

Tento dvojčinný pneumatický valec má dve polohy – vysunutie a zasunutie. Senzory detegujú koncové polohy valca.



Obr. 3 Pneumatické valce
Fig. 3 Pneumatic cylinders

Rozvádzače (Directional Control Valves)

4/2 rozvádzač (dvojpolohový, štvorkanálový) – riadi pohyb valca, ovládaný pneumaticky.

3/2 rozvádzače (trojpolohové, dvojkanálové) – slúžia na ovládanie hlavného rozvádzača a signalizáciu.

Tlakové ventily (Pressure Control Valves)

Redukčné ventily s pružinovou návratnou funkciou – zabezpečujú reguláciu tlaku v rôznych častiach systému.

Rýchlopínacie ventily (Quick Exhaust Valves)

Umožňujú rýchle odvzdušnenie valca, čím sa zrýchľuje jeho návrat do základnej polohy.

Logické ventily (Logic Valves)

Použité logické členy (napr. AND a OR) na kombináciu signálov a zabezpečenie správnej postupnosti ovládania.

Spínače a senzory (Switches and Sensors)

Snímač, senzor alebo receptor je fyzikálny systém, technické zariadenie alebo v širšom zmysle aj biologický orgán, reagujúci na zmeny meranej veličiny (fyzikálnej, chemickej) okamžite, alebo reaguje na časový priebeh zmeny.

Detegujú polohu piestu vo valci. Bezdotykové senzory polohy sú pasívne, binárne, analógové ktoré reagujú na kov. Princíp merania spočíva vo využití vírivých prúdov. Základnou časťou je oscilátor pracujúci trvalo s bežným kmitočtom 0,1 až 1 MHz. Cievkou snímača prechádza magnetický prúd a v jej okolí sa vytvára magnetické pole, v ktorom keď sa nachádza elektrický vodivý materiál, tak platí Faradayov zákon – naindukujú sa doňho vírivé prúdy.

Dotykové indukčné senzory sa vyznačujú svojou prednosťou v oblasti spoľahlivosti aj pri vysoko záťažových podmienkach. Majú výbornú kvalitu signálu a teplotnú stabilitu. (Beneš et al., 2012)

Prípojky (Ports)

P – privod stlačeného vzduchu

T – výfuk (odvod vzduchu)

A, B, C, D, E – jednotlivé porty rozvádzačov na riadenie prúdu vzduchu.

Časové relé sú prístroje určené na oneskorené spínanie určitých spotrebičov. Ako spotrebič si môžeme predstaviť svietidlo, ventilátor, stýkač a pod. Typickou aplikáciou použitia časového relé v domácnosti je oneskorený dobeh ventilátora na WC či v kúpeľni alebo oneskorené vypnutie svietidla na schodisku alebo pri vchode. Tak je zaistené automatické vypnutie pri stlačení tlačidla po uplynutí nastaveného času. Použitie časových relé je prakticky neobmedzené a rozmanité. Svoje využitie nachádzajú nielen na ovládanie ventilátorov či svietidiel, ale hlavne v priemyselných aplikáciách na riadenie rôznych technologických procesov, strojov a prístrojov.



Obr. 4 Časové relé

Fig. 4 Time relay

Napájanie a ovládanie - medzi najbežnejšie napájacie napätie patrí AC 230V, ďalej potom napätie AC/DC 24V, 48V, 12V v menšej miere potom DC 220V a DC 110V. V dnešnej dobe sa stále viac aj na tuzemskom trhu presadzujú prístroje s univerzálnym napájaním (multinaspájkovaním) napr. AC/DC 24-250V – to všetko iba na dvoch svorkách s možnosťou zámény polaroty pri DC napätí s automatickou detekciou. Ovládacie napätie býva vo väčšine

prípadoch zhodné s napájacím, tzn. Že sa na ovládací vstup privádza napätie potenciálu jednej z napájacích svoriek. Vo výnimočných prípadoch je možné relé ovládať iným napätím ako ovládacím.

Výstup - spínanie výstupnej záťaže zaisťuje spínacie relé. Parametre výstupného relé udávajú väčšinou aj technické parametre výstupu celého prístroja, ktoré bývajú u každého výrobcu týchto prístrojov rozdielne. Hlavné faktory, ktoré sa u výstupného relé sledujú sú: a) počet a typ výstupných kontaktov b) maximálny spínaný prúd, napätie – minimálne spínané DC napätie a prúd c) druh spínanej záťaže (odporová, induktívna ...) a elektrická/mechanická životnosť kontaktov V menšej miere sa používajú na výstupe bezkontaktné prvky (triaky, tranzistory s otvoreným kolektorom). Bezkontaktné výstupy sa javia ako účelné pri nadväzujúcich zariadeniach, ktoré využívajú TTL logiku. Zopnutie výstupu býva spravidla signalizované LED diódou umiestnenou na čelnom paneli. Zároveň býva indikovaná prítomnosť napájacieho napätia.

Pneumatické predom nastavené počítadlá - Počítadlo ráta množstvo pneumatických signálov smerom dolu od preurčenej hodnoty. Keď sa dosiahne nultá pozícia, počítadlo vydá pneumatický výstupný signál. Tento signál zotrvá v zapnutej polohe až kým sa počítadlo neresetuje. Určená hodnota sa nastavuje stlačením resetovacieho tlačidla (vedľa číselníku) a zároveň nahodením predurčenej hodnoty (pomocou jednotlivých tlačidiel). Táto hodnota sa zachová keď sa restuje počítanie. Porty sú identifikované číslami:

- P/1 = Prívodový port
- 2/A = Výstupný signál
- 10/Y = Resetovací signál
- 12/Z = Počítací signál



Obr.5 Pneumatické počítadlo
Fig. 5 Pneumatic counter

Tento systém je navrhnutý na automatické ovládanie dvojčinného valca s použitím pneumatických prvkov a logických signálov. Kombinácia rozvádzačov, ventilov a senzorov zabezpečuje bezpečný a efektívny pohyb valca podľa stanovených podmienok.

Použitie vzduchu ako pracovnej tekutiny v pneumatických mechanizmoch je podmienené jeho stlačením. Stlačenie vzduchu a jeho vytlačenie do vzdušníka zabezpečuje kompresor, na vstup ktorého sa privádza mechanická energia. Zo vzdušníka, kde sa vhodnou reguláciou udržiava stály tlak, spravidla 0,6 MPa, sa stlačený vzduch privádza k pneumatickým motorom. Tam dochádza k premene energie stlačeného vzduchu na energiu mechanickú pri požadovaných výstupných parametroch. Pri opise pneumatických mechanizmov a ich činnosti

vychádzame z ON 109000, ktorá stanovuje názvy najpoužívanejších prvkov a príslušenstva pneumatických mechanizmov. Znak prvkov určuje STN.

3 Výsledky a diskusia

Automatické pracie zariadenie využívané v spoločnosti JRL, je zariadenie určené na automatizované pranie rôznych komponentov, ako sú diely automobilov alebo iné technické vybavenie. Uplatňuje pokročilé technológie na efektívne čistenie a odstraňovanie nečistôt z dielov, vďaka čomu dochádza k zvýšeniu produktivity, úspory času a zlepšeniu kvality výroby.

Takéto systémy sa používajú na udržanie čistoty a kvality dielov pred ďalším spracovaním alebo montážou, pričom znižujú potrebu manuálnej práce a minimalizujú chyby. Automatické pracie zariadenia môžu zahŕňať rôzne čistiace metódy, ako je ultrazvukové čistenie, pranie v roztokoch, alebo kombinované systémy, ktoré umožňujú vysoko presné čistenie pri zachovaní efektivity.



Obr. 6 Zapojenie

Fig. 6 Involvement

Východisková (kľudová) poloha systému

V základnom stave je hlavný rozvádzač (4/2 ventil) v neutrálnej polohe, kde prívod vzduchu je blokovaný a valec je v zasunutej polohe. Ventily EZ, DZ-zap a DZ-vyp sú všetky vo svojej pôvodnej polohe s pružinovým návratom. Sensory 1S1 a 1S2 monitorujú polohu valca — 1S1 aktivuje signál pri zasunutej polohe, 1S2 pri vysunutej polohe.

Spustenie systému

Keď je aktivovaný ventil EZ, umožní sa prívod vzduchu do logických obvodov. V tejto fáze je systém pripravený na ovládanie pohybu valca.

Vysunutie valca (pohyb vpred)

Stlačením tlačidla alebo aktiváciou ventilu DZ-zap sa spustí prívod vzduchu do cievky hlavného rozvádzača (na port D). Tým sa hlavný rozvádzač prepne do polohy, kde vzduch prúdi na port A valca, čím sa valec vysunie. Po úplnom vysunutí valca aktivuje senzor 1S2, ktorý signalizuje dosiahnutie koncovkej polohy.

Zasunutie valca (pohyb späť)

Stlačením tlačidla alebo aktiváciou ventilu DZ-vyp sa spustí prívod vzduchu do druhej cievky hlavného rozvádzača (na port E). Hlavný rozvádzač sa prepne do opačnej polohy, čím sa vzduch privádza na port B valca, spôsobujúc jeho zasunutie. Po dosiahnutí koncovkej polohy aktivuje senzor 1S1, ktorý signalizuje návrat valca do základnej polohy.

Bezpečnostné prvky a funkcie

Rýchlopínacie ventily: Zabezpečujú rýchly odvod vzduchu z valca, čím zrýchľujú návrat do východiskovej polohy. Logické ventily: Používajú sa na správne vyhodnotenie signálov a zabráňujú nežiaducim stavom, ako je súčasné vysunutie a zasunutie valca.

Zhrnutie logiky činnosti:

- Ventil EZ aktivuje systém.
- DZ-zap spúšťa pohyb valca vpred.
- DZ-vyp spúšťa pohyb valca späť.
- Sensory 1S1 a 1S2 zabezpečujú koncové polohy valca a zabráňujú chybnému pohybu.

4 Záver

Automatické pracie zariadenie je vysoko prospešné a funkčné pri nánose farby a lakov na karosérie áut ako je Defender a Discovery automobilovej spoločnosti Jaguár Land Rover. Týmto spôsobom sa vyrábajú luxusné autá s veľmi dobrou výbavou a kvalitým prevedením. Tieto autá sú známe po celom svete a tvoria konkurenciu ako pre off- roudové vozidlá taktiež pre luxusné automobily iných značiek. Výsledky sa odrážajú na zisku, ktorý vďaka tomuto zariadeniu prináša pozitívnu spätnú väzbu a dôkaz že toto zariadenie je vysoko prínosné pri výrobe a určite má potenciál. Možno konštatovať, že toto zariadenie dokáže nájsť uplatnenie aj v iných odvetviach priemyslu ako potravinársky, hutnícky, zdravotnícky. Praxou a zostavovaním zariadenia som nadobudol nové informácie tak isto aj skúsenosti a určite v budúcnosti príde k vylepšeniu a modernizácii zariadenia. Automatické pracie zariadenie sa bude môcť spojiť s novými výrobnými procesmi, kde bude možno využiť princíp chodu a jeho ovládanie aj pri iných činnostiach.

5 Literatúra

BENEŠ et al. 2012. Automatizace a automatizační technika systémové pojetí automatizace 1. Brno : Computer Press. 244 s. ISBN 978-80-251-3628-7.

Indukčné snímače. 2025. In DailyAutomation.sk [online]. 2025 [cit. 2025-20-02]. Dostupné na: <<https://www.dailyautomation.sk/indukcne-snimace>>

MAIXNER, Ladislav et al. 2006 Mechatronika. Brno: Computer Press. 280. ISBN 8025112993.

Pneumatické rozvádzače. 2025. In DailyAutomation.sk [online]. 2025 [cit. 2025-20-02]. Dostupné na: <<https://www.dailyautomation.sk/pneumaticke-rozvadzace-rozdelenie-oznacovanie>>.

Pneumatické valce Parker. 2022. In Vika.sk [online]. 2025 [cit. 2025-20-02]. Dostupné na: <<https://www.vika.sk/produkt/pneumaticke-valce-parker/>>.

SKLENAŘOVA, Jana. 2025. ProfiElektrika.cz [online]. 2025 [cit. 2025-20-02]. Dostupné na: <<https://elektrika.cz/terminolog/eterminologitem.2005-06-26.6004744620>>.

Snímače a prevodníky. 2025 In Spojená škola Juraja Henischa.sk [online]. 2025 [cit. 2025-10-02]. Dostupné na:

<http://ssjh.sk/dokuwiki/doku.php/maturita/snimace_a_prevodniky>.

Ventil pneumatický 2/5. 2018. In Encyklopédia poznania.sk [online]. 2025 [cit. 2025-20-02]. Dostupné na: <<http://encyklopediapoznania.sk/clanok/7455/ventil-pneumaticky-5-2-cestny>>.

Súhrn

Táto práca popisuje automatické pracie zariadenie využívané v spoločnosti Jaguar Land Rover (JLR), jeho komponenty a funkciu v rámci výrobného procesu. Podáva informáciu o využití tohto zariadenia v priemyselných aplikáciách, kde jeho jednoduchý princíp a efektívnosť nachádzajú široké uplatnenie. Pre vývoj zariadenia bola najprv vytvorená digitálna simulácia mechanizmu v programe Fluidsim, následne boli zhromaždené potrebné súčiastky na zostrojenie mechanizmu, ktorý bol testovaný v praxi. Zariadenie slúži na automatizované pranie komponentov, ako sú diely automobilov, a využíva pokročilé technológie čistenia, ako pranie v roztokoch, čo prispieva k zlepšeniu kvality a efektivity výroby. Tieto systémy znižujú potrebu použitia manuálnej práce a minimalizujú chyby. Ďalej sa práca venuje využitiu pneumatických a elektropneumatických systémov v automatizácii výroby, pričom zdôrazňuje technologický pokrok v oblasti materiálov, konštrukcií a riadiacich systémov, ako aj prechod od relé na programovateľné logické automaty, čo zvyšuje flexibilitu a efektívnosť výrobných procesov.

Kľúčové slová: automatické pracie zariadenie, pneumatika, elektropneumatika

Ďakujem všetkým pedagógom za poskytnutie tak veľmi dôležitých informácií a znalostí, ktoré mi budú potrebné ďalej v mojom kariérnom raste a v budúcom povolání v bežnej pracovnej činnosti pracovného pomeru v danej firme. Taktiež ďakujem školiteľovi Vladimírovi Černákovi za jeho odborné rady v praktickej oblasti a Anne Hudecovej za pomoc s teoretickými poznatkami a konzultáciami.

NÁVRH TECHNICKÉHO RIEŠENIA SNÍMAČA UHLA ZALOMENIA PRÍVESNÉHO VOZÍKA

DESIGN OF A TECHNICAL SOLUTION FOR A TRAILER ARTICULATION ANGLE SENSOR

JÁN ORŠULA – VLADIMÍR CVIKLOVIČ

Abstract

The aim of this thesis is to develop a system that enables the measurement of the angle between a vehicle and a trailer using LSM9DS1 sensors, which include a magnetometer, accelerometer, and gyroscope. These sensors are mounted on 9DOF Click boards, which are then attached to the vehicle and the trailer. The acquired data is processed using Arduino ESP8266 D1 development boards, which facilitate communication between the sensors and the boards themselves. The measured data is subsequently processed, adjusted, and finally visualized, allowing for efficient monitoring and analysis of the articulation angle. The result is a technical solution with potential applications in safety and driver assistance for trailer towing.

Keywords: articulation angle, trailer, LSM9DS1, Arduino, magnetometer

1. Úvod

Každé motorové vozidlo má určité limity, ktoré obmedzujú možnosť jeho pohybu. Tieto limity pripojením prívesného vozíka narastajú. Obmedzenia vychádzajú z rozmerov motorového vozidla ale aj z rozmerov pripojeného prívesného vozíka. Medzi najpodstatnejšie parametre, ktoré vplyvajú na tieto obmedzenia sú rozmery náprav a vzdialenosť bodu upevnenia vozíka k motorovému vozidlu.

Pojem uhol zalomenia je možné v zjednodušenej forme definovať ako rozdiel uhlov medzi osami prívesného vozíka a motorového vozidla. Pri zvyšovaní veľkosti tohto uhla prichádza do problematiky pojem kritický uhol (Wang, 2023). Kritický uhol je uhol taký, kde pri jeho dosiahnutí nie je možné zalomenie zvrátiť napríklad pri cúvaní a je potrebné vozík tento uhol potiahnutím vozíka v pred.

Cieľom práce je navrhnúť a skonštruovať zariadenie ktoré bude schopné merať uhol zvierajúci medzi osami vozidla a vozíka za pomoci dostupných snímačov magnetometer, akcelerometer a gyroskop a vytvorenie programu vo vhodnom prostredí pre naše potreby.

2. Materiály a metódy

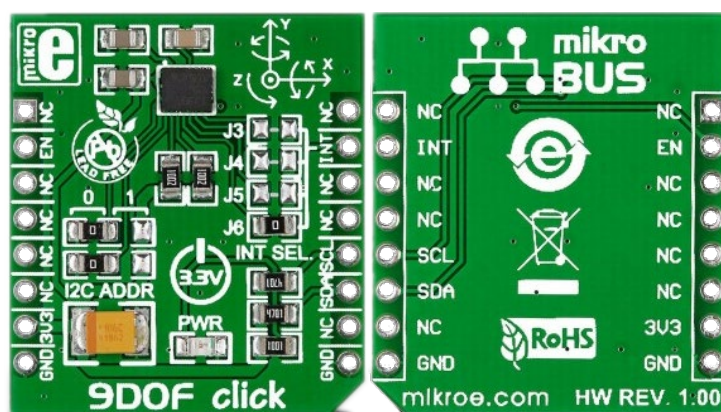
Prvým krokom pri riešení práce je výber vhodného modulu, ktorý obsahuje potrebné snímače. Ako modul sme zvolili 9DOF click od spoločnosti MikroElektronika ktorý disponuje modulom LSM9DS1 od spoločnosti STMicroelectronics. Tento modul ponúka magnetometer, akcelerometer a gyroskop.

Ako vývojovú dosku sme zvolili ESP8266 D1 od spoločnosti WeMos. Doska poskytuje dostatočný výpočtový výkon pre naše operácie, komunikáciu s modulom 9DOF click a taktiež bezdrôtovú komunikáciu v podobe wifi modulu.

K vývojovej doske WeMos D1 použijeme programovacie prostredie, ktoré ponúka sám výrobca Arduino a tým je program Arduino IDE. V tomto programe sa nachádzajú všetky potrebné nástroje a knižnice na riešenie našej problematiky.

9DOF Click

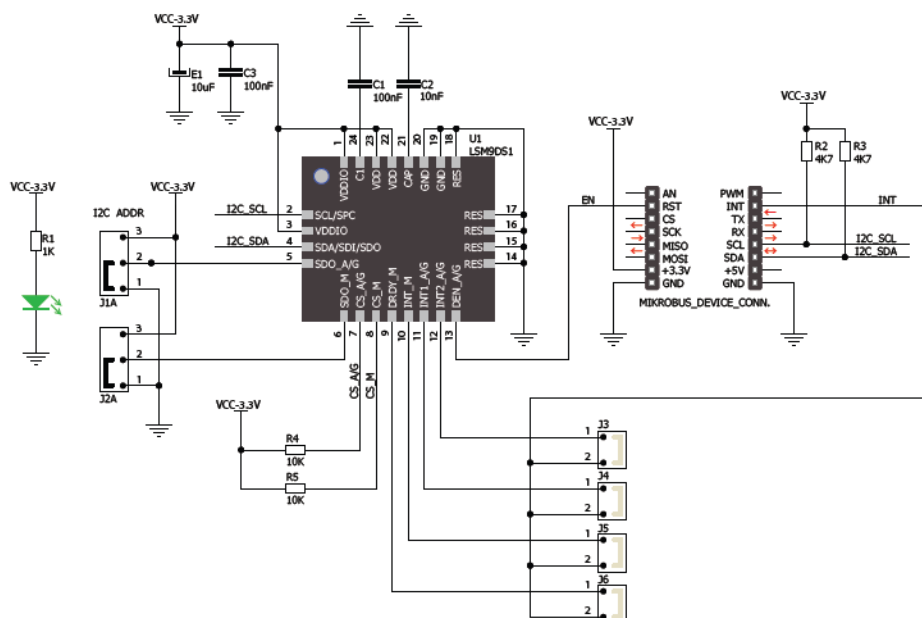
9DOF Click zobrazená na obrázku 1 je kompaktná prídavná doska, ktorá obsahuje 9-osovú inerciálnu meraciu jednotku. Táto doska je vybavená modulom LSM9DS1 od spoločnosti STMicroelectronics, ktorý kombinuje 3D akcelerometer, 3D gyroskop a 3D magnetometer do jedného riešenia. Poskytuje výstupné údaje s 16-bitovým rozlíšením, tzv. údaje o deviatich stupňoch voľnosti (3-osové zrýchlenie, uhlová rýchlosť a orientácia). Okrem komunikácie cez rozhranie I2C táto doska poskytuje aj ďalšie funkcie, ako je voliteľné prerušenie a signál pre povolenie údajov z akcelerometra/gyroskopu. Táto Click doska™ je vhodná pre aplikácie, ako sú inteligentné používateľské rozhrania, navigácia a orientácia v interiéri, rozpoznávanie gest, robotika a mnoho ďalších (MIKROELEKTRONIKA, 2015)



Obr. 1 Doska 9DOF Click (MIKROELEKTRONIKA, 2015)

Fig. 1 Board 9DOF Click (MIKROELEKTRONIKA, 2015)

Pre naše potreby je rovnako nutné poznať schému tejto dosky. Schému je možné vidieť na obrázku číslo 2.



Obr. 2 Schéma dosky 9DOF Click (MIKROELEKTRONIKA, 2015)
Fig. 2 Schematic of Board 9DOF Click (MIKROELEKTRONIKA, 2015)

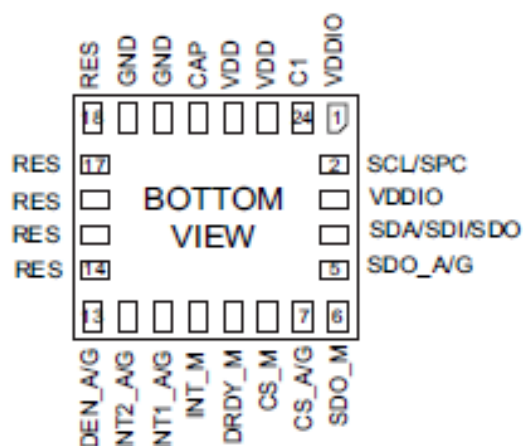
LSM9DS1

LSM9DS1 na obrázku 3, je systém v balíčku (system-in-package), ktorý obsahuje 3D digitálny snímač lineárneho zrýchlenia, 3D digitálny snímač uhlovej rýchlosti a 3D digitálny magnetický snímač.

LSM9DS1 má plný rozsah lineárneho zrýchlenia $\pm 2g/\pm 4g/\pm 8g/\pm 16g$, plný rozsah magnetického poľa $\pm 4/\pm 8/\pm 12/\pm 16$ gaussov a uhlovú rýchlosť $\pm 245/\pm 500/\pm 2000$ dps. LSM9DS1 obsahuje sériové rozhranie I2C podporujúce štandardný a rýchly režim (100 kHz a 400 kHz) a štandardné sériové rozhranie SPI (STMICROELECTRONICS, 2015).

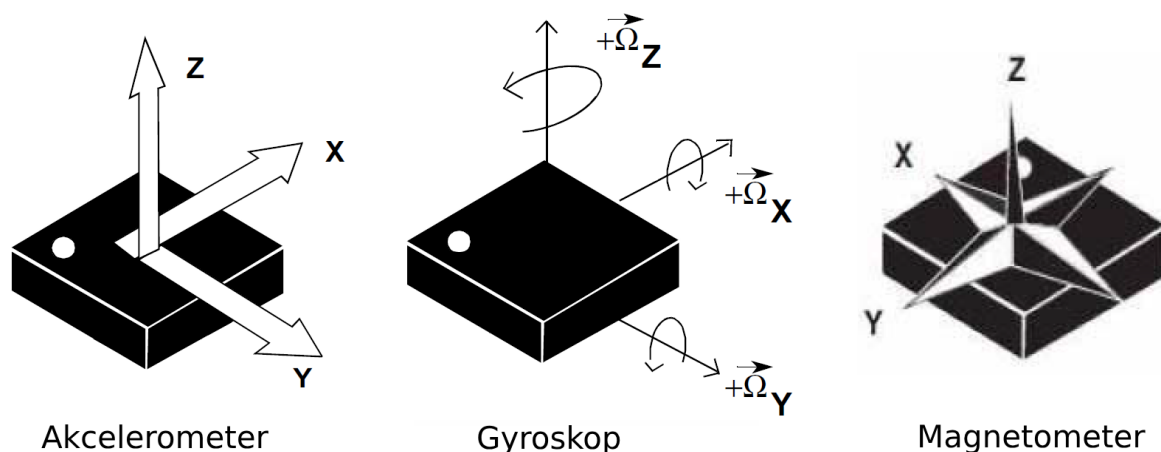
Magnetometer, akcelerometer a gyroskop môžu byť aktivované alebo nastavené do režimu vypnutia nezávisle pre inteligentné riadenie spotreby energie.

LSM9DS1 je dostupný v plastovom balení typu LGA (land grid array) a je zaručené jeho fungovanie v rozšírenom teplotnom rozsahu od $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$ (STMICROELECTRONICS, 2015).



Obr. 3 LSM9DS1 (STMICROELECTRONICS, 2015)
Fig. 3 LSM9DS1 (STMICROELECTRONICS, 2015)

Ako je už spomenuté, tento modul spája magnetometer, akcelerometer a gyroskop. Pre správne interpretovanie nameraných hodnôt musíme poznať rozloženie meraných osí týchto snímačov. Osi snímačov je možné vidieť na obrázku 4.

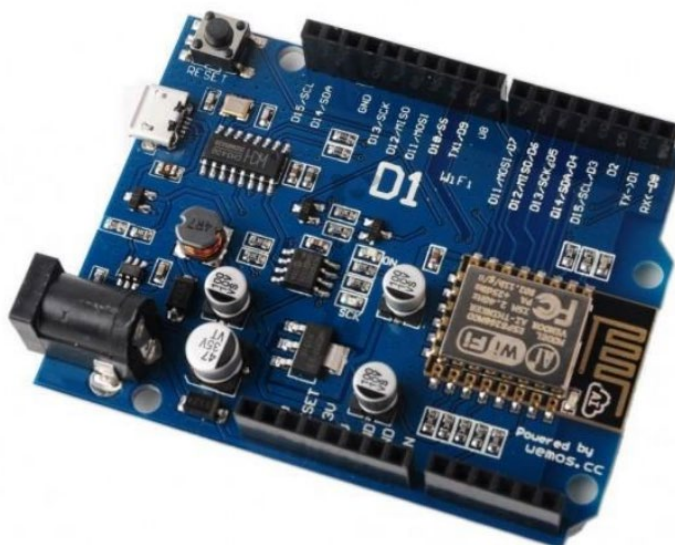


Obr. 4 Osi snímačov (STMICROELECTRONICS, 2015)

Fig. 4 Sensors Axis (STMICROELECTRONICS, 2015)

Vývojová doska WeMos D1 na obrázku 5 je rozložením jednotlivých pinov takmer totožná s doskou Arduino Uno ak odhliadneme od pinov analógových. Obsahuje integrovaný spínací zdroj a Wifi modul ESP 8266, ktorý umožňuje bezdrôtovú komunikáciu, analýzu wifi siete alebo podporu web serveru. Doska je vhodná na priemyselné účely ale aj pre IT špecialistov. Spojazdnenie je veľmi jednoduché, stačí pripojiť dosku k počítaču pomocou USB kábla, nainštalovať ovládač k vývojovým doskám arduino IDE a následne je možné hardware používať (ESPRESSIF SYSTEMS, 2015).

Medzi základné charakteristiky tejto dosky patrí 11 digitálnych I/O pinov, možnosť napájania cez USB alebo cez napájací konektor a tlačidlo reset.



Obr. 5 WeMos D1 (ESPRESSIF SYSTEMS, 2015)

Fig. 5 WeMos D1 (ESPRESSIF SYSTEMS, 2015)

Filtrovanie údajov

Asimilácia údajov integruje nové pozorovacie údaje do numerických modelov, pričom zohľadňuje časovo-priestorové rozloženie a chyby na zlepšenie presnosti odhadu a predikčnej schopnosti. Od 90. rokov 20. storočia sa široko využíva v atmosférických, morských a iných vedách.

Kalmanov filter, ktorý predstavil R.E. Kalman v roku 1960, je kľúčovou metódou sekvenčnej asimilácie údajov používanou na optimálne odhadovanie stavov na základe časových radov údajov. Kalmanov filter v spojitom čase odhaduje stavové premenné pomocou diferenciálnych rovníc, zatiaľ čo jeho diskretný variant, ktorý je v praxi bežnejší, spracováva údaje v diskretných intervaloch (Wang, 2023).

Kalmanov filter sa vyvinul z pôvodnej lineárnej formy na pokročilejšie varianty: Rozšírený Kalmanov filter (EKF) pre takmer lineárne systémy, Unscented Kalmanov filter (UKF) a Ensemble Kalmanov filter (EnKF), čím sa rozšírila jeho použiteľnosť. Široko sa využíva v navigácii, riadení, sledovaní, ekonómii a spracovaní obrazu. Neustály vývoj sa zameriava na znižovanie obmedzení a zvyšovanie efektivity (Senne, 2003).

Rozšírený Kalmanov filter

Obmedzenia Kalmanovho filtra naznačujú, že štúdium nelineárnych filtrov je veľmi dôležité. Senne rozšíril Kalmanov filter (KF) na Rozšírený Kalmanov filter (EKF), aby umožnil jeho aplikáciu na nelineárne systémy. Rozšírený Kalmanov filter je jedným z najklasickejších algoritmov v oblasti nelineárnych filtrov. Základnou myšlienkou EKF je zamerať sa na prvý člen Taylorovho rozvoja nelineárnej rovnice systému a následne transformovať nelineárnu rovnicu na lineárnu. EKF je v oblasti nelineárnych filtrov veľmi bežný a ľahko implementovateľný (Senne, 2003).

EKF je veľmi podobný KF v tom, že je rozdelený do dvoch krokov – predikcie a analýzy, pričom jeho kľúčovou operáciou je linearizácia nelineárnych rovníc (Senne, 2003).

Uhol zalomenia

Zalomenie pri cúvaní s prívesom nastáva, keď sa uhol oja zväčší natoľko, že vozidlo a príves sa ohnú okolo bodu spojenia ako tzv. vreckový nožík, odkiaľ pochádza aj názov tohto javu prevzatý z Angličtiny „Jackknifing“. Ak sa v cúvaní naďalej pokračuje, efekt zalomenia sa progresívne zhoršuje, až nakoniec dochádza k fyzickému kontaktu medzi vozidlom a prívesom. Nedostatočná priama kontrola nad prívesom môže vodičovi spôsobiť neprijemnosti a stratu času, a v najhoršom prípade môže viesť k fyzickému poškodeniu alebo zraneniu (Goswami Ambarish, 2014).

Určenie tohto uhla môžeme rozdeliť podľa limitov ktoré berieme v úvahu. Medzi tieto limity patria Fyzické, Kinematické a Empiricky určené. V tejto práci sa budeme priame zaoberať fyzickými limitami.

3. Výsledky a diskusia

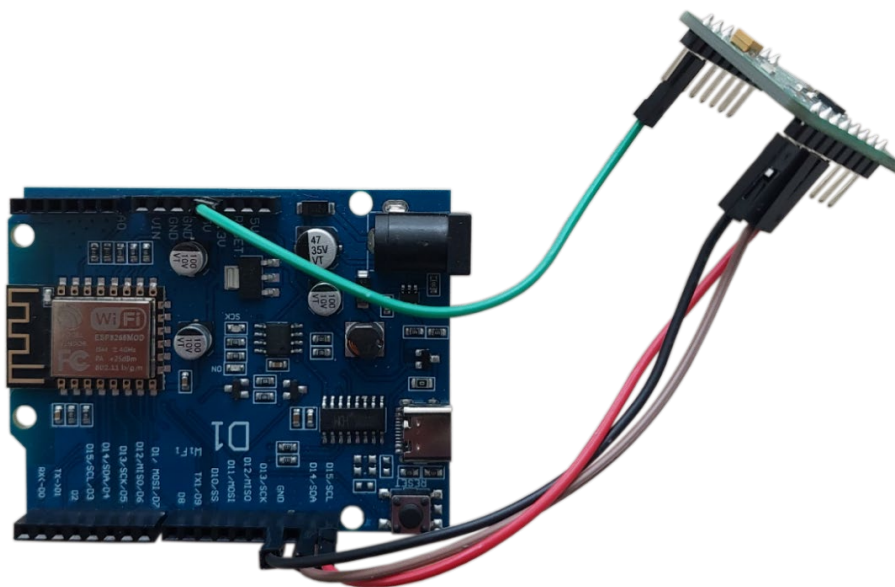
Zariadenie

Podľa dokumentov dodávaných výrobcami vieme vytvoriť výsledné zapojenie zariadení ktoré bude vyhovovať našim potrebám. Na naše účely nie je potrebné využiť všetky dostupné piny na zariadeniach. V tabuľke 1 možno vidieť výsledné zapojenie.

Tab. 1 Zapojenie WeMos D1 a 9DOF Click
 Tab. 1 WeMos D1 and 9DOF Click connections

WeMos D1	9DOF Click
3.3V	3V3
GND	GND
D15/SCL	SCL
D14/SDA	SDA

Na obrázku 6 je možné vidieť výsledné zapojenie.



Obr. 6 Zapojenie WeMos D1 a 9DOF Click
 Fig. 6 WeMos D1 and 9DOF Click connections

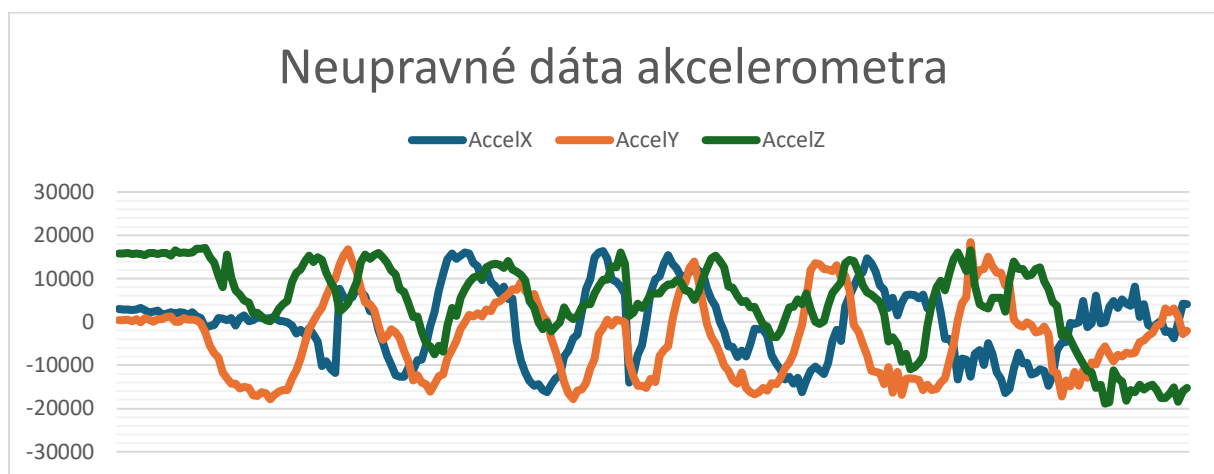
Po správnom zapojení zariadenia je možné uskutočniť zber údajov z akcelerometra, gyroskopu a magnetometra. Pre uschovanie a kontrolu dát vieme tieto údaje zaznamenávať do súboru typu .xlsx. Údaje sú zaznamenávané v určitých časových intervaloch a prebuhajú na všetkých troch osiach akcelerometra, gyroskopu a magnetometra. Príklad zaznamenaných údajov je možné vidieť v tabuľke 2.

Tab. 2 neupravené dáta zo snímača

Tab. 2 Raw sensors readings

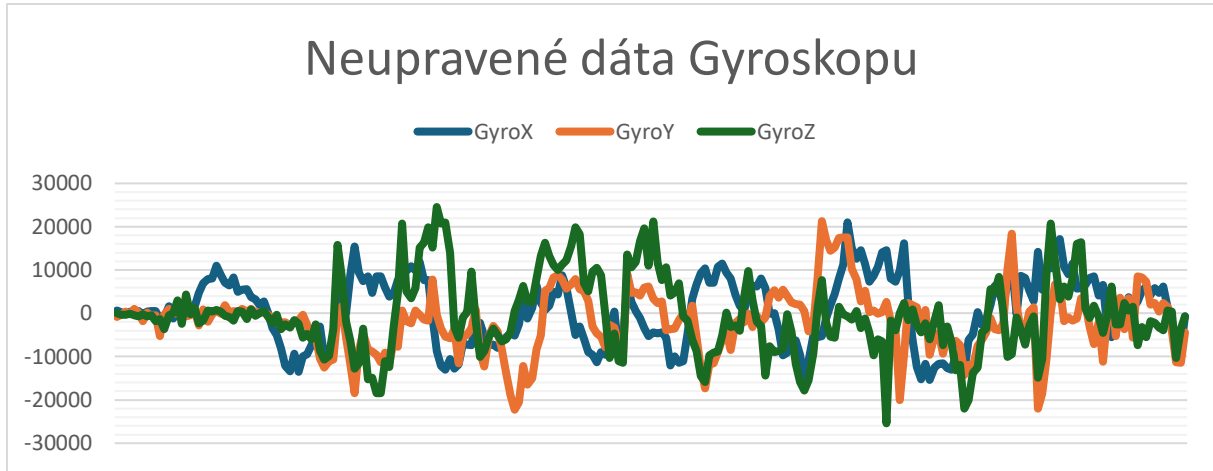
Time	AccelX	AccelY	AccelZ	GyroX	GyroY	GyroZ	MagX	MagY	MagZ
12:29:53	3010	448	15832	626	-839	48	3634	1805	-5239
12:29:54	2802	358	15848	259	-290	-373	3631	1828	-5258
12:29:54	2800	548	15876	-275	401	-344	3593	1846	-5323
12:29:54	2689	116	15718	349	-205	-138	3622	1843	-5303
12:29:54	2826	592	15782	-158	974	-438	3604	1804	-5255
12:29:54	3223	-79	15631	465	139	-681	3619	1839	-5256
12:29:54	2757	868	15368	-237	-1855	-168	3595	1835	-5280
12:29:54	2122	542	15932	346	195	-676	3603	1843	-5280
12:29:55	2363	75	15873	537	-597	-406	3552	1843	-5271
12:29:55	2628	660	15635	502	-411	-1849	3493	1897	-5265
12:29:55	1735	640	15876	-1503	-5314	-1267	3490	1887	-5347
12:29:55	1871	1098	15907	-951	-293	-3607	3478	1877	-5409
12:29:55	2204	1207	15243	1632	1031	-440	3426	1917	-5379
12:29:55	1817	38	16524	-1185	46	52	3458	1924	-5426
12:29:55	2298	45	15883	955	-149	2925	3512	1857	-5357
12:29:56	2114	876	16097	-100	573	-2495	3529	1849	-5363
12:29:56	1598	459	15970	1020	-729	4351	3496	1873	-5323
12:29:56	2211	533	16019	1140	-447	-216	3537	1858	-5290
12:29:56	1205	395	16850	1478	608	1287	3522	1869	-5259
12:29:56	894	-331	16941	4666	-2855	-2329	3455	2021	-5292
12:29:56	-1375	-2331	17105	6965	883	-1745	3342	2269	-5199
12:29:56	-934	-5517	14960	7910	-1916	637	3267	2477	-5074
12:29:57	-744	-7270	13753	8094	-213	441	3241	2714	-5003
12:29:57	897	-8240	10618	10979	631	752	3312	2832	-4689
12:29:57	815	-11667	7974	8896	-101	337	3357	2995	-4390
12:29:57	355	-13074	15499	7103	1892	-599	3438	3043	-4056
12:29:57	839	-14240	10303	6410	197	-862	3481	3135	-3781
12:29:57	-825	-14300	7315	8242	546	-1708	3451	3192	-3656
12:29:57	895	-15368	6362	4979	315	566	3428	3219	-3511
12:29:58	1513	-15041	4987	5492	983	342	3449	3162	-3327
12:29:58	201	-15312	4492	5610	420	-1310	3407	3181	-3093
12:29:58	422	-17008	2057	3682	983	910	3451	3123	-2933
12:29:58	1083	-17056	2106	3200	192	-649	3469	3047	-2839
12:29:58	919	-16207	1236	1921	133	-17	3474	3007	-2668
12:29:58	752	-16452	377	2697	222	468	3507	2973	-2620
12:29:58	844	-17881	182	89	-320	-818	3549	2940	-2604
12:29:59	1089	-16844	1207	-3460	-1259	-2298	3510	3013	-2661
12:29:59	231	-16116	2933	-5033	-1183	-329	3447	3120	-2844
12:29:59	158	-15772	4118	-8053	-2241	-3670	3426	3210	-3150

Zber údajov bol uskutočňovaný otáčaním snímaču okolo osi Z. Namerané hodnoty zo snímačov sú v základných jednotkách a jedná sa o výber 250 po sebe nasledujúcich meraní. Pre lepšie interpretovanie nameraných údajov, preniesieme tieto údaje do vizuálnej formy.



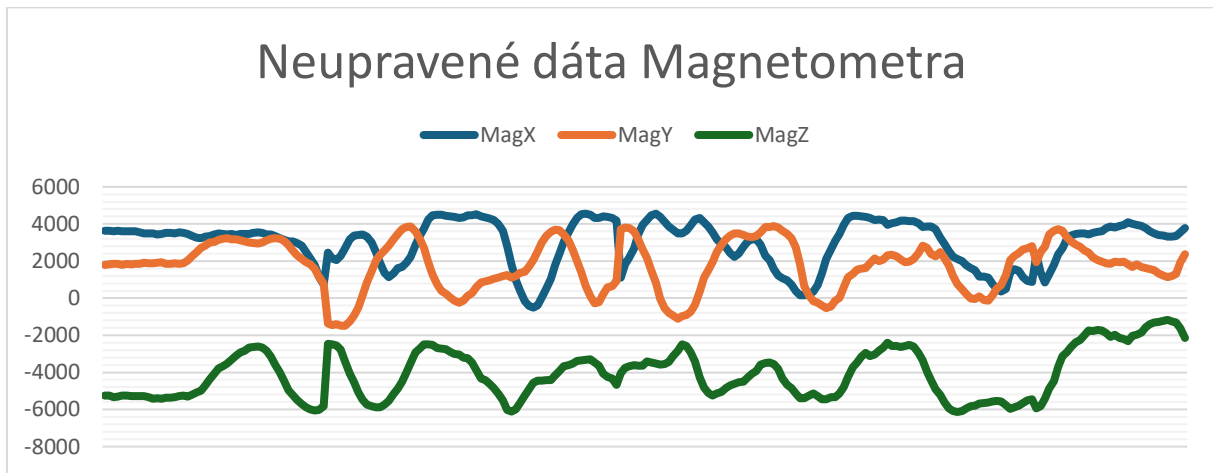
Obr. 7 Neupravené dáta akcelerometra

Fig. 7 Raw accelerometer data



Obr. 8 Neupravené dáta gyroskopu

Fig. 8 Raw gyroscope data



Obr. 9 Neupravené dáta magnetometra

Obr. 9 Raw magnetometer data

Údaje z magnetometra sa počas aktivácie zariadenia uschovávajú po dobu 2500 vzoriek. Následne je z týchto vzoriek zvolená najväčšia a najmenšia možná nameraná hodnota. Vďaka týmto hodnotám vieme údaje počas prevádzky v reálnom čase centrovat' okolo nulovej hodnoty a čiastočne nahradiť zložité algoritmy kalibrácie. Pri aktivácii zariadenie je potrebné, aby táto kalibrácia prebehla na finálnom mieste umiestnenia, prípadne po zmenení polohy bola vykonaná opätovná kalibrácia.

Filtrácia údajov

Merané údaje zo snímačov sú následne filtrované za pomoci rozšíreného Kalmanovho filtra v dvoch hlavných krokoch (Wang, 2023):

Predikcia

$$x_{k+1}^f = M_{k+1}[x_k^a] \quad (1)$$

$$P_{k+1}^f = M_{k+1}P_k^a M_{k+1}^T + Q_{k+1} \quad (2)$$

Analýza

$$K_k^* = P_k^f H_k^T (H_k P_k^f H_k^T + R_k)^{-1} \quad (3)$$

$$x_k^a = x_k^f + K_k^* (y_k - H_k[x_k^f]) \quad (4)$$

$$P_k^a = (I - K_k^* H_k) P_k^f \quad (5)$$

Kde: x_{k+1}^f – predikovaná hodnota systému
 M_{k+1} – Operátor prechodu stavu
 x_k^a – analytická hodnota systému
 P_{k+1}^f – Kovariančná matica analytickej chyby
 P_k^a – Kovariačná matica analytickej chyby
 M_{k+1}^T – Transponovaná matica operátora prechodu
 Q_{k+1} – Kovariačná matica chyby modelu
 K_k^* – Kalmanov zisk
 H_k – Operátor pozorovania
 H_k^T – Transponovaná matica operátora pozorovania H_k
 R_k – Kovariačná matica chyby pozorovania v čase
 y_k – Pozorovaná hodnota v čase
 I – Jednotková matica

Where: x_{k+1}^f – Forecast state
 M_{k+1} – State transition operator
 x_k^a – analysisi state
 P_{k+1}^f – Forecast error covariance matrix
 P_k^a – Analysis error covariance matrix
 M_{k+1}^T – Transpose of the state transition operator
 Q_{k+1} – Model error covariance matrix
 K_k^* – Kalman gain
 H_k – Observation operator
 H_k^T – Transpose of the observation operator H_k
 R_k – Observation error covariance matrix
 y_k – Observation at time
 I – Identify matrix

Rovnice pre rozšírený Kalmanov filter aplikujeme v kóde v prostredí Arduino IDE. Hlavnou výhodou použitia tohto typu filtra je menšia komplexnosť ako ostatné typy filtrov, čiže sa zníži náročnosť na systémové prostriedky. Aplikáciou tohto filtra vieme korigovať údaje v reálnom čase pri nelineárnom pohybe zariadenia. Výsledné hodnoty sú kompenzované na náklon zariadenia vo všetkých troch osiach a zároveň na zmenu rýchlosti otáčania zariadenia čo prispieva správne výpočtu smerovania zariadenia.

Smerovanie

Po korekcii dát pomocou Kalmanovho filtra je možné pre každé zo zariadení vypočítať uhol smerovania nasledovne:

$$S = \tan^{-1}(y, x) \frac{180}{\pi} \quad (6)$$

Kde: x – Nameraná hodnota osi x z magnetometra upravená za pomoci Kalmanovho filtra
 y – Nameraná hodnota osi y z magnetometra upravená za pomoci Kalmanovho filtra
 S – Uhol smerovania, °

Where: x – Measured value of the x-axis magnetometer adjusted using Kalman filter
 y – Measured value of the y-axis magnetometer adjusted using Kalman filter

S – Heading, °

Kritický uhol

Na to aby sme vedeli výsledný uhol medzi vozidlom a vozíkom umiestniť do nami potrebného rozsahu musíme poznať limitný uhol, po prekročení ktorého nie je možné zvrátiť zalomenie prívesného vozíka. Tento uhol je možné vypočítať podľa vzorca (ROEMPKE, 2024):

$$\phi_{crit} = -\frac{L_3}{L_1} \left(1 + \frac{L_2}{L_3}\right) \tan(\delta_{max}) \quad (7)$$

Kde: ϕ_{crit} – Absolútna hodnota kritického uhla, °
 L_1 – Vzdialenosť predných a zadných kolies, m
 L_2 – Vzdialenosť zadných kolies vozidla od bodu upevnenia, m
 L_3 – Vzdialenosť kolies vozíka k bodu upevnenia, m
 δ_{max} – Maximálny uhol natočenia predných kolies vozidla, °
 Where: ϕ_{crit} – Absolute value of critical articulation angle
 L_1 – Distance between the front and a rear wheels of vehicle, °
 L_2 – Distance between the rear wheels of vehicles to the trailer attachment point, m
 L_3 – Distance between the wheel of trailer and the trailer attachment point, m
 δ_{max} – maximum steering angle of front wheels of the vehicle, °

Vizualizácia

Keďže už poznáme hlavné hodnoty potrebné pre vizualizáciu, je možné za pomoci wifi modulu na doske WeMos D1 vytvoriť webové rozhranie ktoré preniesie tieto hodnoty do jednoduchšej a prehľadnej vizualizácie. Na obrázku 10 je možné vidieť takúto vizualizáciu.



Obr. 10 Vizualizácia uhla
Fig. 10 Angle visualization

4. Záver

V práci sme zvolili vhodný typ modulu s potrebnými snímačmi. Dosky 9DOF Click s osadeným modulom LSM9DS1 sme pripojili na vývojové dosky WeMos D1 ktoré sme následne prepojili bezdrôtovo za pomoci wifi modulu ESP 8266. Merané dáta z akcelerometra, gyroskopu a magnetometra sme boli schopní merať v reálnom čase a za použitia Kalmanovho filtra tieto hodnoty korigovať. Z upravených hodnôt sme boli schopní vypočítať uhly

smerovania snímačov a porovnaním týchto uhlov sme sa dopracovali k uhlu, ktorý tieto snímače navzájom zvierajú. Následným výpočtom kritického uhla sme upravili rozsah stupnice. Výsledným vytvorením webového rozhrania bolo možné vytvoriť vizualizáciu uhla zvieraného medzi vozidlom a prívesným vozíkom.

5. Literatúra

ESPRESSIF SYSTEMS. *ESP8266 Datasheet: Version 4.3* [online]. Šanghaj: Espressif Systems, 2015-06-01. 31 s. Dostupné na: <https://www.espressif.com/en/support/documents/technical-documents?keys=>

Goswami Ambarish. Chiu, Jimmy. 2014. The critical hitch angle for jackknife avoidance during slow backing up of vehicle-trailer systems. In *Vehicle system dynamics*, vol. 52. no. 7, pp. 992-1015 ISSN 0042-3114.

MIKROELEKTRONIKA. *9DOF click board: User guide* [online]. Belehrad: MikroElektronika, 2015. 2 s. Dostupné na: <https://www.mikroe.com/9dof-click>

Senne, K. 2003. Stochastic processes and filtering theory. *IEEE Trans. Autom. Control*, 17, 752–753s.

STMICROELECTRONICS. *iNEMO inertial module: 3D accelerometer, 3D gyroscope, 3D magnetometer: Datasheet - production data* [online]. Geneva: STMicroelectronics, March 2015. DocID025715 Rev 3. 72 s. Dostupné na: <https://www.st.com/en/mems-and-sensors/lsm9ds1.html>

WANG, Bowen – SUN, Zhibin – JIANG, Xinyue – ZENG, Jun – LIU, Runqing. Kalman Filter and Its Application in Data Assimilation. *Atmosphere* [online]. 2023, roč. 14, č. 8, s. 1319. DOI: 10.3390/atmos14081319. Dostupné na: <https://www.mdpi.com/journal/atmosphere>.

ROEMPKE, Jakob; LIU, Chang. *Trailer Backup Assist Using Steer-by-Wire*. [Dizertačná práca]. Stockholm: KTH Royal Institute of Technology, Department of Engineering Mechanics, 2024. 36 s. TRITA - SCI-GRU 2024:270. Dostupné na: https://www.researchgate.net/publication/384603108_Trailer_Reversing_Supported_by_Steer-by-Wire

Súhrn

Cieľom tejto práce je vytvoriť systém, ktorý umožní meranie uhla medzi automobilom a prívesným vozíkom s využitím senzorov LSM9DS1 ktoré obsahujú magnetometer, akcelerometer a gyroskop, s umiestnením na doske 9DOF Click ktoré sú následne upevnené na vozidle a na prívesnom vozíku. Na spracovanie získaných údajov sa používajú vývojové dosky Arduino ESP8266 D1, ktoré zabezpečujú komunikáciu medzi senzormi a doskami samotnými. Namerané dáta sú následne spracované, upravené a nakoniec interpretované do vizuálnej podoby, čím sa umožní efektívne monitorovanie a analýza uhla zalomenia. Výsledkom je technické riešenie s potenciálnym využitím v oblasti bezpečnosti a asistencie pri riadení prívesných vozíkov.

Kľúčové slová: uhol zalomenia, prívesný vozík, LSM9DS1, Arduino, magnetometer

ANALÝZA RIZÍK PRI ÚDRŽBE VÝROBNÝCH LINIEK

RISK ANALYSIS IN THE MAINTENANCE OF PRODUCTION LINES

PATRIK ORŠULA – MIROSLAV ŽITŇÁK

Abstract

The article focuses on assessing risks associated with maintenance of a production line segment responsible for material cutting. The analysis was conducted in a manufacturing company specializing in insulation materials. The aim of the study is to clarify the risks arising from maintenance of the sawing station POPMV 01. The paper describes basic parameters, machine modes, and safe operating instructions. It then evaluates maintenance risks using a scoring method and proposes safety measures aimed at effectively reducing resultant risks. Finally, it provides a comparison evaluation in the form of graphs comparing the risk level before and after the implementation of safety measures.

Key words: company, risk, maintenance, automatic production line

1 Úvod

Oblasti riadenia rizík je v dnešnej dobe venovaná stále väčšia pozornosť. Analýza rizík nie je jednoduchým procesom. V prípade rozvoja podniku, či rozšírenia resp. nakúpenia nových výrobných strojov, zariadení, výrobných liniek, je potrebné zvážiť všetky možné vyplývajúce nebezpečenstvá, ktoré by mohli ohroziť pracovníkov firmy, ako aj jej samotný chod (Pačaiová a kol., 2020). Podnik sa na tieto hrozby môže pripraviť vhodnými opatreniami, čím vlastne dôjde k riadeniu týchto rizík na prijateľnú mieru.

Cieľom tejto práce je analyzovať riziká spojené s údržbou. Dôležitosť údržby hlavne v priemyselnej oblasti rastie so snahou podnikov o zníženie nákladov v súvislosti s konkurenčným prostredím, ako aj s tlakom zo strany zákazníkov, ktorí očakávajú od dodávateľov splnenie požiadaviek na kvalitu, životné prostredie a bezpečnosť (Krausová, Szombathyová, 2009). Podľa (Hamasha a kol., 2023, s. 2) ak sa údržba vykonáva efektívne, robí viac než len udržiavanie hladkého chodu prevádzky. Poskytuje hmatateľné výhody, ako je predĺženie životnosti zariadenia, optimalizácia dostupnosti zariadenia a zabezpečenie toho, aby majetok zostal v dobrom prevádzkovom stave. Častými nedostatkami sú nefunkčné ochranné a blokovacie mechanizmy, absencia ochranných krytov a neoznačené ovládacie prvky z hľadiska ich účelu (Legát a kol., 2016).

Analýza rizík sa bude vykonávať konkrétne na pozdĺžnej píle POPMV 01, ktorá je súčasťou výrobnéj linky. Píla vykonáva rezanie kontinuálneho pásu minerálnej vlny. Práca sa bude venovať analýze rizík, ktoré môžu nastať pri údržbe strojného zariadenia, klasifikácií rizík a navrhnutí daných opatrení na riadenie rizika.

Bc. Patrik Oršula, prof. Ing. Miroslav Žitňák, PhD., Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Ústav poľnohospodárskej techniky, dopravy a bioenergetiky, Trieda Andreja Hlinku 2, 949 76 Nitra, Slovenská republika, xorsulap@uniag.sk

Bc. Patrik Oršula, prof. Ing. Miroslav Žitňák, PhD., Slovak University of Agriculture in Nitra, Institute of Agricultural Engineering, Transport and Bioenergetics, Trieda Andreja Hlinku 2, 949 76 Nitra, Slovak Republic, xorsulap@uniag.sk

2 Materiál a metódy

1. Popis krokov riadenia rizika

I. Krok: Stanovenie hraníc strojového zariadenia

Opis strojového zariadenia pozostáva z jeho budúcich charakteristík, teda očakávaného použitia a požiadaviek budúcich užívateľov. Tento opis je kľúčový pre identifikáciu potenciálne nebezpečných mechanických, elektrických a iných ohrození. Zároveň podrobnejšie vymedzenie hraníc a funkčných štruktúr pomáha v určovaní možných rizík a nebezpečných situácií. Tieto hranice sa musia aplikovať na každú fázu životného cyklu stroja, pričom sa odlišné pre potreby údržby a potreby operácií vykonávaných obsluhou stroja.

II. Krok: Identifikácia nebezpečenstiev a ohrození

Po stanovení hraníc stroja nasleduje základný krok hodnotenia rizík, ktorým je systematická identifikácia predvídateľných ohrození. Teda situácií, kde môže byť človek vystavený nebezpečným podmienkam počas plánovaných alebo neplánovaných činností, čo môže ohroziť jeho život alebo zdravie. Konštruktér musí zohľadniť všetky možné ohrozenia počas rôznych fáz životného cyklu stroja, ako je doprava, montáž, uvádzanie do prevádzky, používanie, údržba, skončenie prevádzky, rozoberanie a likvidácia. Tento proces si vyžaduje dôkladnú analýzu technologického postupu a činností, ktoré súvisia so strojom, vrátane aktivít ako spúšťanie a testovanie stroja, rôzne prevádzkové režimy, manipulácia s materiálom, čistenie, identifikácia porúch, preventívna údržba a opravy. Dôležité je aj zohľadnenie možných ľudských chýb a zlyhaní a skúmanie vzťahov medzi človekom, strojom a prostredím. Treba tiež brať do úvahy pohyb iných pracovníkov a návštevníkov v okolí stroja.

III. Krok: Odhadovanie rizika

Odhadovanie rizika je založené na základných faktoroch, konkrétne na odhade pravdepodobnosti poškodenia zdravia a života (P) v súvislosti s identifikovaným scenárom nehody a odhade úrovne závažnosti tohto poškodenia (D), teda výslednej škody. Riziko je charakterizované vzťahom medzi týmito dvoma faktormi P a D (1). Na základe vyjadrenia tohto vzťahu, či už pomocou matematických rovníc alebo iných opisov znalostí, je možné odhad rizika použiť prostredníctvom jeho výsledného "ohodnotenia" podľa kritérií stanovených v procese hodnotenia rizika. V práci sme použili jednoduchú bodovú metódu, ktorá sa vyznačuje jednoduchosťou a efektívnosťou vzhľadom na čas a zdroje, ako aj nižšími nárokmi na kvalifikáciu hodnotiteľov. Ide o základnú metódu, pri ktorej sa slovné opisy rizík premenia na numerické hodnoty. Dôležitou súčasťou tohto procesu je dôkladná analýza rizík a ich identifikácia. Výsledkom je súčin číselných hodnôt pravdepodobnosti a dôsledkov, ktorý udáva úroveň rizika. Riziko sa vyjadrí z primárnej charakteristiky rizika:

$$R = P \times D \quad (1)$$

Kde: R – riziko,
 P – pravdepodobnosť vzniku nežiadúcej udalosti,
 D – dôsledok vzniknutej nežiadúcej udalosti,
 Znamienko „ $\times$ “ nepredstavuje súčin, ale interpretuje maticu rizika.

Where: R – risk,
 P – probability of an adverse event occurring,

D – consequence of the occurred adverse event,

The symbol “x” does not represent multiplication but interprets the risk matrix.

IV. Krok: Hodnotenie rizika

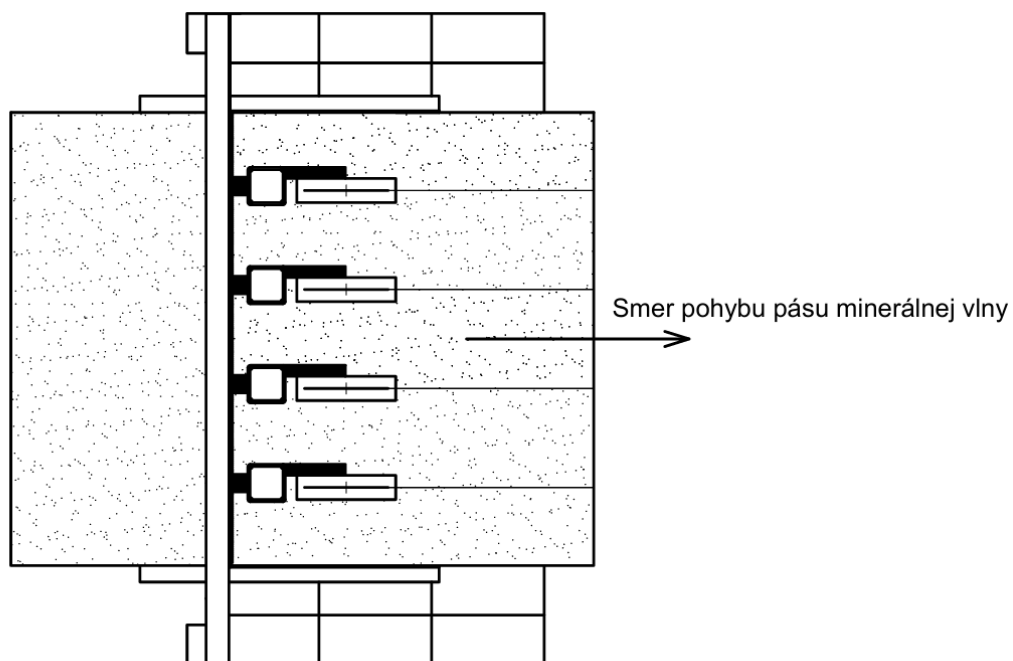
Po stanovení úrovne rizika je nevyhnutné zhodnotiť ho, či už ako nízke, stredné alebo vysoké, aby sme mohli posúdiť, či je jeho miera prijateľná alebo neprijateľná a zvážiť potrebu jeho zníženia.

V. Krok: Zníženie rizika

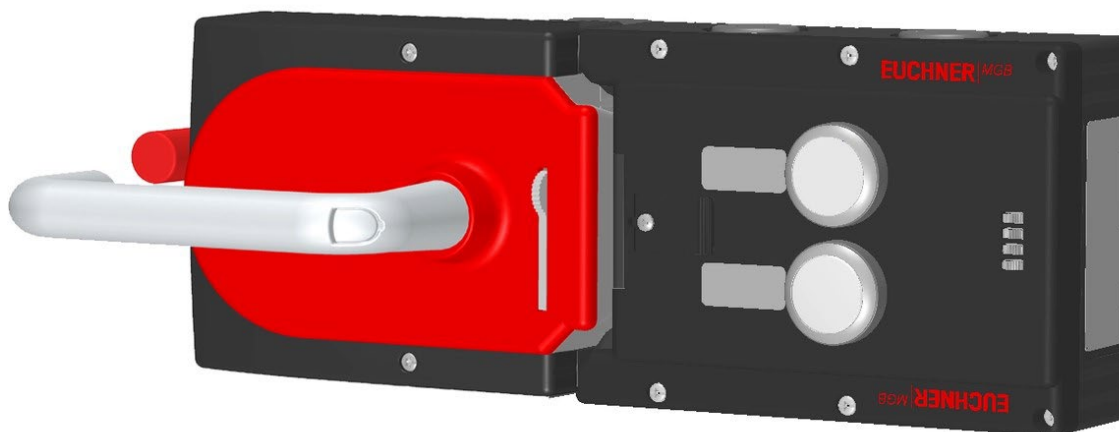
Plánovanie opatrení na zníženie rizika je kľúčovým krokom v procese riadenia rizika, ktorý má za cieľ minimalizovať pravdepodobnosť vzniku nežiaducich udalostí alebo znížiť ich dôsledky.

3 Výsledky a diskusia

Z analýzy vyplynulo, že bez zavedenia adekvátnych bezpečnostných opatrení, údržbárske činnosti na stanici POPMV 01 predstavujú zvýšené riziko úrazu. Bežné operácie ako výmena poškodených súčastí, kontrola elektrických prvkov alebo čistenie stroja, môžu viesť k vážnym zraneniam, ak nie sú vykonávané s patričnou opatrnosťou. Bodová metóda, ktorú sme použili na kvantifikáciu rizík, nám pomohla identifikovať najkritickejšie oblasti a stanoviť priority pri zavádzaní bezpečnostných opatrení. Nebolo to len o číslach, ale o reálnom pochopení toho, čo sa môže stať, ak sa niečo pokazí. Napríklad, zlyhanie bezpečnostného zámku na oplatení stroja, hoci na prvý pohľad banálna vec, môže viesť k vážnym zraneniam, ak sa stroj nečakane spustí počas údržby. Rovnako, práca s elektrickými komponentmi bez vypnutia napájania predstavuje vysoké riziko úrazu elektrickým prúdom. Zavedenie bezpečnostných opatrení nebolo len o teoretických návrhoch, ale o praktických krokoch, ktoré sme konzultovali s pracovníkmi údržby a bezpečnostným technikom firmy. Išlo o to, aby opatrenia boli nielen efektívne, ale aj realizovateľné v reálnom pracovnom prostredí. Hodnotenia miery ohrozenia, ktoré sme spravili (tab. 1 a tab. 2) ukazujú reálny dopad zavedených opatrení na zníženie rizika. Je dôležité si uvedomiť, že aj po zavedení opatrení, riziko nikdy nie je nulové. Vždy existuje možnosť, že sa niečo pokazí. Preto je kľúčové, aby pracovníci údržby boli pravidelne školení a oboznamovaní s bezpečnostnými postupmi. Je potrebné, aby si uvedomovali riziká a aby boli schopní reagovať na nepredvídateľné situácie. V budúcnosti by bolo vhodné zamerať sa na implementáciu systému neustáleho zlepšovania, ktorý by umožnil pravidelné prehodnocovanie rizík a aktualizáciu bezpečnostných postupov (Bujna, 2018). Je tiež dôležité, aby sa pracovníci údržby aktívne zapájali do procesu riadenia rizík a aby mali možnosť vyjadriť svoje pripomienky a návrhy. V konečnom dôsledku, bezpečnosť práce nie je len o dodržiavaní predpisov, ale o vytváraní kultúry, v ktorej je bezpečnosť prioritou (Pačaiová a kol., 2020).



Obr. 1 Jednoduchý náčrt pílovej stanice POPMV 01 (pôdorys)
Fig. 1 Simple Sketch of the Sawing Station POPMV 01 (floor plan)



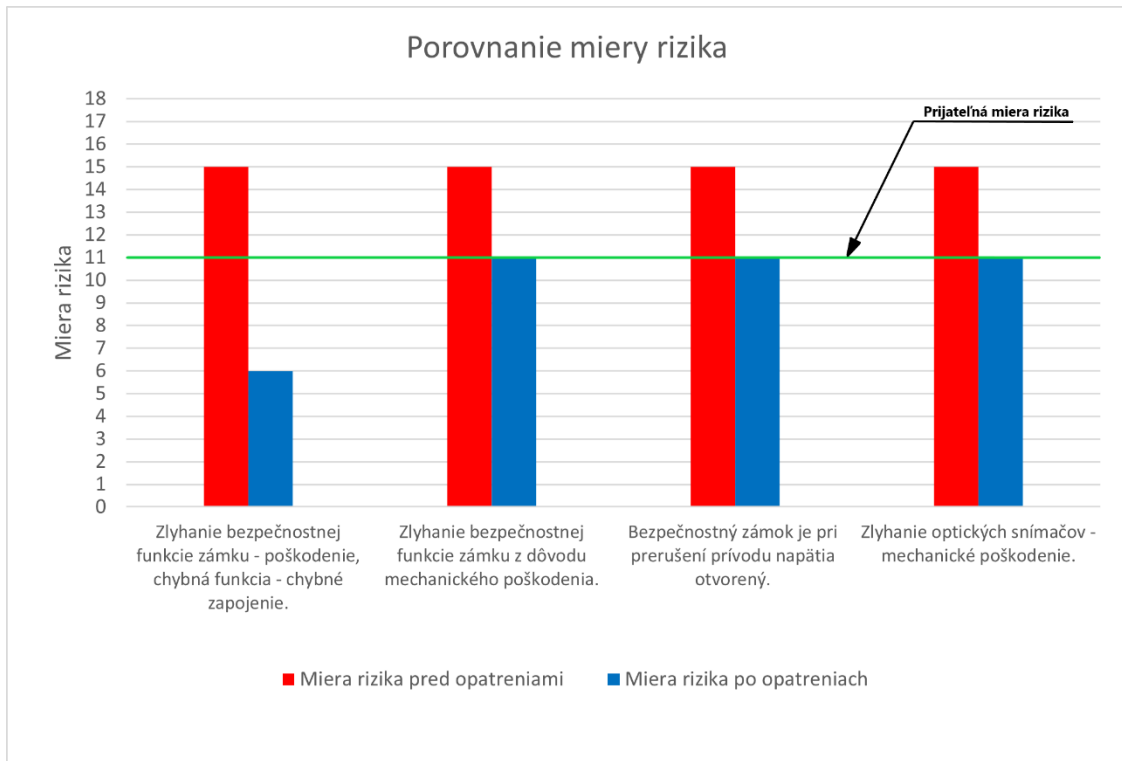
Obr. 2 Elektromagnetický bezpečnostný zámok s pružinou (www.euchner.de)
Fig. 2 Electromagnetic safety lock with spring (www.euchner.de)

Tab. 1 Analýza rizík pozdĺžnej pílovej stanice POPMV 01
 Tab. 1 Risk Analysis of the longitudinal sawing station POPMV 01

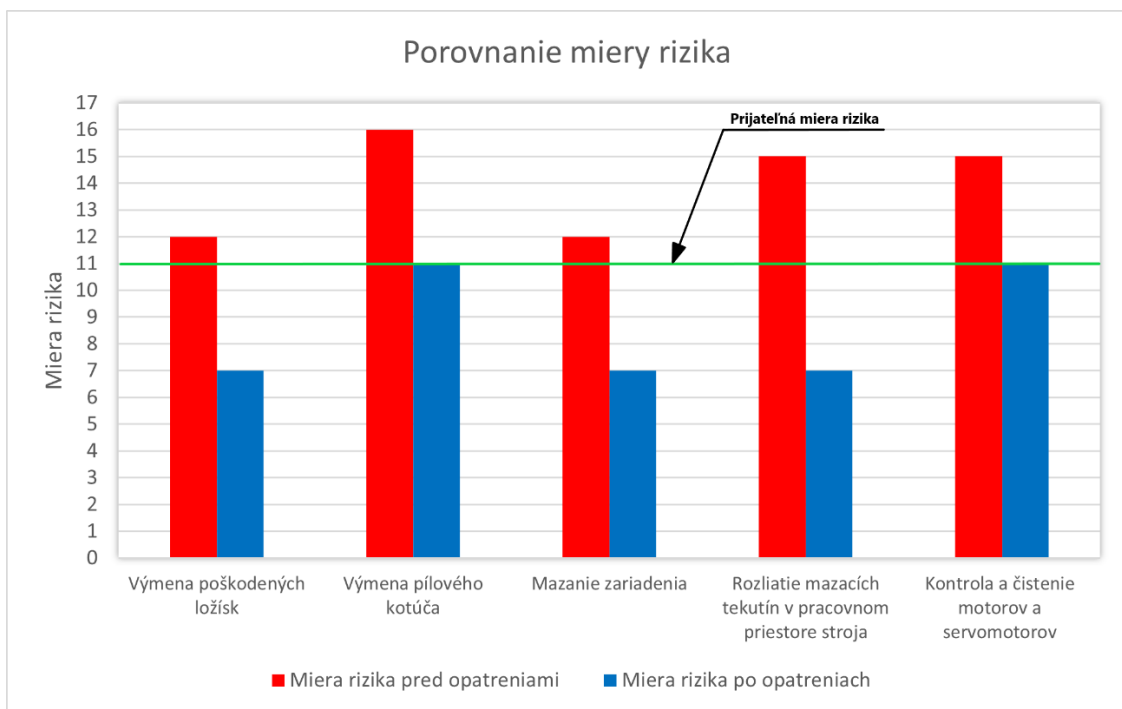
Nebezpečenstvo	Popis ohrozenia	Hodnotenie rizík pred opatreniami			Bezpečnostné opatrenia	Hodnotenie rizík po opatreniach		
		P	D	R		P	D	R
Zlyhanie bezpečnostnej funkcie zámku – poškodenie, chybná funkcia – chybné zapojenie. (Obr.2)	Ťažké telesné poranenie spôsobené zachytením, vtiahnutím, pricviknutím alebo porezaním pohybujúcimi sa časťami stroja.	3	3	15	Pri poškodení kompletne vymeniť zodpovedajúci typ zámku. Vykonávať kontroly v pravidelných intervaloch a po každej chybe skontrolovať správnu funkciu zámku. Pre zaručenie bezpečnosti sa musia vyhodnocovať vždy obidva bezpečnostné výstupy (FO1A a FO1B). Výstupy hlásení sa nesmú používať ako bezpečnostné výstupy. Aby sa zamedzilo krížovým skratom, uložte pripojovacie káble tak, aby boli chránené.	1	3	6
Zlyhanie bezpečnostnej funkcie zámku z dôvodu mechanického poškodenia. (Obr.2)	Ťažké telesné poranenie spôsobené zachytením, vtiahnutím, pricviknutím alebo porezaním pohybujúcimi sa časťami stroja.	3	3	15	Po zistení poškodenia zámku stroj vyradiť z prevádzky a bezodkladne problém vyriešiť. Pri poškodení sa musí kompletne vymeniť zodpovedajúci modul. V pravidelných intervaloch a po každej chybe skontrolovať správnu funkciu prístroja mechanickou, ale tiež elektrickou funkčnou skúškou.	2	3	11
Bezpečnostný zámok je pri prerušení prívodu napätia otvorený. (Obr.2)	Po zavretí sa aktivuje, istenie Môže to spôsobiť situáciu, že dôjde k neúmyselnému zatvoreniu osôb.	3	3	15	Po každej opravárenskej, údržbárskej a zoraďovacej práci na stoji skontrolovať priestor, či sa v priestore nenachádzajú pracovníci, ktorí vykonávali údržbu stroja či iné činnosti, ktoré si vyžadujú bezprostredný pobyt nebezpečnej zóne stroja.	2	3	11
Zlyhanie optických snímačov v prípade mechanického poškodenia.	Ohrozený vstup osoby vstupujúceho do pracovného priestoru stroja. Riziko pracovného úrazu. Ťažké telesné poranenie.	3	3	15	Skontrolovať optické spínače po mechanickej stránke, či nie sú mechanicky poškodené. Skontrolovať funkčnosť optických snímačov zatienením príslušnej fotobunky - tú musí zaznamenať riadiaci systém na príslušnom vstupe. Kontrolu snímačov vykonávať po začatí a na konci každej smeny.	2	3	11

Tab. 2 Pokračovanie - analýza rizík pozdĺžnej pílovej stanice POPMV 01
 Tab. 2 Continuation - Risk Analysis of the longitudinal sawing station POPMV 01

Nebezpečenstvo	Ohrozenie	Hodnotenie rizík pred opatreniami			Bezpečnostné opatrenia	Hodnotenie rizík po opatreniach		
		P	D	R		P	D	R
Výmena poškodených ložísk.	Poranenie prstov, prieviknutie prstov a horných končatín.	4	2	12	Pri každej opravárenskej, údržbárskej a zoraďovacej práci na stoju musí byť vypnutý hlavný vypínač na rozvodnej skrini. Na rozvodnú skriňu treba umiestniť tabuľku s upozornením „NA STROJI SA PRACUJE“. Používať typovo schválené náradie.	2	2	7
Výmena pílového kotúča.	Ťažké telesné poranenie spôsobené zachytením, vťahnutím, prieviknutím, porezaním....	4	3	16	Počas výmeny pílových kotúčov je nutné vypnúť hlavný vypínač na RS1 a tento zabezpečiť visiacim zámkom. Používať pri výmene OOPP – ochranné okuliare, rukavice. <i>NV SR č. 395/2006 Z. z. - o minimálnych požiadavkách na poskytovanie a používanie osobných ochranných pracovných prostriedkov.</i>	2	3	11
Mazanie zariadenia.	Kontakt pracovníka s chemickými látkami a olejmi – pri kontakte poškodenie kože, rúk, zraku ...	4	2	12	Použitie OOPP. Ochranné okuliare, rukavice..... <i>NV SR č. 395/2006 Z. z. - o minimálnych požiadavkách na poskytovanie a zdravotných požiadavkách pri používaní pracovných prostriedkov.</i>	2	2	7
Rozliatie mazacích tekutín v pracovnom priestore stroja.	Pošmyknutie, pád, zlomeniny, požiar.....	3	3	15	Po vykonaní mazania zariadenia ako aj výmene olejov v prevodovkách pílovej stanice skontrolovať priestor, prípadné olejové škvrny očistiť..... Vizualna kontrola prac. Priestoru stroja.	2	2	7
Kontrola a čistenie motorov a servomotorov	Prieviknutie, pritlačenie, pomliaždenie, prichytenie...	3	3	15	Použitie OOPP. Ochranné okuliare, rukavice..... <i>NV SR č. 395/2006 Z. z. - o minimálnych požiadavkách na poskytovanie a zdravotných požiadavkách pri používaní pracovných prostriedkov.</i>	2	3	11



Obr. 3 Porovnanie miery rizika (Vlastné spracovanie)
Fig. 3 Comparison of Risk Levels (Own Processing)



Obr. 4 Porovnanie miery rizika (Vlastné spracovanie)
Fig. 4 Comparison of Risk Levels (Own Processing)

4 Záver

Posúdenie a analýza rizík vplývajúcich na pracovníkov a pracovníkov údržby sme vykonali pomocou bodovej metódy. V tabuľke 1 a 2 sú popísané a vyhodnotené niektoré operácie, ktoré môžu byť, a sú vykonávané pracovníkmi pri údržbe jednotlivých konštrukčných častí pílovej stanice POPMV 01. Či už sa jedná o kontrolné činnosti, operácie spojené s výmenou poškodených opotrebovaných súčastí alebo operácie, ktoré sú vykonávané v pracovnom priestore strojného zariadenia. Z týchto operácií, ktoré predstavujú pre pracovníka údržby možné nebezpečenstvo sú potom odvodené a popísané dané typy ohrození. Definovali sme zdroje možných rizík a priradili im číselné ohodnotenie. Skoro všetky ohodnotené údržbárske činnosti vykazovali zvýšené hodnoty rizika nad prijateľnú mieru, preto bolo potrebné prijatie bezpečnostných opatrení na zníženie týchto rizík. Po prijatí bezpečnostných opatrení sme znovu zhodnotili výsledné riziko a ak to bolo potrebné, celý proces sme zopakovali, až kým sa hodnoty nedostali na prijateľnú mieru, čo môžeme vidieť na obrázkoch 1 a 2, ktoré znázorňujú porovnanie miery rizika pred a po zavedení bezpečnostných opatrení.

5 Literatúra

PAČAIOVÁ, H. a kol., 2020. Posudzovanie a riadenie rizík strojových zariadení, 1. vyd. Košice: BEKI design, 225 s. [dátum citovania 2024-02-28].

KRAUSOVÁ, A. – SZOMBATHYOVÁ, E. 2009. Prístupy v stratégii údržby. Transfer inovácií 13/2009, s. 90. Online. Dostupné na: Microsoft Word - 089-092.doc (tuke.sk).

HAMASHA, M.M, BANI-IRSHID, A.H, AL MASHAQBEH, S. a kol., 2023. Strategical selection of maintenance type under different conditions. Scientific Reports. Online. Vol. 13, no. 1, s. 1-19. Dostupné na: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-42751-5> [zobrazené 2024-04-26].

LEGÁT, V. a kol., 2016. Management a inženýrství údržby, 2. vyd. Příbram: PBtisk, 624 s.

ARENA, M., DI PASQUALE, V., IMNNONE, R. a kol. 2022. A maintenance driven scheduling cockpit for integrated production and maintenance operation schedule. Advances in Manufacturing. Online. Vol. 10, no. 2, s. 205–219. Dostupné na: <https://doi.org/10.1007/s40436-021-00380-z> [dátum citovania 2024-04-26].

ATP JOURNAL, 2014, Údržba ako účinný nástroj na dosiahnutie bezpečnosti strojov a zariadení. Blogový článok. Apríl 14, 2014. Dostupné na: Údržba ako účinný nástroj na dosiahnutie bezpečnosti strojov a zariadení, Prehľadové články, Rubriky, (atpjournal.sk) [zobrazené 2024-04-26].

BUJNA, Marián; ČIČO, Peter; KOTUS, Martin. [2018]. Manažérstvo rizika vo výrobných technológiách. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre. 150s.

DUFFUAA, S.O., RAOUF, A. 2015. Maintenance Planning and Scheduling. In: Planning and Control of Maintenance Systems. Online. Springer, Cham. Dostupné na: https://doi.org/10.1007/978-3-319-19803-3_7 [zobrazené 2024-04-25].

EUCHNER, 2023. Euchner. Online. 2023. Dostupné na: MGB-L1HE-ARA-L-121089 (Objednávka č. 121089) | EUCHNER [zobrazené 2024-04-20].

GRENČÍK, J. a kol., 2013. Manažérstvo údržby, Synergia teórie a praxe. 1. vyd. Košice: BEKI design, 630 s.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2010, Iso.org. Online. Dostupné na: ISO - International Organization for Standardization [zobrazené 2024-04-25].

NÁRODNÝ INŠPEKTORÁT PRÁCE, 2024. Národný inšpektorát práce. Online. [2024]. Dostupné na: Bezpečnosť a ochrana zdravia pri práci - Národný inšpektorát práce (gov.sk).

PROCHÁZKOVÁ, D., 2011. Analýza a řízení rizik. PRAHA: České vysoké učení v Praze. 405 s.

SLOVENSKÁ INŠPEKCIA ŽIVOTNÉHO PROSTREDIA, 2013. Sizp.sk. Online. Dostupné na: [https://www.sizp.sk,2013\)./ipkz/integrované-povolenia?idpr=318&idprev=490](https://www.sizp.sk,2013)./ipkz/integrované-povolenia?idpr=318&idprev=490) [zobrazené 2024-04-25].

STUHLÝ, V.; POPROCKÝ, R.; GRENČÍK, J.; RAKYTA, M. 2017. Navrhovanie procesov údržby. Žilina: Žilinská univerzita v Žiline. 542 s.

TÜV SÜD SLOVAKIA, 2024, TÜV SÜD. Online. 2024. Dostupné na: ISO 45001 Certifikácia systémov manažérstva bezpečnosti a ochrany zdravia pri práci | TÜV SÜD (tuvsud.com) [zobrazené 2024-04-20].

VALENČÍK, Š., 2010. Údržba a obnova strojov. Atpjournal. Online. roč. 19, č. 8, s. 39-41. Dostupné na: 39-41.pdf (atpjournal.sk).

EUCHNER, 2023. Euchner. Online. 2023. Dostupné na: MGB-L1HE-ARA-L-121089 (Objednávka č. 121089) | EUCHNER [zobrazené 2024-04-20].

Súhrn

Článok je zameraný na hodnotenie rizík spojených s údržbou časti výrobnéj linky, ktorá má na starosti delenie materiálu. Analýza bola vykonaná vo výrobnom podniku zameranom na výrobu izolačných materiálov. Cieľom práce je objasnenie rizík, ktoré plynú z údržby pílovej stanice POPMV 01. Práca popisuje základné parametre, režimy stroja a tiež pokyny bezpečnej obsluhy stroja. Následne sa venuje vyhodnoteniu rizík pri údržbe pomocou bodovej metódy a návrhu bezpečnostných opatrení, ktoré prispeli k efektívnemu zníženiu výsledného rizika. V závere sú graficky spracované porovnania miery rizika pred a po zavedení bezpečnostných opatrení.

Kľúčové slová: firma, riziko, údržba, automatizovaná výrobná linka

V prvom rade by som chcel poďakovať prof. Ing. Miroslavovi Žitňákovi, PhD. za pomoc, usmernenie ale aj odborné, cenné rady pri riešení tejto práce. Veľké poďakovanie patrí aj pani Ing. Miroslave Švecovej, ktorá zastrešovala pozíciu zodpovedného pracovníka vo výrobnom podniku. A tiež vedeniu prevádzky, za umožnenie písania záverečnej práce v ich priestoroch.

DLHODOBÉ TESTOVANIE VYBRANEJ PRÍSADY DO NAFTY

LONG-TERM TESTING OF A SELECTED DIESEL ADDITIVE

JURAJ PODSKALAN – IVAN JANOŠKO

Abstract

This work focuses on testing a selected diesel fuel additive. The first measurement was performed without the additive, the second measurement was after adding the additive. The third measurement was taken after 11,000 km, during which time the additive was added to the diesel. The conditions are the same for all measurements. The only difference was in the additive added. We measured emissions, power and consumption. For all measured parameters we noticed a change. We consider the measurements successful.

Key words: additives, petroleum, emissions, power, fuel consumption

1 Úvod

V súčasnej dobe je kladený veľký dôraz na neustále zvyšovanie efektívnosti spaľovacích motorov, znižovanie ich spotreby a na redukciu emisií. Jedna z možností ako tieto ciele dosiahnuť, je použitie aditív do nafty ktoré môžu pozitívne ovplyvniť jej vlastnosti. Na trhu existujú rôzne druhy aditív ale ich účinnosť nie je vždy preskúmaná v dostatočnej miere a preto je dôležité podrobiť ich testovaniu v reálnych podmienkach. Ako aditívum sme si zvolili VIF Super Diesel Aditiv, ktorý patrí k jedným z najpoužívanějších aditív na trhu.

Cieľom tejto diplomovej práce je experimentálne otestovať vybrané aditívum a vyhodnotiť jeho vplyv na výkon, spotrebu a produkciu emisií zvoleného motorového vozidla. Skúmaným vozidlom je Ford Focus z roku 2009 s naftovým motorom o objeme 1 753 cm³ s výkonom 85kW.

Táto téma bola zvolená z dôvodu jej aktuálnosti a najmä z dôvodu jej praktického významu. Optimalizácia palív je jedným z hlavných faktorov pri znižovaní environmentálnych dopadov dopravy a pri zvyšovaní hospodárnosti a efektivity motorových vozidiel a akási možná cesta znižovania poškodzovania životného prostredia, do doby kým ľudstvo neprejde na bez emisné zdroje dopravy.

2 Materiál a metódy

Merania prebiehali na vozidle Ford Focus (Obr.1) z roku 2009. Štvorvalcový motor automobilu má zdvihový objem 1753 cm³, výrobcom udávaný výkon motora je 85 kW / 115 koní. Auto má poháňanú prednú nápravu a motor je spojený s manuálnou 5 stupňovou prevodovkou. Vstrekovanie paliva je pomocou systému Common Rail (Tab.1).



Obr. 1 Automobil Ford Focus počas meraní [Vlastná fotografia]

Fig. 1 The car used in the measurement [Own photo]

V tabuľke 1 sú uvedené základné technické parametre meraného automobilu.

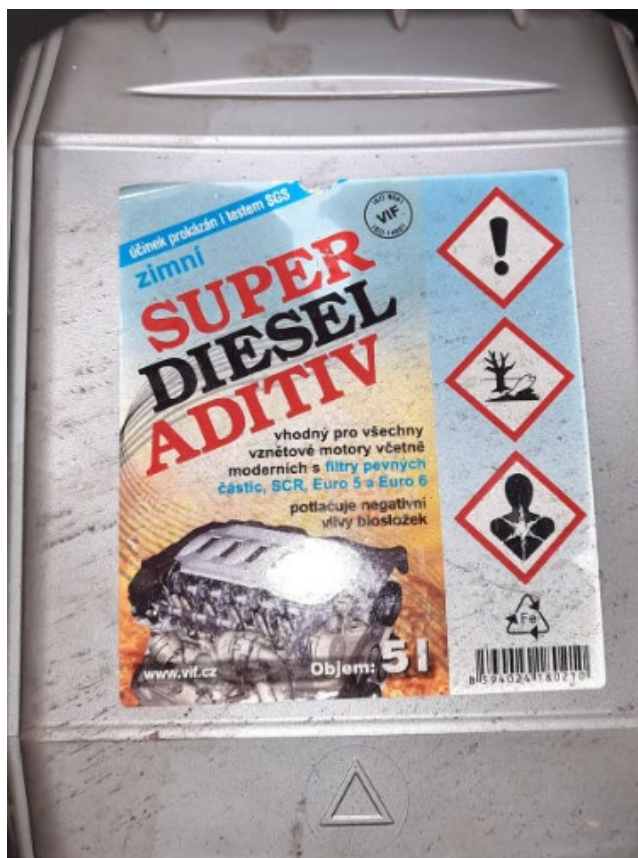
Tab. 1 Technické parametre automobilu
Tab. 1 Technical parameters of the vehicle

Zdvihový objem valcov	1753 cm ³
Výkon motora/ot.	85 kW / 3 700 min ⁻¹
Prevádzková hmotnosť	1391 kg
Poháňaná náprava	Predná
Najvyššia konštrukčná rýchlosť vozidla	190 km. h ⁻¹
Rozmer pneumatík	205/55 R16 – Continental celoročné
Počet najazdených kilometrov	188 000
Emisná trieda	Euro 4

Pri všetkých meraniach bola použitá klasická výrobcom zvlášť neaditivovaná nafta od spoločnosti Slovnaft. Táto nafta má podiel bio zložky max. 7 %. Aditívum, ktoré sme pridávali do nafty je VIF, Super Diesel Aditiv – zimný (Obr.2). Pridávali sme ho do nádrže v pomere odporúčanom výrobcom, na 20 l paliva 20 ml aditíva.

Metodika merania pozostávala z nasledujúcich krokov:

1. Zaistenie automobilu na skúšobnej valcovej stolici.
2. Prispôbenie skúšobnej stolice k parametrom meraného vozidla, napríklad zvolenie predného náhonu, počtu prevodových stupňov a druhu paliva.
3. Zavedenie potrebných snímačov, napríklad snímaču teploty oleja, zapojenie prietokomeru na meranie spotreby paliva. Pripojenie OBD konektora
4. Zavedenie emisnej sondy do výfuku vozidla, kontrola jej tesnosti, prietoku a zapojenie do analyzátoru výfukových plynov.



Obr. 2 Aditívum používané pri meraniach [Vlastná fotografia]
Fig. 2 Additive used in measurements [Own photo]

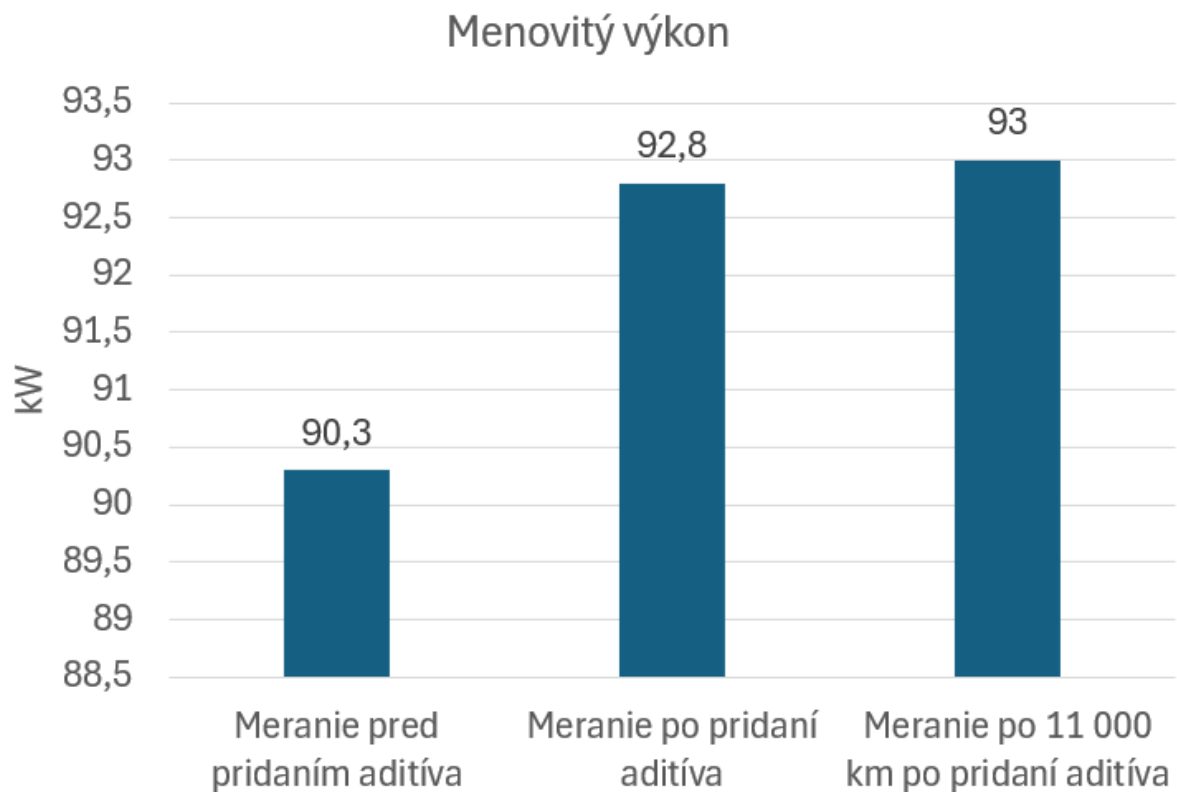
Postup pri meraní:

1. Je potrebné, aby bol motor zohriaty na prevádzkovú teplotu.
2. Následne sa pristupuje k meraniam vo vopred určených časových intervaloch s ustálenými otáčkami, v našom prípade 110 sekúnd a 2500 min^{-1} , počas ktorých sa zisťuje výkon motora, spotreba a emisie.
3. Palivo sa aditivuje podľa pokynov výrobcu, dôležité je najmä správne premiešanie nafty s aditívom, následne motor beží 30 minút aby sa palivo upravené aditívom dostalo do celej palivovej sústavy.

3 Výsledky a diskusia

Výsledné hodnoty meraní jednotlivých emisných a výkonnostných parametrov sú znázornené na jednotlivých grafoch. Každé meranie prebiehalo za rovnakých podmienok pri jazdnej skúške v laboratóriu.

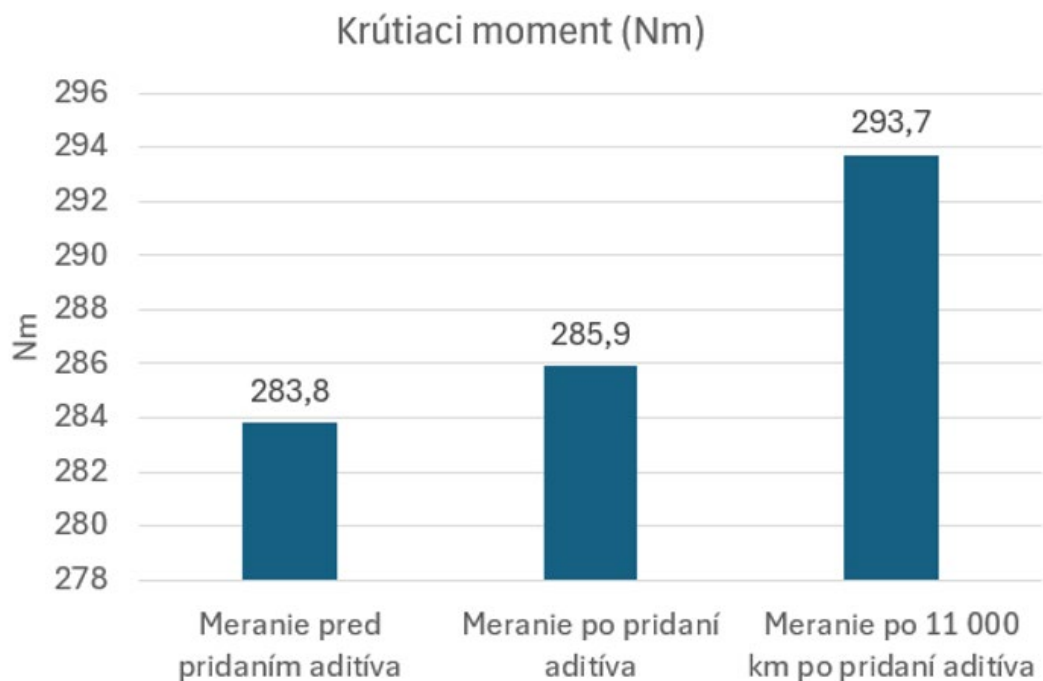
Medzi meraním výkonu bez aditíva a meraním 11 000 km po pridaní aditíva vidíme rozdiel 3 %. Tento rozdiel môžeme považovať za pomerne uspokojivý, pretože aj vzhľadom na určité opotrebovanie motora a jeho súčastí počas odjazdených 11 000 km sa výkon po pridaní aditíva zvýšil.



Obr. 3: Menovitý výkon [Vlastné spracovanie]

Fig. 3: Engine power [Own diagram]

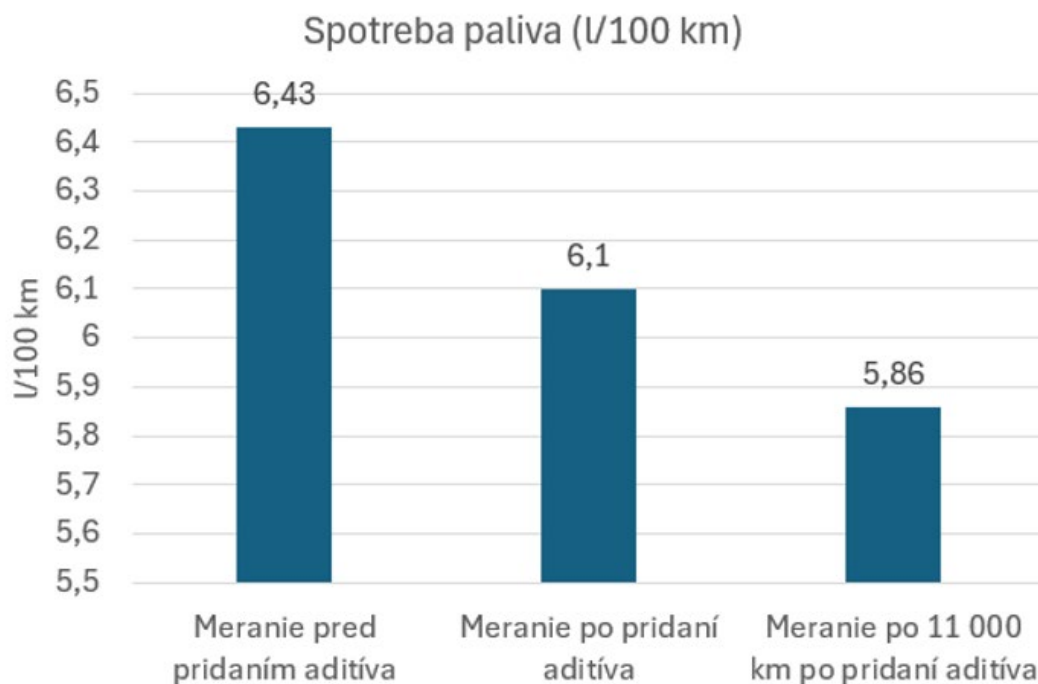
U krútiaceho momentu vidíme rovnako nárast. Medzi meraním bez aditíva a meraním po 11 000 km vidíme nárast krútiaceho momentu na úrovni 3,37 %.



Obr. 4: Krútiaci moment [Vlastné spracovanie]

Fig. 4: Engine torque [Own diagram]

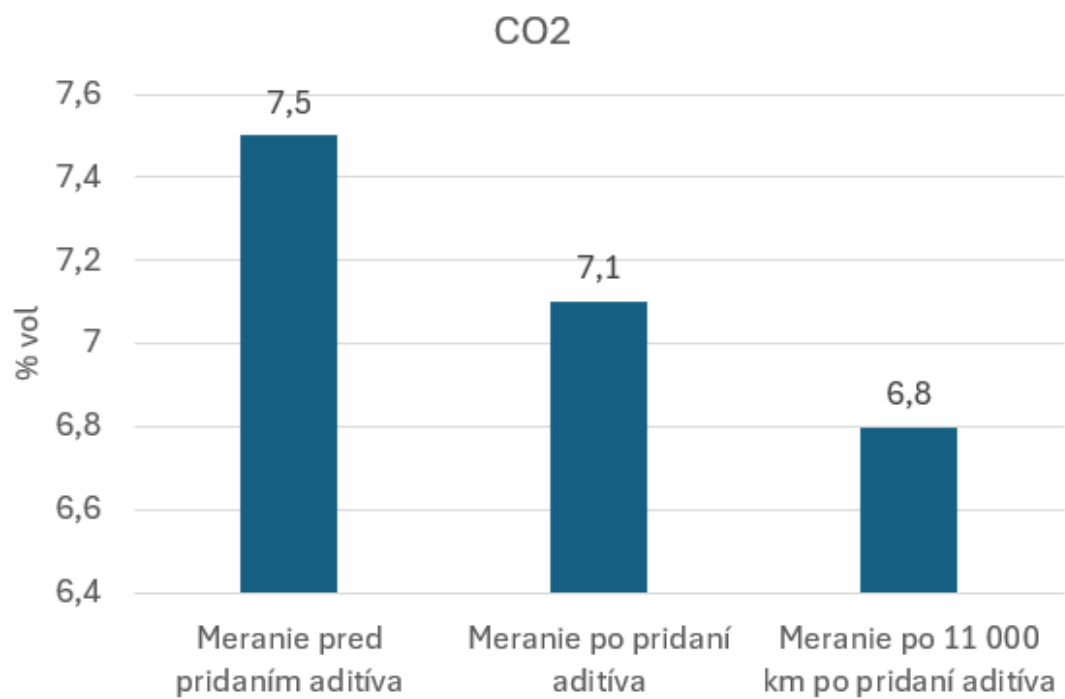
Medzi prvým meraním bez aditíva a meraním po 11 000 km s používaním aditíva vidíme pokles spotreby paliva až o 8,86 %, čo môžeme považovať za veľmi pozitívny vplyv. Tento výsledok ukazuje vysoký predpoklad na to, že dlhodobejšie používanie aditíva má pozitívny dopad na spotrebu paliva. Výrobcom udávaná spotreba paliva je na úrovni 5,2 l/100 km.



Obr. 5: Spotreba paliva [Vlastné spracovanie]

Fig. 5: Fuel consumption [Own diagram]

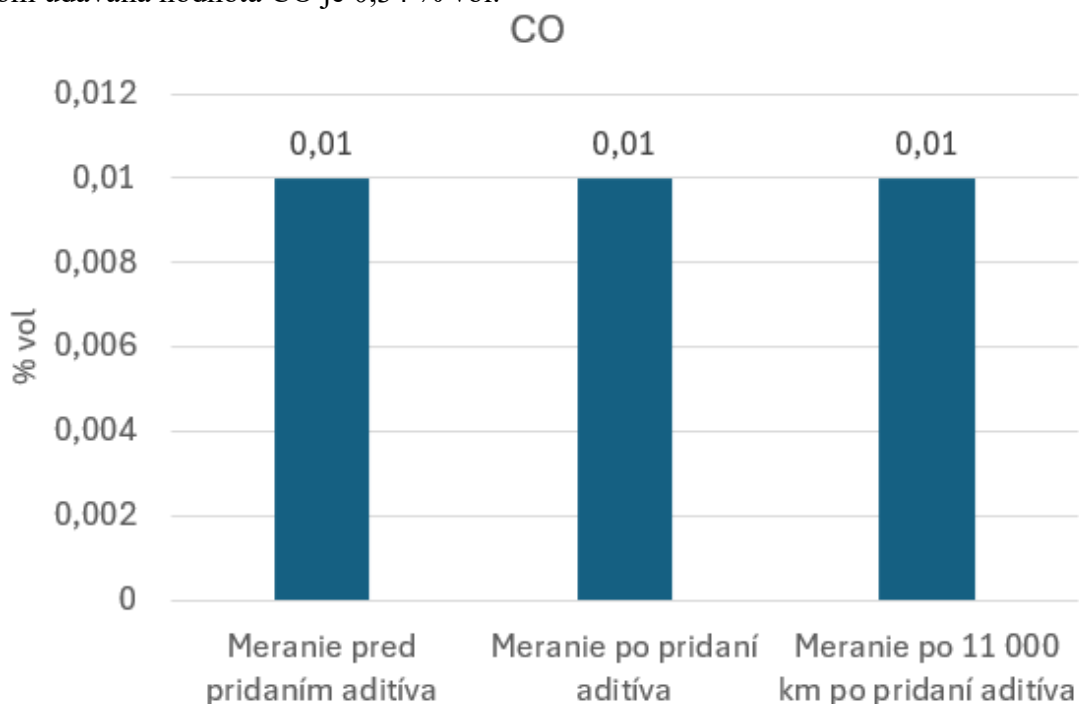
U CO₂ (oxid uhličitý) môžeme vidieť nezanedbateľný pokles. Medzi meraním bez aditíva a 11 000 km s pridávaním aditíva je pokles obsahu CO₂ až o 9,33 %. Tento pokles môžeme považovať spolu s poklesom spotreby za pozitívny vplyv aditíva.



Obr. 6: Produkcia CO₂ pri ustálenom výkone [Vlastné spracovanie]

Fig. 6: CO₂ production at steady state output [Own diagram]

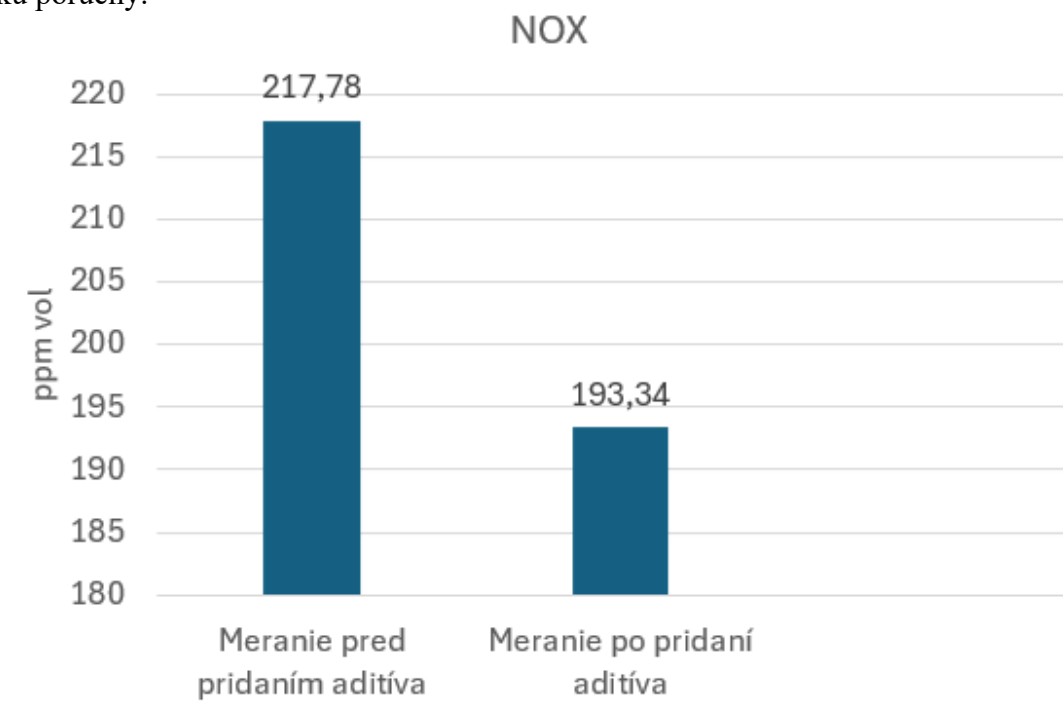
U CO (oxid uhoľnatý) sa pri meraní neprejavil žiadny veľký pokles ani stúpanie. Výrobcom udávaná hodnota CO je 0,34 % vol.



Obr. 7: Produkcia CO pri ustálenom výkone [Vlastné spracovanie]

Fig. 7: CO production at steady state output [Own diagram]

U NO_x (oxidy dusíka) sme zaznamenali rovnako pokles už krátko po pridaní aditíva. Stačilo aby skúmané vozidlo 30 minút bežalo striedavo na voľnobežných a zvýšených otáčkach. Pokles NO_x je až o 11,22 %. Žiaľ emisie po 11000 km sa nepodarilo namerať v dôsledku poruchy.



Obr. 8: Produkcia NO_x pri ustálenom výkone [Vlastné spracovanie]

Fig. 8: NO_x production at steady state output [Own diagram]

4 Záver

Po porovnaní výsledkov v grafoch môžeme posúdiť, že aditívum do nafty malo vplyv na všetky parametre, okrem oxidu uhoľnatého. Najviac poklesli oxidy dusíka NO_x a to až o 11,22 %, tento pokles sme zaznamenali už po pol hodine od pridania aditíva. Z dôvodu poruchy na analyzátoch sme nedokázali odmerať podiel NO_x po 11 000 km. Oxid uhličitý CO₂ klesol až o 9,33 % čo môžeme považovať za pomerne veľký pokles. Spotreba paliva klesla o 8,86 % zo 6,43 l/100 km na 5,86 l/100 km. U krútiaceho momentu bol zaznamenaný nárast o 3,37 % čo je vzhľadom na opotrebovanie počas 11 000 km pomerne dobrý výsledok, keďže pri opotrebovaní je predpokladaný skôr pokles. U merného výkonu sme zaznamenali rovnako mierny nárast o 3%, u tohto parametru platí to, čo u krútiaceho momentu, že s postupným opotrebovaním motora sa očakáva skôr mierny pokles tohto parametru.

Pred prvým meraním vozidlo jazdilo približne 20 000 km bez pridávania aditíva. Predtým však bolo aditívum pravidelne pridávané. Zaujímavosťou je, že počas doby kedy aditívum nebolo pridávané sa postupne na vozidle začalo prejavovať mierne trhanie pri jazde rovnakou trasou na približne 2000-2500 otáčok. Po začatí pridávania aditíva sa tento citel'ný problém začal postupne vytrácať. Z praxe môžeme posúdiť, že toto aditívum, ale aj niektoré iné aditíva majú veľmi pozitívny vplyv na čistotu palivovej sústavy ale napríklad aj na čistotu EGR ventilu a sacieho potrubia.

Positívne možno vyhodnotiť vplyv aditíva na spotrebu paliva, keď došlo k zníženiu o cca 9 % a vplyv na menovitý výkon a moment pri ktorý došlo k zvýšeniu o cca 3 %, resp. 3,4 %.

Na základe nameraných parametrov, kde sme videli jednoznačný pozitívny vplyv aditíva a na základe mojich skúseností z praxe s opravami automobilov môžem jednoznačne posúdiť, že aditíva do nafty majú svoje výhody používania. Vzhľadom na pomerne dobrú cenovú dostupnosť aj nami používaného aditíva a vzhľadom na jednoduchú aplikáciu ho môžeme považovať za jednoduchý spôsob zlepšenia vlastností a kvality nafty pre bežného používateľa.

Z nášho pohľadu by bolo zaujímavé a prospešné smerovať k zvýšenej aditivácii nafty priamo výrobcami, čo by ale vedie k nepriaznivým následky na rast cien palív pri predaji koncovému užívateľovi.

5 Literatúra

ANDREJČÁK, Tomáš. 2021. ACEA. Môže vaše auto tankovať benzín E10? [online] Dostupné na <https://auto.pravda.sk/poradna/clanok/610676-acea-moze-vase-auto-tankovat-benzin-e10-tu-je-aktualny-zoznam/> [cit. 2023-4-15]

CUNNIGHAM, Matt. 2021. 10 Disadvantages of biofuels. [online] Dostupné na: <<https://auto.howstuffworks.com/fuel-efficiency/biofuels/10-biofuel-crops.htm>> [cit. 2023-4-13]

JABLONICKÝ, J. - FERIANCOVÁ, P. - TULÍK, J. - ZASTEMPOWSKI, M. - POLERECKÝ, J. Monitoring of selected parameters for gasoline vehicle while using the testing substance in laboratory conditions. In Engineering mechanics. 1.vyd. 550 s. ISSN 1805-8248. ISBN 978-80-214-5896-3. Engineering mechanics, s. 218-221

LEE, Kevin. Aktualizované 2017. Differences Between Biomass and Biofuel. [online] Dostupné na: <<https://uniag.link/xDm1D>> [cit. 2023-4-13]

RIEVAJ, Vladimír; KALAŠOVÁ, Alica; MAJEROVÁ, Zuzana. 2014. Emisie cestných vozidiel. [online] Dostupné na <<https://uniag.link/XkSO8>> [cit. 2023-4-13]

SAJDL, Jan. 2020. Emise výfukových plynu. [online] Dostupné na: <<https://www.autolexicon.net/cs/articles/emise-vyfukovych-plynu/>> [cit. 2023-4-13]

SYNÁK, F.- SYNÁK, J.: Study of the Impact of Malfunctions of and Interferences in the Exhaust Gas Recirculation System on Selected Vehicle Characteristics. In SAE International Journal of Engines. ISSN19463936, Volume 15, Issue 6, 2022.

SYNÁK, F., SYNÁK, J.: Impact of using different types of gasoline on selected vehicle properties. In Applied Engineering Letters, ISSN 24664677, Volume 5, Issue 4, p. 142 – 151, 2020.

VRABLOVÁ, Nikola. 2022. Co jsou a jak fungují aditiva do benzínu a nafty? [online] Dostupné na: <<https://uniag.link/iTxJm>> [cit. 2023-4-13]

Súhrn

Táto práca sa zameriava na testovanie vybraného aditíva do motorovej nafty. Prvé meranie bolo vykonané bez aditíva, druhé meranie bolo po pridaní aditíva. Tretie meranie sa uskutočnilo po 11 000 km, počas ktorých sa do nafty pridávalo aditívum. Podmienky sú pri všetkých meraniach rovnaké. Jediný rozdiel bol v pridanom aditíve. Merali sme emisie, výkon a spotrebu. Pri všetkých meraných parametroch sme zaznamenali zmenu. Merania považujeme za úspešné.

Kľúčové slová: aditívum, nafta, emisie, výkon, spotreba paliva

POSÚDENIE PNEUMATÍK JEDNOSTOPOVÉHO VOZIDLA

ONE-WHEEL TYRE ASSESSMENT

MATÚŠ RAČEK – IVAN JANOŠKO

Abstract

This thesis deals with the measurement and evaluation of selected dynamic properties of a motorcycle. We have tested these properties by means of experimental driving tests. These tests focused on acceleration and deceleration of the vehicle at speeds of 40, 60 and 100 km·h⁻¹. At each speed, the ride was repeated 3 times as braking from each speed was performed first using the rear foot brake, then the front brake and finally both brakes simultaneously. The tests were carried out in two phases. In the first case, the tests were carried out on used Pirelli Diablo Rosso III tyres. In the second phase, tests were conducted on new Bridgestone Battlax Hypersport S21 tyres. For a more comprehensive assessment of the motorcycle, a dynamic slalom ride between cones was chosen, where lateral acceleration, longitudinal acceleration and travel time were measured. All measured data were then processed and the results of the measurements were compared with each other. All these tests were performed on a Honda CB 600F motorcycle.

Key words: motorcycle, tyres, acceleration, deceleration

1 Úvod

Jednostopové motorové vozidlá, motocykle, predstavujú dôležitú časť dopravného systému a sú stále populárnejšie vo svete. Motocykel je dvojkolesový bezkoľajový dopravný prostriedok poháňaný motorom na dopravu jednej alebo dvoch za sebou sediacich osôb. (VLK, F.:2004.). Charakter motocykla a jeho vlastnosti ovplyvňujú rôzne faktory ako výkon, hmotnosť, konštrukcia, podvozok, pneumatiky a mnohé ďalšie. Je dôležité poznať hlavné parametre vozidla, nakoľko podľa toho sa odvíja spôsob a charakter jazdy. Už základná koncepcia konštrukcie motocykla má za následok zníženie jeho stability oproti iným dopravným prostriedkom (KOPP, 2008.). Konštruktéri motocyklov neustále posúvajú hranice ich technických parametrov. Snažia sa zvyšovať výkon, aerodynamiku a zameriavajú sa aj na bezpečnosť a pohodlie jazdcov. V súčasnosti sú motocykle vybavené rôznymi bezpečnostnými systémami podobne ako automobily. Najčastejšie sa jedná o proti-blokovacie systémy (ABS), stabilizačné systémy či protišmykové systémy. Pri motocykloch je taktiež veľmi dôležitý brzdný systém, ktorý zohráva kľúčovú rolu pri jazdných vlastnostiach, manévrovateľnosti a celkovo ovládania motocykla (Paškovičová S., 2015.). Dôležitou súčasťou motocykla sú pneumatiky. Pneumatika je jediná časť stroja, ktorá prichádza do styku s vozovkou a preto správne obutie je kľúčovým faktorom, ktorý ovplyvňuje jazdné schopnosti motocykla (Marcín J., Zítek P., 1985). Cieľom tejto práce je posúdiť motocykel respektíve jeho dynamické vlastnosti jazdnými skúškami na opotrebovaných pneumatikách a následne na nových pneumatikách.

2 Materiál a metódy

Na posúdenie vlastností sme zvolili motocykel Honda CB 600F Hornet (Obr.1). Motocykel patrí medzi stredne veľké naked bike „naháče“, ako sa im ľudovo hovorí. Tieto typy motocyklov sú veľmi populárne a sú navrhnuté s dôrazom na agilitu, spoľahlivosť a komfort. Tento motocykel bol vyrobený v roku 2011, má najazdených 19568 km a nie je vybavený žiadnym bezpečnostným elektronickým systémom. Viac technických údajov je uvedených v tabuľke (Tab.1).

Tab. 1 Technické parametre vozidla Honda CB 600F
Tab. 1 Technical parameters of the vehicle Honda CB 600F

Model	Honda CB 600F Hornet
Rok výroby	2011
Motor	Štvortaktný radový štvorvalec, DOHC, 16 ventil, chladený kvapalinou
Zdvihový objem valcov	599 cm ³
Maximálny výkon	75 kW pri 12000 min ⁻¹
Maximálny krútiaci moment	63,5 Nm pri 10500 min ⁻¹
Prevodovka	6 rýchlostná manuálna
Brzdy	Kotúčové, kvapalinové
Brzdy predné	2x 296 mm kotúče, dvoj piestové strmene
Brzdy zadné	250 mm kotúč, jedno piestový strmeň
Systém ABS	nie
Predná pneumatika	120/70 ZR17
Zadná pneumatika	180/55 ZR17
Dĺžka	2090 mm
Šírka	740 mm
Výška	1092 mm
Rázvor kolies	1435 mm
Prevádzková hmotnosť	173 kg
Maximálna rýchlosť	223,9 km·h ⁻¹



Obr.1 Motocykel Honda CB 600F
Fig.1 Motorcycle Honda CB 600F

Meranie na opotrebovaných pneumatikách prebehlo na pneumatikách Pirelli Diablo Rosso III (Tab.2), ktoré boli vyrobené v roku 2016, neboli na ich vážne známky opotrebovania a počas testov boli správne nahustené.

Tab. 2 Technické parametre pneumatík Pirelli Diablo Rosso III

Tab. 2 Technical parameters of tyres Pirelli Diablo Rosso III

Šírka pneumatiky (zadná)	180 mm
Výška pneumatiky (zadná)	108 mm
Šírka pneumatiky (predná)	120 mm
Výška pneumatiky (predná)	72 mm
Rýchlostný index	270 km·h ⁻¹
Konštrukcia pneumatiky	Radiálna
Priemer ráfika	17 palcov
Index nosnosti (zadná)	365 kg
Index nosnosti (predná)	236 kg
Vyhotovenie	Bezdušové
Tlak nahustenia	2,9 bar (0,29 MPa)
Hĺbka dezénu (zadná)	3 mm
Hĺbka dezénu (predná)	2 mm
Rok výroby	2016



Obr.2 Pneumatiky Pirelli Diablo Rosso III

Fig.2 Tyres Pirelli Diablo Rosso III

Meranie na nových pneumatikách prebehlo na pneumatikách Bridgestone Battlax Hypersport S21 (Tab.3), ktoré boli v deň merania prvýkrát obuté na diskoch a správne nahustené.

Tab.3 Pneumatiky Bridgestone Battlax Hypersport S21
 Tab.3 Tyres Bridgestone Battlax Hypersport S21

Šírka pneumatiky (zadná)	180 mm
Výška pneumatiky (zadná)	108 mm
Šírka pneumatiky (predná)	120 mm
Výška pneumatiky (predná)	72 mm
Rýchlostný index	270 km·h ⁻¹
Konštrukcia pneumatiky	Radiálna
Priemer ráfika	17 palcov
Index nosnosti (zadná)	365 kg
Index nosnosti (predná)	236 kg
Vyhotovenie	Bezdušové
Tlak nahustenia	2,9 bar (0,29 MPa)
Hĺbka dezénu (zadná)	7 mm
Hĺbka dezénu (predná)	5 mm
Rok výroby	2024

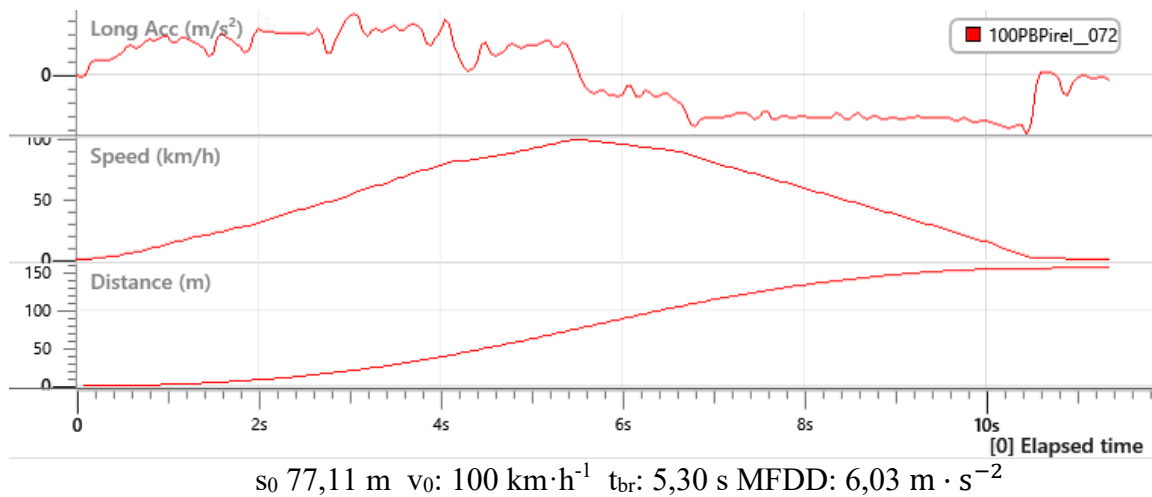


Obr.3 Pneumatiky Bridgestone Battlax Hypersport S21
 Fig.3 Tyres Bridgestone Battlax Hypersport S21

Meranie sa uskutočnilo na málo frekventovanej pozemnej komunikácii, s vyhovujúcim povrchom a za priaznivých podmienok. Prvé merania sa uskutočnili s opotrebovanými pneumatikami, pričom testy zahŕňali akceleráciu motocykla z 0-40 km·h⁻¹, 0-60 km·h⁻¹ a 0-100 km·h⁻¹ a následnú deceleráciu zo 40-0 km·h⁻¹, 60-0 km·h⁻¹ a 100-0 km·h⁻¹. Pre každú rýchlosť sme uskutočnili 3 merania - najskôr bola použitá len predná brzda, potom zadná brzda a nakoniec obe brzdy súčasne. Ďalším testom zameraným na zistenie pozdĺžnych a priečných zrýchlení bola jazda slalomom. Cieľom testu bolo, v čo najkratší čas prejsť vytýčenú dráhu, ktorá pozostávala z piatich kužeľov, ktoré boli rozostavené 7 metrov od seba. Tieto testy sme merali pomocou prístroja XL MeterTM. Namerané hodnoty sme zaznamenali a následne vyhodnotili v počítačovej aplikácii numericky a graficky. Primárne bolo merané spomalenie, z ktorého sa určila stredná hodnota MFDD, potom integráciou podľa času počiatočná rýchlosť v_0 a dráha s_0 počas času brzdenia t_{br} .

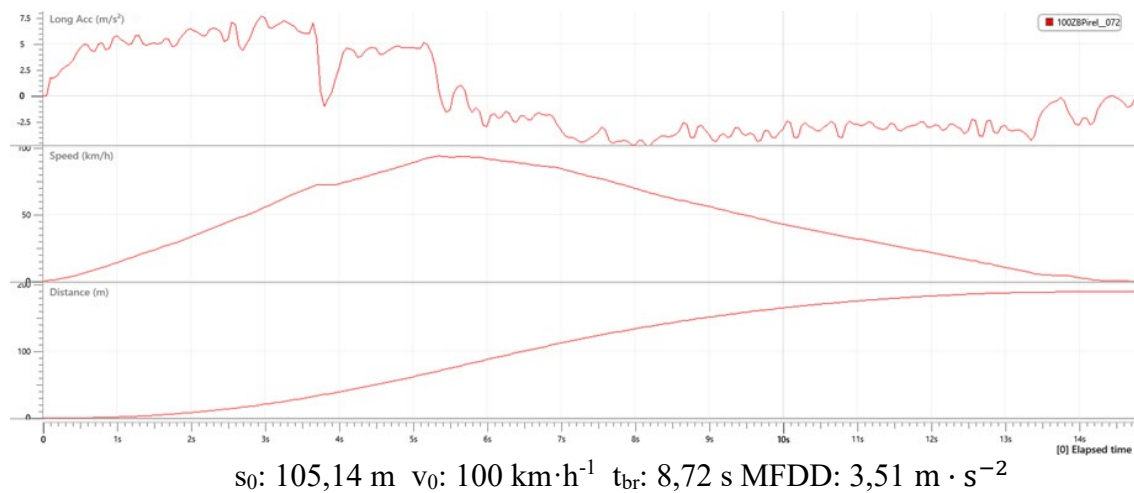
3 Výsledky a diskusia

Výsledné hodnoty meraní sú zaznamenané v obrázkoch a tabuľkách.



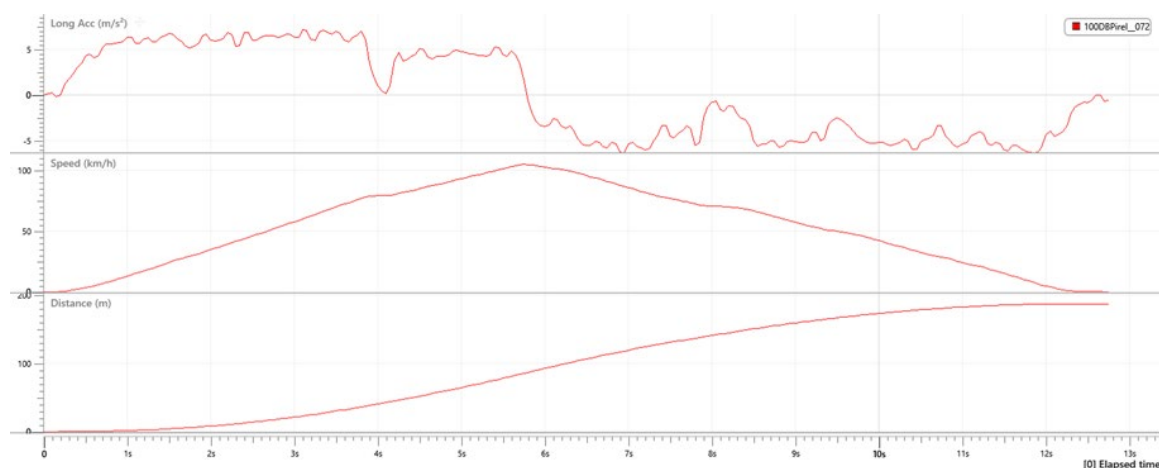
Obr. 4 Honda CB 600F, $v_0=100$ km·h⁻¹, teplota 22°C, predná brzda, Pirelli Diablo Rosso III, suchá vozovka, bez ABS

Fig.4 Honda CB 600F, $v_0=100$ km·h⁻¹, temperature 22°C, front break, Pirelli Diablo Rosso III, dry road, without ABS



Obr. 5 Honda CB 600F, $v_0=100$ km·h⁻¹, teplota 22°C, zadná brzda, Pirelli Diablo Rosso III, suchá vozovka, bez ABS

Fig.5 Honda CB 600F, $v_0=100$ km·h⁻¹, temperature 22°C, rear break, Pirelli Diablo Rosso III, dry road, without ABS



So: 87,04 m V_0 : 100 km·h⁻¹ Tbr: 6,21 s MFDD: 4,06 m · s⁻²

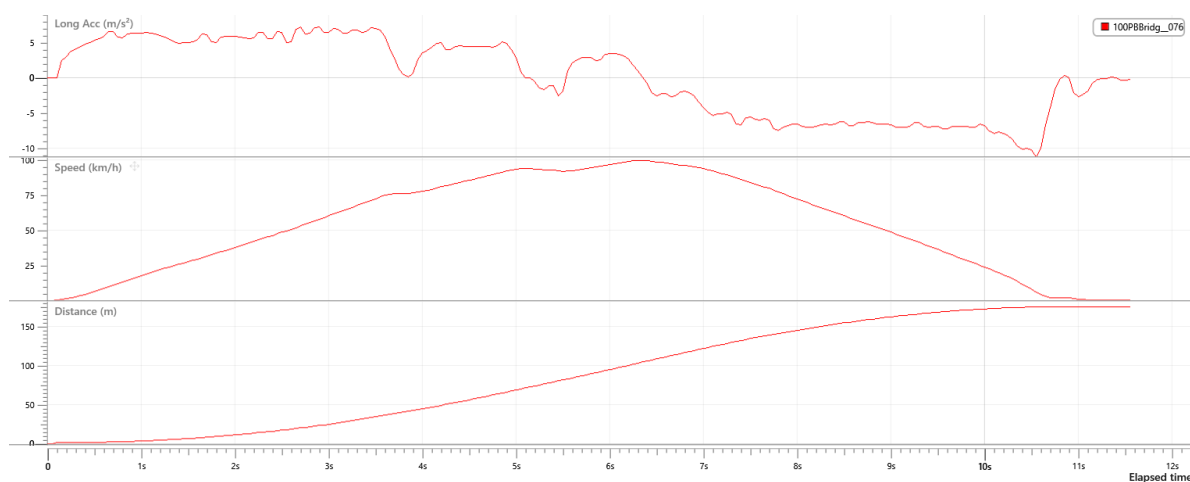
Obr. 6 Honda CB 600F, $v_0=100$ km·h⁻¹, teplota 22°C, obe brzdy, Pirelli Diablo Rosso III, suchá vozovka, bez ABS

Fig.5 Honda CB 600F, $v_0=100$ km·h⁻¹, temperature 22°C, both breaks, Pirelli Diablo Rosso III, dry road, without ABS

Tab. 4 Namerané hodnoty brzdzenia motocykla Honda CB 600F na opotrebovaných pneumatikách Pirelli Diablo Rosso III

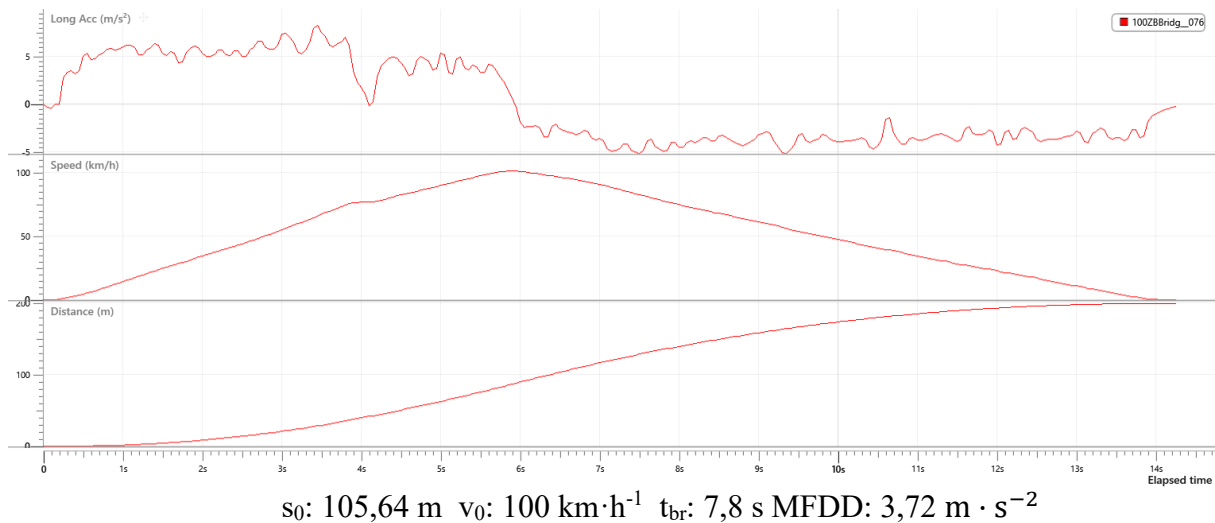
Tab. 4 Measured parameters of deceleration of the motorcycle Honda CB 600F on the used tyres Pirelli Diablo Rosso III

	Predná brzda	Zadná brzda	Obe brzdy
Rýchlosť	100 km·h ⁻¹	100 km·h ⁻¹	100 km·h ⁻¹
Dĺžka brzdnjej dráhy (vozovka)	67,4 m	75,9 m	73,7 m
Namerané hodnoty z XL Metra			
S_0	77,11 m	105,14 m	87,04 m
T_{br}	5,30	8,72 s	6,21 s
MFDD	6,03 m · s ⁻²	3,51 m · s ⁻²	4,06 m · s ⁻²

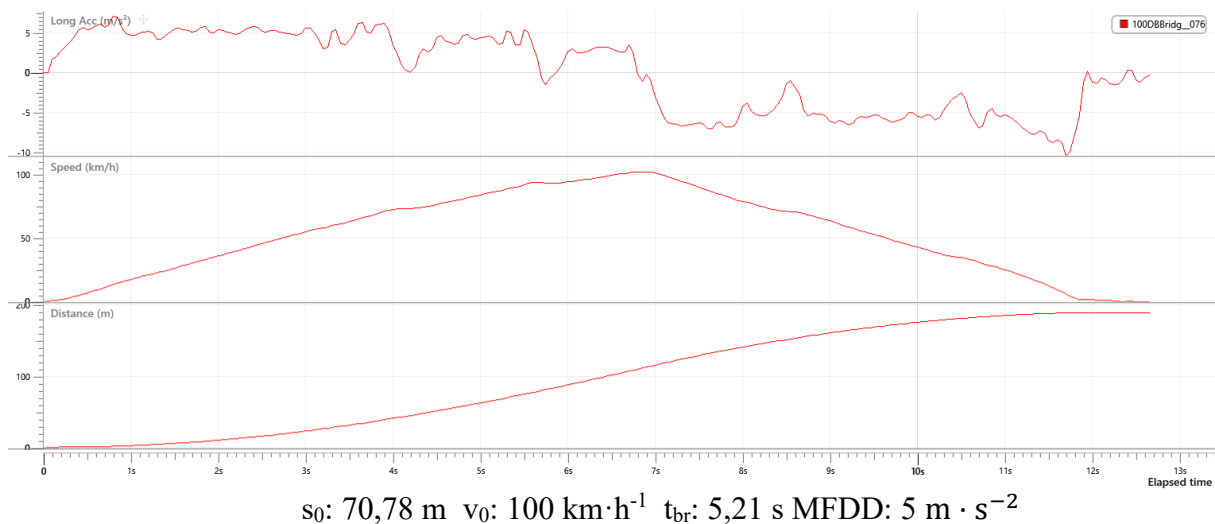


s0: 67,53 m v_0 : 100 km·h⁻¹ tbr: 4,65 s MFDD: 6,82 m · s⁻²

Obr. 7 Honda CB 600F, $v_0=100 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, teplota 22°C , predná brzda, Bridgestone Battlax Hypersport S21, suchá vozovka, bez ABS
Fig. 7 Honda CB 600F, $v_0=100 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, temperature 22°C , front break, Bridgestone Battlax Hypersport S21, dry road, without ABS



Obr. 8 Honda CB 600F, $v_0=100 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, teplota 22°C , zadná brzda, Bridgestone Battlax Hypersport S21, suchá vozovka, bez ABS
Fig. 8 Honda CB 600F, $v_0=100 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, temperature 22°C , rear break, Bridgestone Battlax Hypersport S21, dry road, without ABS

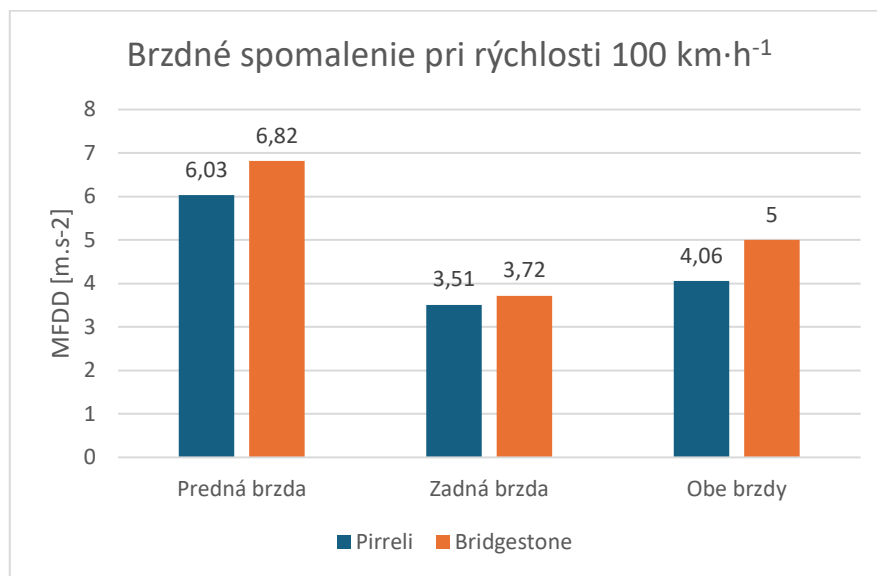
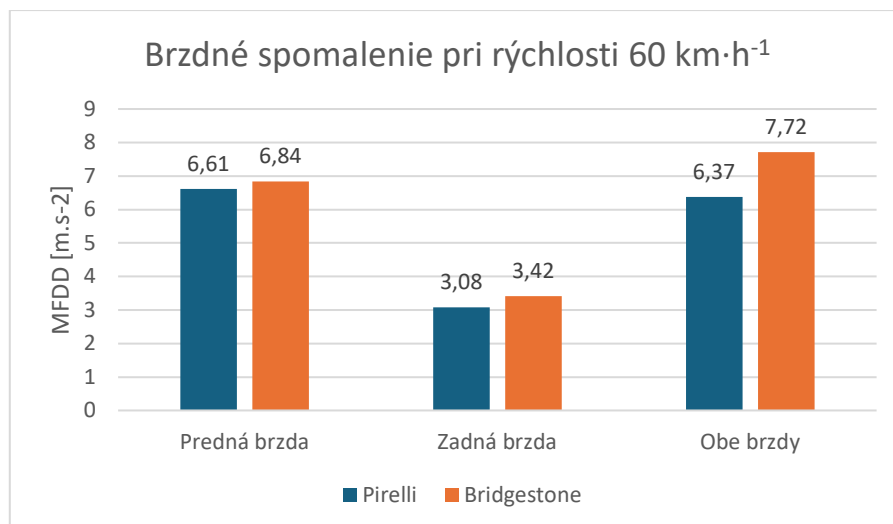


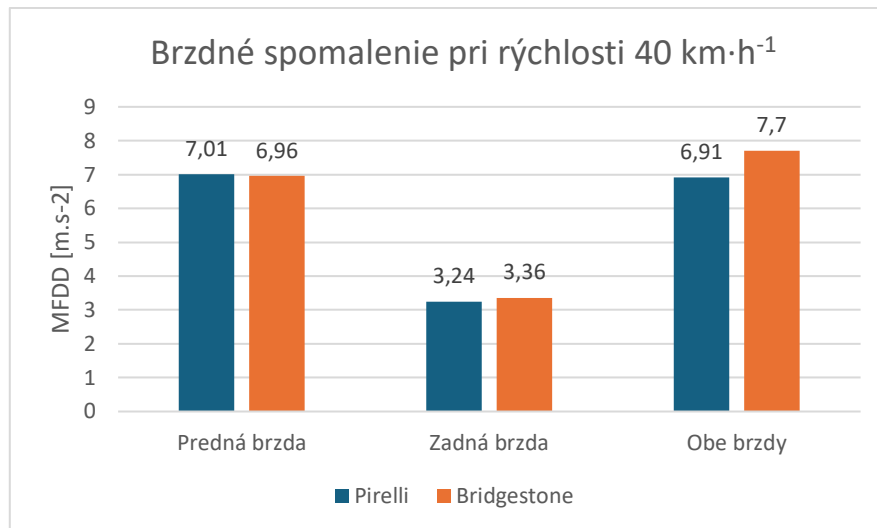
Obr. 9 Honda CB 600F, $v_0=100 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, teplota 22°C , obe brzdy, Bridgestone Battlax Hypersport S21, suchá vozovka, bez ABS
Fig. 9 Honda CB 600F, $v_0=100 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, temperature 22°C , both breaks, Bridgestone Battlax Hypersport S21, dry road, without ABS

Tab. 5 Namerané hodnoty brzdenia motocykla Honda CB 600F na nových pneumatikách Bridgestone Battlax Hypersport S21

Tab. 5 Measured parameters of deceleration of the motorcycle Honda CB 600F on the new tyres Bridgestone Battlax Hypersport S21

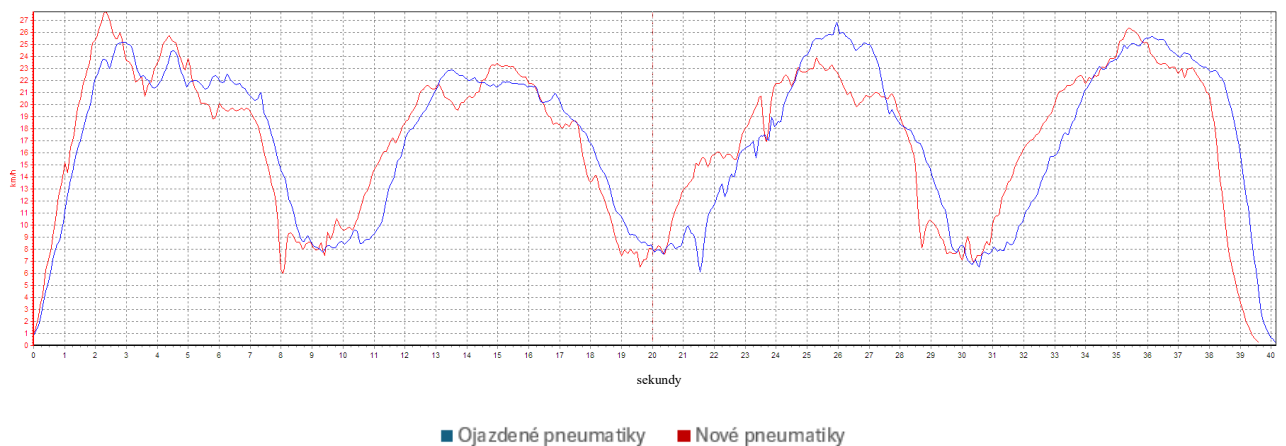
	Predná brzda	Zadná brzda	Obe brzdy
Rýchlosť	100 km·h ⁻¹	100 km·h ⁻¹	100 km·h ⁻¹
Viditeľná dĺžka brzdnej dráhy (vozovka)	51,3 m	80,6 m	64 m
Namerané hodnoty z XL Metra			
S_0	67,53 m	105,64 m	70,78 m
T_{br}	4,65 s	7,8 s	5,21 s
MFDD	6,82 m · s ⁻²	3,72 m · s ⁻²	5 m · s ⁻²

Obr. 10 Dosiahnuté maximálne spomalenie z rýchlosti 100 km·h⁻¹Fig. 10 Achieved maximum deceleration from 100 km·h⁻¹Obr. 11 Dosiahnuté maximálne spomalenie z rýchlosti 60 km·h⁻¹Fig. 11 Achieved maximum deceleration from 60 km·h⁻¹



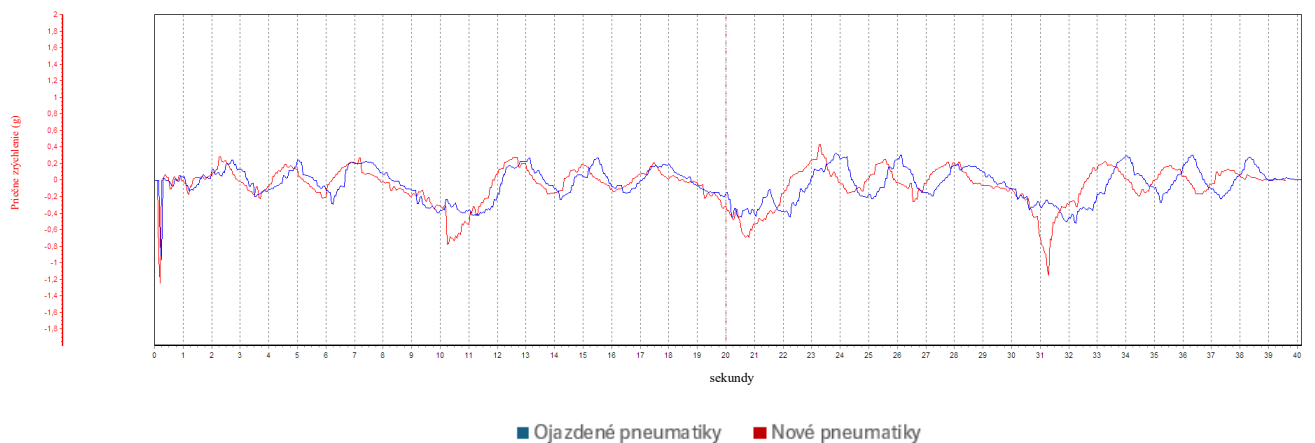
Obr. 12 Dosiahnuté maximálne spomalenie z rýchlosti 40 km·h⁻¹

Fig. 12 Achieved maximum deceleration from 40 km·h⁻¹



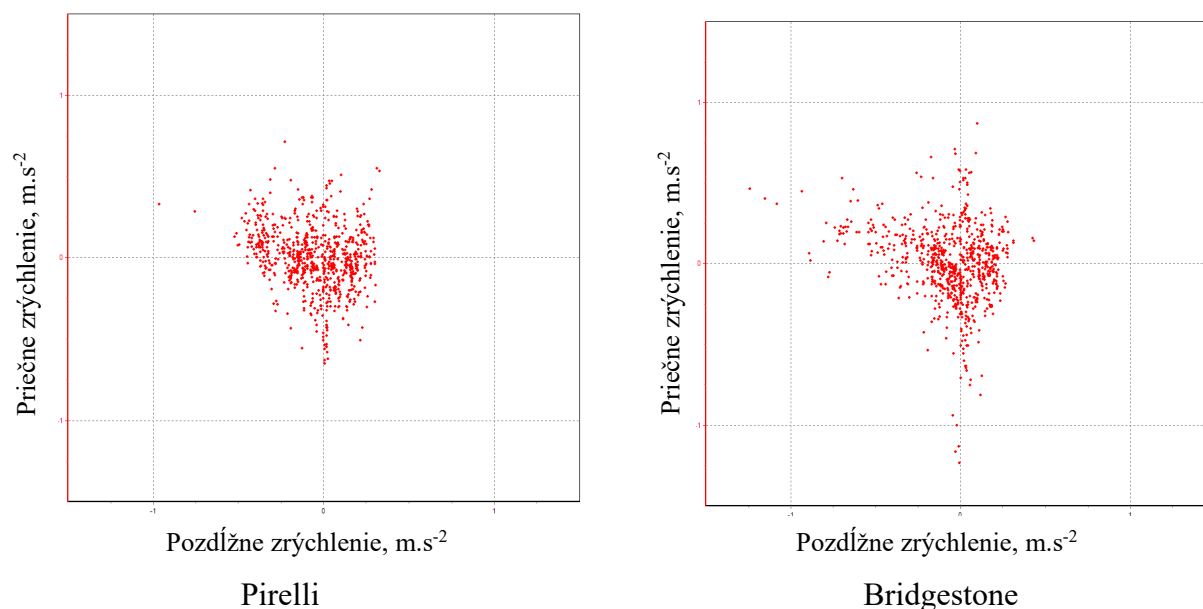
Obr. 13 Porovnanie dosiahnutých rýchlostí pri slalomovej jazde opotrebovaných pneumatík oproti novým pneumatikám

Fig. 13 Comparison of slalom speeds achieved with worn tyres versus new tyres



Obr. 13 Porovnanie dosiahnutých priečných zrýchlení pri slalomovej jazde opotrebovaných pneumatík oproti novým pneumatikám

Fig. 13 Comparison of achieved lateral accelerations in slalom driving of worn tyres versus new tyres



Obr. 14 Krížové spektrum pozdĺžnych a priečných zrýchlení
Fig. 14 Cross spectrum of longitudinal and transverse accelerations

Podľa nameraných hodnôt (Obr. 4-14) môžeme konštatovať, že v každom teste boli zistené brzdné hodnoty nových pneumatík lepšie v porovnaní s opotrebovanými. Pri deceleračných skúškach, aj pri slalomovej jazde vyšli z testu lepšie nové pneumatiky. Motocykel na nových pneumatikách bol lepšie ovládateľný, rýchlejší a dokázal pri náklonoch vyvinúť vyššie priečne rýchlosti a zrýchlenia. Je dôležité dodať, že dané testovanie je do istej miery ovplyvnené schopnosťami a skúsenosťami jazdca. Z meraní vieme ďalej konštatovať, že pneumatiky sú dôležitým faktorom, ktorý ovplyvňuje nielen brzdné vlastnosti motocykla, ale aj ovládateľnosť a dynamické vlastnosti motocykla. Po vykonaných testoch pneumatiky neniesli žiadne vážne následky opotrebovania alebo poškodenia.

4 Záver

Práca sa zaoberá posúdením vybraných vlastností jednostopového vozidla, motocykla a jeho významných dynamických parametrov. V práci porovnávame pneumatiky, ojazdené a nové - ich vplyv na brzdné spomalenie a brzdnú dráhu z určitých rýchlostí pri použití prednej, zadnej a oboch brzd. Práca sa taktiež zaoberá porovnaním dynamických parametrov motocykla na opotrebovaných pneumatikách oproti novým pneumatikám pri dynamickej jazde slalomom medzi kužeľmi. Merania sa uskutočnili pri priaznivých poveternostných podmienkach a teplote vzduchu okolo 20°C a teplote vozovky okolo 23°C. Odborná literatúra uvádza, že nové pneumatiky budú mať jazdné vlastnosti lepšie oproti opotrebovaným pneumatikám. Je to z dôvodu najmä starnutia pneumatík, kedy ich zmes tvrdne a tým stráca svoje vlastnosti. V našich meraniach takmer v každom prípade nové pneumatiky vykazovali lepšie adhézne vlastnosti oproti opotrebovaným pneumatikám. Z hľadiska bezpečnosti je teda dôležité nezanedbávať vek pneumatík. Z našich meraní vyplýva, že čím staršie pneumatiky sú použité na jednostopovom vozidle, tým viac klesajú ich adhézne vlastnosti, následne aj bezpečnosť jazdy motocyklom.

5 Literatúra

VLK, František. 2004. Teorie a konstrukce motocyklů. 1. a 2. vyd. Brno : 2004. 661 s. ISBN 80-239-1601-7.

KOPP, Autorský kolektív. 2008. Dokonalá jízda na motocyklu. vyd. Kopp. České Budějovice : 2008. 212 s. ISBN 978-80-7232-347-0.

PAŠKIEVIČOVÁ, Simona. 2015. Špecifiká prevádzky motocyklov z hľadiska bezpečnosti cestnej premávky : diplomová práca. Košice : ÚOB, 2015. 108 s.

JIRÍ, Marcin, ZÍTEK Petr. 1985. Pneumatiky. Praha : 1985. 492 s. ISBN 04-617-76.

Motocykel. 2015 [online] Bratislava : MOTORBIKE9, aktualizované 2015. Dostupné na: <https://motorbike9.webnode.sk/motorove-vozidla/casti-motorky/>.

KASANICKÝ, G. – KOHÚT, P. 2000. *Analýza nehôd jednostopových vozidiel*. 1. vyd. Žilina: Žilinská univerzita v Žiline, 2000. 448 s. ISBN 80-7100-598-3

COSSALTER, Vittore. MAGGIO, Roberto. 2004. *On the Braking Behavior of Motorcycle* [online]. University of Padova. 2004 Dostupné na: https://www.researchgate.net/profile/Roberto-Lot/publication/228430661_On_the_Braking_Behavior_of_Motorcycles/links/561bdacc08aea80367243152/On-the-Braking-Behavior-of-Motorcycles.pdf

HUDÁK, A. 2010. Faktory ovplyvňujúce bezpečnosť styku pneumatiky a vozovky, elektronický časopis Žilinskej univerzity v Žiline 2010, ISSN 1336-7676.

Inventure XL Meter Pro Gama acceleration/deceleration meter User Manual. 2025 [online] Budapešť : Manualzz aktualizované 2025. Dostupné na: <https://manualzz.com/doc/6694857/xl-meter%E2%84%A2-pro?p=5>

TANELLI, M. – CORNO, M. – SAVARESI, S. 2014. *Modelling, Simulation and Control of Two-Wheeled Vehicles*. ISBN 97-8111-8536-391

Súhrn

Práca sa zaoberá meraním a vyhodnotením vybraných dynamických vlastností motocykla. Vlastnosti motocykla sme testovali pomocou experimentálnych jazdných skúšok. Testy boli zamerané na zrýchlenie a spomalenie vozidla pri rýchlostiach 40, 60 a 100 km·h⁻¹. Jazda sa opakovala pri každej rýchlosti 3-krát, brzdenie v jednotlivých rýchlostiach sa vykonávalo najskôr pomocou zadnej nožnej brzdy, potom prednou brzdou a nakoniec oboma brzdami súčasne. Testy prebehli v dvoch fázach. V prvej fáze prebehli testy na ojazdených pneumatikách Pirelli Diablo Rosso III. V druhej fáze prebehli testy na nových pneumatikách Bridgestone Battlax Hypersport S21. Pre komplexnejšie posúdenie motocykla bola zvolená dynamická jazda slalomom medzi kužele, kde sa meralo priečne zrýchlenie, pozdĺžne zrýchlenie a čas jazdy. Namerané údaje boli spracované a výsledky meraní vzájomne porovnané. Všetky tieto testy boli vykonané na motocykli Honda CB 600F.

Kľúčové slová: motocykel, pneumatiky, akcelerácia, decelerácia

HODNOTENIE RIZÍK A OPTIMALIZÁCIA VÝROBNÝCH PROCESOV POMOCOU METÓDY FMEA: PRÍPADOVÁ ŠTÚDIA V PRIEMYSELNEJ PRAXI

RISK ASSESSMENT AND PROCESS OPTIMIZATION USING THE FMEA METHOD: A CASE STUDY IN INDUSTRIAL PRACTICE

SANY JOZEF SAMUEL – REŽO MAREK – ĽUBOŠ KAZÁN – MAROŠ KORENKO

Abstract

The aim of this study was to analyze manufacturing processes using the FMEA method to identify critical points and assess risk factors based on severity (S), occurrence (O), and detectability (D). The calculated Risk Priority Number (RPN) revealed that some previously considered less critical failures exhibited high values in the analyzed process, indicating specific influencing factors. Proposed risk reduction measures included implementing additional control mechanisms, employee training, and adjusting technological parameters to enhance defect detectability. The results confirmed the effectiveness of the FMEA method in risk management within manufacturing and demonstrated that systematic analysis combined with targeted corrective actions could significantly reduce defects and improve process quality. This study contributed to existing knowledge on FMEA applications in industrial practice and provided recommendations for optimizing manufacturing processes.

Key words: FMEA, process optimization, risk analysis, risk priority number (RPN)

1 Úvod

Optimalizácia výrobných procesov zohráva kľúčovú úlohu nielen v strojárstve, ale aj v ďalších priemyselných odvetviach (Process, 2021; Arena, 2024). S neustálym rozvojom technológií a rastúcou konkurenciou je nepretržité zlepšovanie výrobných procesov nevyhnutné pre udržanie konkurencieschopnosti a dlhodobý rast podniku (Ronan, 2023). Efektívne riadenie výroby umožňuje firmám zvýšiť produktivitu, znížiť náklady, minimalizovať odpad a zlepšiť kvalitu produktov, čím prispieva k vyššej hospodárskej efektívnosti (Spotfire, 2024). Tieto faktory posilňujú ich postavenie na trhu a podporujú ich dlhodobú udržateľnosť (Nyström et. al. 2006). Proces optimalizácie zahŕňa komplexný prístup – analýzu aktuálneho stavu, identifikáciu nedostatkov, návrh a zavedenie efektívnejších riešení, ako aj priebežné monitorovanie a neustále zlepšovanie. Medzi najčastejšie využívané metódy patria Six Sigma, Lean Manufacturing, Total Quality Management (TQM), Theory of Constraints (TOC) a Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) (Shah et. al. 2012). Metóda FMEA sa zameriava na

Sany Jozef Samuel, Kazán Luboš prof. Ing. Maroš Korenko, PhD. Ústav konštruovania a strojárskych technológií, Technická fakulta SPU v Nitre, xsany@uniag.sk
Režo Marek - Súkromná stredná odborná škola polytechnická DSA, Novozámocká 220, 949 05 Nitra, marek.rezo@nr.skoladsa.sk

identifikáciu a elimináciu potenciálnych porúch v procesoch ešte predtým, než nastanú. Systematicky analyzuje možné zlyhania, ich príčiny a dôsledky s cieľom minimalizovať riziká a predchádzať chybám. Jej využitie v optimalizácii výroby prispieva k zlepšeniu kvality, spoľahlivosti a bezpečnosti procesov, čím sa predchádza vzniku nezhodných výrobkov a znižujú sa náklady na opravy či reklamácie. Zlepšovanie výrobných procesov neprináša benefity len samotnej organizácii v podobe vyššej efektivity a konkurencieschopnosti, ale pozitívne ovplyvňuje aj pracovné podmienky zamestnancov (Brecher, 2009). Efektívne procesy môžu viesť k vyššej produktivite, zníženiu stresu a zvýšenej spokojnosti zamestnancov (Halonen, 2024).

2 Materiál a metódy

Metóda FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) je analytická technika zameraná na identifikáciu chýb a zlyhaní v procesoch alebo ľudských činnostiach a hodnotenie ich dôsledkov. Prostredníctvom systematického určenia a štruktúrovanej analýzy porúch zariadení umožňuje odhaliť ich príčiny a možné následky. Táto metóda je vhodná nielen na preventívnu identifikáciu rizikových faktorov, ale aj na následnú diagnostiku ich dopadov. (Hudáková et al., 2018)

Najväčšiu efektivitu dosahuje, keď sa sústreďí na tie časti systému, ktorých zlyhanie vedie k poruche celého systému. Pri rozsiahlych systémoch môže byť proces časovo náročný, pretože zahŕňa spracovanie veľkého množstva údajov a kontrolu mnohých prvkov. Analytický postup možno zhrnúť do šiestich hlavných krokov: (Šolc, 2013)

1. Definovanie úlohy a zodpovedností.
2. Zostavenie FMEA analytického tímu.
3. Vypracovanie procesnej mapy.
4. Analýza nedostatkov v aktuálnom stave.
5. Implementácia korekčných opatrení.
6. Vyhodnotenie stavu po realizovaných zlepšeniach.

Hodnotenie rizika pomocou RPN (Risk Priority Number)

Každé potenciálne zlyhanie sa hodnotí podľa troch kritérií:

1. **Závažnosť (S - Severity):** Aká vážnosť má chyba na funkciu alebo bezpečnosť?
(1 = zanedbateľné, 10 = kritické)
2. **Pravdepodobnosť výskytu (O - Occurrence):** Ako často môže chyba nastať?
(1 = minimálne, 10 = veľmi často)
3. **Odhaliteľnosť (D - Detection):** Ako ľahko sa chyba môže odhaliť?
(1 = veľmi ľahko, 10 = takmer nemožné)

Následne sa vypočíta RPN (Risk Priority Number) podľa vzorca:

$$RPN = S \times O \times D \quad (1)$$

Kde:

S – Závažnosť
O – Pravdepodobnosť výskytu
D – Odhaliteľnosť

Where:

S – Severity
O – Occurrence
D – Detection

Vyššie hodnoty RPN znamenajú väčšie riziko a vyžadujú okamžitú pozornosť.

3 Výsledky a diskusia

Výroba brzdových svetiel prebieha na pracovisku rozdelenom do viacerých sekcií. Proces začína vložení DPS (dosky plošných spojov), obsahujúcej LED svetlá a ďalšie potrebné komponenty do spodnej časti krytu svetla, ktorá je vytvarovaná do požadovaného tvaru. Pracovník zodpovedný za tento krok musí diel dôkladne skontrolovať. Ak sa zistí akákoľvek chyba, diel je vyradený z výroby, inak pokračuje ďalej v procese.

Po úspešnom vložení sa diel pokryje ochrannou vrstvou a dôkladne sa očistí od nečistôt, ako sú prach alebo drobné častice, ktoré by mohli ovplyvniť jeho funkčnosť. Následne sa ochranná vrstva pevne pripevní k spodnej časti, aby sa zabránilo jej oddeleniu počas ďalších výrobných krokov. Po upevnení skrutkami sa obe vrstvy finálne zatavia, čím sa zabezpečí ich pevné spojenie. Hotový diel sa následne uloží do prepravky a presunie do ďalšej časti výrobného procesu.



Obr. 1 Montáž zadného brzdového svetla
Fig. 1 Rear brake light installation

Po ukončení prvého kroku sa svetlá presúvajú na ďalšiu časť pracoviska, kde sa montuje vrchná časť. Pracovník na tomto úseku musí najskôr odstrániť ochrannú fóliu, pričom musí dbať na precíznosť, aby predišiel vzniku nežiaducich chýb. Nedbalé odstránenie fólie môže spôsobiť zanechanie zvyškov lepidla na povrchu súčiastky alebo jej iné poškodenie.

Ak dôjde k takémuto problému, diel sa označí ako nezhodný výrobok a odloží na vyhradené miesto pre nezhodné produkty. Rovnako sa medzi nezhodné kusy zaradia aj súčiastky s viditeľnými ryhami alebo výčnelkami, ktoré by mohli ovplyvniť ich správnu funkciu.

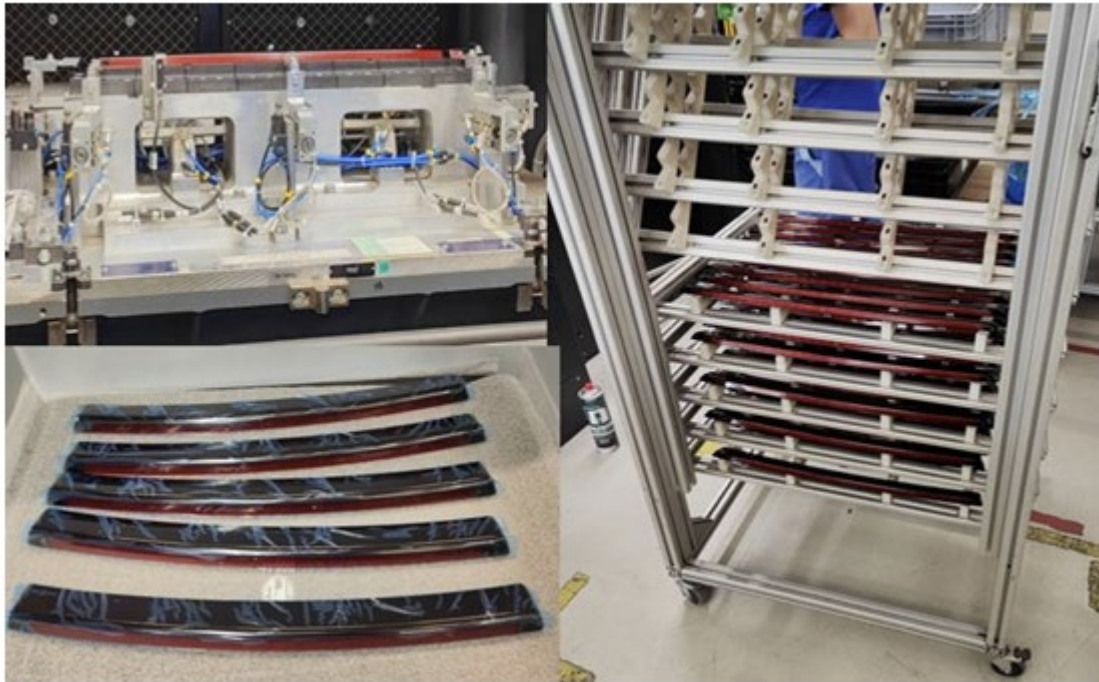
Ak je fólia správne odstránená zo súčiastky, vrchná časť sa priloží k predchádzajúcemu dielu, ktorý bol prenesený na toto pracovisko. Následne sa vloží do stroja, kde sa oba komponenty zvaria do jedného celistvého celku. Po vybratí zo stroja musí pracovník vykonať vizuálnu kontrolu, aby sa uistil, že na svetle nevznikli žiadne nežiaduce vady. Ak kontrola neodhalí žiadne problémy, svetlo sa uloží na stojan a pripraví na testovanie.



Obr. 2 Ryha na súčiastke (nezhodný výrobok)
Fig. 2 Crease on the part (non-conforming product)

Nezhodné výrobky sú vo väčšine prípadov úplne vyradené z výroby a následne likvidované. V určitých situáciách však môže dôjsť k ich opätovnému zaradeniu do výrobného procesu, ak poškodenie nie je významné a existuje dohoda so zákazníkom. Takéto prípady sú však

zriedkavé, preto je nevyhnutné pracovať s maximálnou precíznosťou, aby sa minimalizovali zbytočné náklady spojené s výrobou nových dielov.



Obr. 3 Zváranie spodnej a vrchnej časti svetla
Fig. 3 Welding the bottom and top of the light

Po dokončení zvárania sa hotový produkt presunie do testovacieho zariadenia, kde sa overí, či spĺňa požadované funkčné parametre. Ak svetlo nefunguje podľa špecifikácií, bude označené ako nezhodný výrobok a vyradené z výroby. Oprava takýchto dielov je zriedkavá, keďže zásah do hotového produktu by mohol spôsobiť ďalšie chyby, a preto sa väčšinou likviduje.

Tab. 1 Hodnotenie procesu Vstupná kontrola materiálov metódou FMEA
Table 1 Process evaluation Initial inspection of materials by FMEA method

Potenciálne následky poruchy / chyby Možné následky poruchy / chyby	Závažnosť (Z)	Možná porucha / chyba	Možná příčina poruchy / chyby	Opatrenie vedúce k zabráneniu chyby	Výskyt (V)	Opatrenie vedúce k odhaleniu	Odhalenie (D)	RPN
Legenda: CC - Kritický vplyv SC - Významný vplyv RC - Relevantný vplyv, nariadenia, smernice V - Vzhľadový výrobok, (Symboly zvláštnych charakteristických znakov / Požiadavka zákazníka, požiadavka výroby), RPN - Hodnotenie rizika (Risk Priority Number)								
Funkcia procesu: Vstupná kontrola materiálov / Stredisko ORK								
Zastavenie dávkovej kontroly po kontrole ORK, - reklamácia dielov Kontakty LH+RH	6	Nedodržaný rozmer, oneskorená dodávka k zákazníkovi, diel nie je použiteľný v ďalšom procese výroby	U dodávateľa nedodržaný výrobný a technologický postup	Zaškolenie a inštruktáž výrobných pracovníkov u dodávateľa, vstupná kontrola ORK, kontrola sprievodnej dokumentácie	3	Vstupná kontrola ORK, SPC, neuvolní nevyhovujúce diely, - kontrola každej dodávky - premeranie rozmerov dielov s materiálovým listom 100% porovnávacia kontrola množstva a označenia na identifikačnom štítku	4	72
			Výstupná kontrola u dodávateľa dododržala kontrolu podľa materiálového listu	Zaškolenie výstupnej kontroly - atest a skúšky materiálu ku každej dodávke plechu	3	Vstupná kontrola ORK, SPC, neuvolní nevyhovujúce diely, - kontrola každej dodávky - kontrola sprievodnej dokumentácie / overenie materiálu s atestom materiálu 100% porovnávacia kontrola množstva a označenia na identifikačnom štítku	4	72
		Vizuálna vada / bez odtláčkov na kontaktoch, bez otrepu, bez flakov a stôp po strihaní	U dodávateľa nedodržaný výrobný a technologický postup	Zaškolenie a inštruktáž výrobných pracovníkov u dodávateľa, vstupná kontrola ORK, kontrola sprievodnej dokumentácie	3	Vstupná kontrola ORK, SPC, neuvolní nevyhovujúce diely, - kontrola každej dodávky - premeranie rozmerov krycieho skla s materiálovým listom 100% porovnávacia kontrola množstva a označenia na identifikačnom štítku	4	72
			Výstupná kontrola u dodávateľa dododržala kontrolu podľa materiálového listu	Zaškolenie výstupnej kontroly - atest a skúšky materiálu ku každej dodávke plechu	3	Vstupná kontrola ORK, SPC, neuvolní nevyhovujúce diely, - kontrola každej dodávky - kontrola sprievodnej dokumentácie / overenie materiálu s atestom materiálu 100% porovnávacia kontrola množstva a označenia na identifikačnom štítku	4	72
				Kontrola dodávok a sledovanie s dodacím listom				

Tab. 2 Hodnotenie procesu Temperácia dielov metódou FMEA

Table 2 Evaluation of the process Tempering of parts by the FMEA method

Potenciálne následky poruchy / chyby Možné následky poruchy / chyby	Závažnosť (Z)	Možná porucha / chyba	Možná příčina poruchy / chyby	Opatrenie vedúce k zabráneniu chyby	Výskyt (V)	Opatrenie vedúce k odhaleniu	Odhalenie (D)	RPN
Legenda: CC - Kritický vplyv SC - Významný vplyv RC - Relevantný vplyv, nariadenia, smernice V - Vzhľadový výrobok, (Symboly zvláštnych charakteristických znakov / Požiadavka zákazníka, požiadavka výroby), RPN - Hodnotenie rizika (Risk Priority Number)								
Funkcia procesu: Temperácia dielov								
Výrobok nie je odolný proti trhlínám - spôsobený pnutím, zákazník reklamuje diel	8	Svetlo sa popraská po skúške ETANOLOM, následne je nedodržaná vodotesnosť, diel je nevyhovujúci	Nastavenie parametrov na zariadení (nízka / vysoká teplota)	Zaškolenie, inštruktáž pracovníkov a zoraďovača	3	Automatické sledovanie parametrov zariadenia / signalizácia zariadenia po ukončení procesu / skúška vodotesnosti	4	96
				Nastavenie zariadenia podľa pracovného				
				Uvoľnenie prvej vzorky na začiatku každej smeny / Kniha väd				
			Nastavenie parametrov na zariadení (nízky / vysoký čas)	Zaškolenie, inštruktáž pracovníkov a zoraďovača	3	Automatické sledovanie parametrov zariadenia / signalizácia zariadenia po ukončení procesu / skúška vodotesnosti	4	96
				Nastavenie zariadenia podľa pracovného				
				Uvoľnenie prvej vzorky na začiatku každej smeny / Kniha väd				
			Nastavenie nesprávneho programu k vyrábanému typu	Zaškolenie, inštruktáž pracovníkov a zoraďovača	3	Automatické sledovanie parametrov zariadenia / signalizácia zariadenia po ukončení procesu / skúška vodotesnosti	4	96
				Nastavenie zariadenia podľa pracovného				
				Uvoľnenie prvej vzorky na začiatku každej smeny / Kniha väd				

Tab. 3 Hodnotenie procesu testovanie funkčnosti a nalepenie membrány metódou FMEA

Table 3 Process evaluation of membrane functional testing and bonding by FMEA

Potenciálne následky poruchy / chyby Možné následky poruchy / chyby	Závažnosť (Z)	Možná porucha / chyba	Možná příčina poruchy / chyby	Opatrenie vedúce k zabráneniu chyby	Výskyt (V)	Opatrenie vedúce k odhaleniu	Odhalenie (D)	RPN
Legenda: CC - Kritický vplyv SC - Významný vplyv RC - Relevantný vplyv, nariadenia, smernice V - Vzhľadový výrobok, (Symboly zvláštnych charakteristických znakov / Požiadavka zákazníka, požiadavka výrobu), RPN - Hodnotenie rizika (Risk Priority Number)								
Funkcia procesu: Testovanie funkčnosti + nalepenie membrány								
Výrobok nemá svetelné parametre alebo nesvieti podľa požiadaviek zákazníka, zákazník reklamuje diel	9	Nefunkčné svetlo - LED nesvieti alebo nesvieti správne	Neosadený správny komponent	Nesprávne zvolený osádzací program obsluhou	3	100% kontrola testerom	3	81
				Zaškolenie, inštruktáž pracovníkov a zoraďovača				
				Pravidelné preškolenie pracovníkov				
				Uvoľnenie prvej vzorky na začiatku každej smeny / Použitie referenčných vzorkov OK a NOK				
			Vadný alebo poškodený diel na DPS, LED nesvieti	Nepozornosť obsluhy pri manipulácii s DPS	8	100% kontrola testerom	3	216
				Zaškolenie, inštruktáž pracovníkov				
				Pravidelné preškolenie pracovníkov				
				Uvoľnenie prvej vzorky na začiatku každej smeny / Použitie referenčných vzorkov OK a NOK				
			Dodržiavanie vyhodnenia NOK dielu do izolátora, preškolenie pracovníkov, denný audit, kontrola izolátora majstrom a ORK, zhodnosť vyhodnených dielov s displejom na zariadení	4	100% kontrola testerom	2	72	
			Nezhodná poloha kontaktov / krivé kontakty na DPS	Nepozornosť obsluhy pri osádzaní DPS do telesa	3	100% kontrola testerom	3	81
				Zaškolenie, inštruktáž pracovníkov				
				Pravidelné preškolenie pracovníkov				
				Uvoľnenie prvej vzorky na začiatku každej smeny / Použitie referenčných vzorkov OK a NOK				

Tab. 4 Hodnotenie procesu Balenie dielov a Expedícia výroby metódou FMEA

Table 4 Evaluation of the Parts Packaging and Production Expedition process by FMEA

Potenciálne následky poruchy / chyby Možné následky poruchy / chyby	Závažnosť (Z)	Možná porucha / chyba	Možná příčina poruchy / chyby	Opatrenie vedúce k zabráneniu chyby	Výskyt (V)	Opatrenie vedúce k odhaleniu	Odhalenie (D)	RPN
Legenda: CC - Kritický vplyv SC - Významný vplyv RC - Relevantný vplyv, nariadenia, smernice V - Vzhľadový výrobok, (Symboly zvláštnych charakteristických znakov / Požiadavka zákazníka, požiadavka výrobku), RPN - Hodnotenie rizika (Risk Priority Number)								
Funkcia procesu: Balenie dielov a Expedícia výroby								
Výrobok nie je zabalený podľa baliaceho predpisu, zákazník reklamuje	4	Poškodenie výrobku pri balení	Neodborná manipulácia	Zaškolenie a inštruktáž pracovníkov	3	Výstupná kontrola ORK Kontrola každej dodávky, zabalenie palety, kontrola štítkov	7	84
				Kontrola balenia s baliacim predpisom				
		Neúplné balenie	Neodborná manipulácia	Zaškolenie a inštruktáž pracovníkov	3	Výstupná kontrola ORK Kontrola každej dodávky, zabalenie palety, kontrola štítkov	7	84
				Kontrola balenia s baliacim predpisom				
		Pomiešanie kusov v balení	Neodborná manipulácia	Zaškolenie a inštruktáž pracovníkov	3	Výstupná kontrola ORK Kontrola každej dodávky, zabalenie palety, kontrola štítkov	7	84
				Kontrola balenia s baliacim predpisom				

Tab. 5 Hodnotenie procesu Testovanie funkčnosti a nalepenie membrány 2 metódou FMEA

Tab. 5 Process evaluation Functional testing and membrane bonding 2 by FMEA

Potenciálne následky poruchy / chyby Možné následky poruchy / chyby	Závažnosť (Z)	Možná porucha / chyba	Možná příčina poruchy / chyby	Opatrenie vedúce k zabráneniu chyby	Výskyt (V)	Opatrenie vedúce k odhaleniu	Odhalenie (D)	RPN
Legenda: CC - Kritický vplyv SC - Významný vplyv RC - Relevantný vplyv, nariadenia, smernice V - Vzhľadový výrobok, (Symboly zvláštnych charakteristických znakov / Požiadavka zákazníka, požiadavka výrobu), RPN - Hodnotenie rizika (Risk Priority Number)								
Funkcia procesu: Testovanie funkčnosti + nalepenie membrány								
Výrobok nie je vodotesný, podľa požiadaviek zákazníka, zákazník reklamuje diel	8	Nezvarená časť spoja, výrobok nieje vodotesný	Diel nebol správne zvarený na predchádzajúcej operácii	Zaškolenie, inštruktáž pracovníkov	3	100% kontrola testerom	3	72
				Pravidelné preškolenie pracovníkov				
			Nastavený nesprávny	Zaškolenie, inštruktáž pracovníkov	3	Automatické nastavenie programu po prehodení nástroja	3	72
				Pravidelné preškolenie pracovníkov				
			Pracovník nevhodne osadil	Zaškolenie, inštruktáž pracovníkov	3	Poka-Yoke lôžka pre správne osadenie dielov a následný test tesnosti	3	72
				Poka-Yoke pre LH + RH stranu zabráňujúcu opačné osadenie dielov				
		Obsluha zabudla nalepiť membránu, výrobok nieje vodotesný	Pracovník nedodržel pracovný postup	Zaškolenie, inštruktáž pracovníkov	3	Vizuálna kontrola, upozornenie v pracovnom postupe + fotky kde lepiť membránu	8	192
				Pravidelné preškolenie pracovníkov				
		Membrána je nalepená na hranu krúžku housingu	Pracovník nedodržel pracovný postup	Zaškolenie, inštruktáž pracovníkov	5	Vizuálna kontrola, upozornenie v pracovnom postupe + fotky kde a ako lepiť membránu	8	320
				Pravidelné preškolenie pracovníkov				
		Membrána nieje po celom obvode nalepená na miesto krúžku housingu, nieje riadne pritlačaná	Pracovník nedodržel pracovný postup	Zaškolenie, inštruktáž pracovníkov	5	Vizuálna kontrola, upozornenie v pracovnom postupe + fotky kde a ako lepiť membránu	8	320
				Pravidelné preškolenie pracovníkov				
				Doplnenie vizualizácie do knihy vúd, preškolenie pracovníkov, upozornenie na dotlačanie membrán - pracovný postup, doplnenie novej pritlačnej gumy na testovacie zariadenie, kontrola nalepenia pozície membrány kamerou, úprava otvoru pre nalepenie membrány	2	Vizuálna kontrola, upozornenie v pracovnom postupe + fotky kde a ako lepiť membránu	8	128

4 Záver

Vykonaná analýza metódou FMEA umožnila detailné posúdenie procesov dôkladnou identifikáciou kritických miest procesu spolu s hodnotením závažnosti (S), pravdepodobnosti výskytu (O) a odhaliteľnosti (D). Na základe hodnotenia bol vypočítaný index rizika RPN. Niektoré potenciálne zlyhania, ktoré boli v považované za menej kritické, dosahujú v analyzovanom procese vysoké hodnoty RPN, čo naznačuje špecifické faktory ovplyvňujúce tento výrobný proces. Navrhnuté opatrenia na zníženie rizika zahŕňali predovšetkým implementáciu dodatočných kontrolných mechanizmov, školenie pracovníkov a úpravu technologických parametrov s cieľom zvýšiť odhaliteľnosť potenciálnych chýb. Celkovo analýza FMEA potvrdila jej účinnosť ako nástroja na hodnotenie a riadenie rizík vo výrobe. Výsledky ukázali, že kombinácia systematickej analýzy a cielene implementovaných opatrení

môže výrazne prispieť k minimalizácii výskytu chýb a zvýšeniu kvality procesov. Táto štúdia tak dopĺňa existujúce poznatky o využití FMEA v priemyselnej praxi a poskytuje konkrétne odporúčania pre optimalizáciu výrobných procesov v analyzovanom podniku.

5 Literatúra

ARENA SOLUTIONS. 2024. Key factors to optimize your production lines, processes, and supply chains [online]. © 2024 [dátum citovania 2025-02-20]. Dostupné na: <<https://www.arenasolutions.com/resources/articles/two-ways-to-optimize-your-production-for-multiple-product-lines/>>.

BRECHER, C. – ESSER, M. – WITT, S. 2009. Interaction of manufacturing process and machine tool [online]. 2009 [dátum citovania 2025-02-20]. Dostupné na internete: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0007850609001723>>.

HALONEN, Antti. 2024. What is production optimization and what can it achieve? [online]. ©2024 [dátum citovania 2025-02-20]. Dostupné na: <<https://blog.pinja.com/en/what-is-production-optimization-and-what-can-it-achieve>>.

HUDÁKOVÁ, Mária a MÍKA, Vladimír. 2018. Manažérske metódy a techniky. Online. Žilina: EDIS. 145 s. Dostupné na: <http://www.akademickyrepozitar.sk/sk/repozitar/manazerske-metody-a-techniky-vyber.pdf> [dátum citovania 2025-02-20].

NYSTRÖM, Rasmus H.; HARJUNKOSKI, Iiro; KROLL, Andreas. 2006. Production optimization for continuously operated processes with optimal operation and scheduling of multiple units [online]. 2006, [dátum citovania 2025-02-20]. Dostupné na internete: <Production optimization for continuously operated processes with optimal operation and scheduling of multiple units - ScienceDirect>

PROCESS.ST. 2021. Optimization in Manufacturing: Tips for Better Efficiency [online]. [cit. dátum citovania 2025-02-20]. Dostupné na: <<https://www.process.st/process-optimization-manufacturing/>>.

RONAN, Ye. 2023. What is Manufacturing: Definition, Process, Types & Applications [online]. 2023 [dátum citovania 2025-02-20]. Dostupné na: <<https://www.3erp.com/blog/manufacturing/>>.

SHAH, Nikisha K.; IERAPETRITOU, Marianthi G. 2012. Integrated production planning and scheduling optimization of multisite, multiproduct process industry. [online]. 2012 [dátum citovania 2025-02-20]. Dostupné na internete: <Integrated production planning and scheduling optimization of multisite, multiproduct process industry - ScienceDirect>.

SPOTFIRE. 2024. What is production optimization? [online]. ©2024 [dátum citovania 2025-02-20]. Dostupné na: <<https://www.spotfire.com/glossary/what-is-production-optimization>>.

ŠOLC, Marek. 2013. Použitie metódy analýzy možných chýb a následkov FMEA v zdravotníckom procese. *EMI*. Online. Vol. 5, no. 2, s. 26-38. Dostupné na: <http://doi.org/10.56238/levv15n43-088> [dátum citovania 2025-01-18].

Súhrn

Cieľom tejto štúdie bolo analyzovať výrobné procesy pomocou metódy FMEA s cieľom identifikovať kritické body a posúdiť rizikové faktory na základe závažnosti (S), výskytu (O) a zistiteľnosti (D). Vypočítané Risk Priority Number (RPN) odhalilo, že niektoré predtým považované za menej kritické poruchy vykazovali v analyzovanom procese vysoké hodnoty, čo poukazuje na špecifické ovplyvňujúce faktory. Navrhované opatrenia na zníženie rizika zahŕňali zavedenie dodatočných kontrolných mechanizmov, školenie zamestnancov a úpravu technologických parametrov s cieľom zvýšiť zistiteľnosť porúch. Výsledky potvrdili účinnosť metódy FMEA pri riadení rizík v rámci výroby a ukázali, že systematická analýza v kombinácii s cieľovými nápravnými opatreniami môže výrazne znížiť počet chýb a zlepšiť kvalitu procesu. Táto štúdia prispela k existujúcim poznatkom o aplikácii FMEA v priemyselnej praxi a poskytla odporúčania na optimalizáciu výrobných procesov.

Kľúčové slová: FMEA, optimalizácia procesu, analýza rizík, číslo priority rizika (RPN)

ZARIADENIE NA POČÍTANIE MOTOROVÝCH VOZIDIEL NA BÁZE DEFORMÁCIE MAGNETICKÉHO POĽA ZEME

DEVICE FOR COUNTING MOTOR VEHICLES BASED ON THE DEFORMATION OF THE EARTH'S MAGNETIC FIELD

JURAJ STAŇO – VLADIMÍR CVIKLOVIČ

Abstract

The aim of this research is to design and implement a vehicle counting and categorization system based on the deformation of the Earth's magnetic field, using AMR sensors (LSM9DS1) and the WeMos D1 development board. The system detects changes in the magnetic field caused by the metallic parts of vehicles passing through detection zones. The LSM9DS1 sensor allows for the measurement of three-axis magnetic fields, acceleration, and rotation, enabling the differentiation between various types of vehicles based on their magnetic characteristics. The system is capable of categorizing vehicles into three main groups: passenger cars, trucks, and motorcycles. The WeMos D1 development board, equipped with the ESP8266 module, processes and transmits the data to cloud services or local databases, allowing for analysis and visualization. This system offers an innovative approach to traffic and vehicle monitoring, enabling efficient vehicle categorization, counting, and contributing to better traffic management and improved road safety.

Key words: Magnetic field, Anisotropic magnetoresistors, LSM9DS1

1 Úvod

Presné a efektívne monitorovanie dopravného toku predstavuje kľúčový aspekt v oblasti inteligentných dopravných systémov, urbanistického plánovania a optimalizácie riadenia cestnej infraštruktúry. Tradičné metódy detekcie vozidiel, ako sú radarové systémy a kamerové detekčné mechanizmy, čelia viacerým obmedzeniam vrátane vysokých nákladov na inštaláciu, údržby a obmedzenej spoľahlivosti v nepriaznivých environmentálnych podmienkach. V posledných rokoch sa preto do popredia dostáva využitie anizotropných magnetorezistorov (AMR), ktoré umožňujú presnú detekciu feromagnetických objektov prostredníctvom analýzy zmien v magnetickom poli Zeme.

Táto štúdia sa zameriava na skúmanie vplyvu feromagnetických objektov na deformáciu magnetického poľa a hodnotenie možností aplikácie snímača LSM9DS1 v systémoch detekcie vozidiel. Senzor LSM9DS1, integrujúci trojosový magnetometer a akcelerometer, predstavuje perspektívnu alternatívu k existujúcim detekčným systémom z

dôvodu jeho vysokej citlivosti, nízkej spotreby energie a kompaktných rozmerov. Merania boli vykonané v kontrolovaných laboratórnych podmienkach aj v reálnom prostredí, pričom získané údaje boli analyzované a spracované pomocou pokročilých signálových procesov.

Výsledky tejto práce poskytujú komplexný prehľad možností využitia AMR senzorov na detekciu dopravného toku a identifikáciu jednotlivých typov vozidiel na základe analyzovaných parametrov magnetického poľa. Výskum zároveň otvára nové perspektívy pre integráciu týchto senzorov do moderných dopravných systémov, čím môže prispieť k efektívnejšiemu a presnejšiemu monitorovaniu cestnej premávky v reálnom čase.

2 Materiál a metódy

Primárnym sensorovým prvkom v experimente bol snímač LSM9DS1, ktorý je umiestnený na module 9DOF Click toto pokročilé sensorové zariadenie kombinuje trojosový akcelerometer, gyroskop a magnetometer v jednom kompaktnom balíku. Tento inerciálny merací systém poskytuje vysokopresné údaje o zrýchlení, uhlovej rýchlosti a magnetickom poli, čím umožňuje komplexnú analýzu pohybu a orientácie v 3D priestore. Sensor podporuje komunikáciu prostredníctvom I²C a SPI rozhrania, čo zaručuje jednoduchú integráciu s mikroprocesorovými systémami.

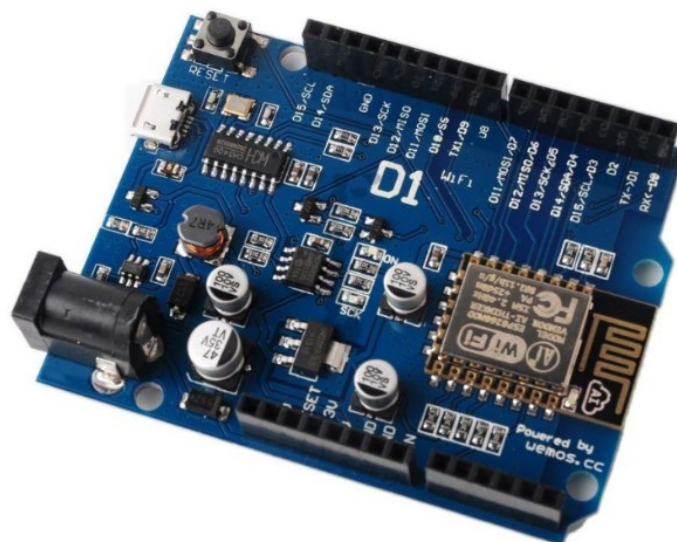


Obr.1 Modul 9DOF click (MikroE,2015)

Fig..1 Module 9DOF click (MikroE,2015)

Vyznačuje sa širokým meracím rozsahom až ± 16 g pre akcelerometer, ± 2000 dps pre gyroskop a ± 16 gaussov pre magnetometer, pričom jeho interné filtračné algoritmy znižujú šum a zlepšujú stabilitu výstupných údajov. Vďaka nízkej spotrebe energie a vysokej citlivosti nachádza uplatnenie v aplikáciách, ako sú inerciálne navigačné systémy, stabilizácia pohybu, rozšírená realita a inteligentné riadenie robotických systémov (MikroE,2015).

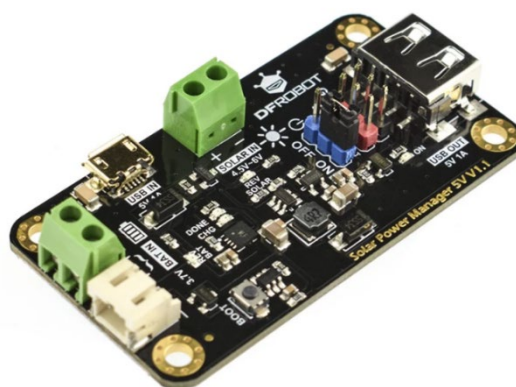
WeMos D1 R1 je vývojová doska postavená na populárnom čipe ESP8266, ktorý je známy svojou nízkou spotrebou energie a schopnosťou pripojenia k Wi-Fi sieťam. Táto doska ponúka vynikajúcu flexibilitu v oblasti IoT aplikácií, umožňuje bezdrôtové pripojenie a je schopná komunikovať so širokou škálou zariadení. Je vybavená 11 digitálnymi I/O pinmi. Okrem toho obsahuje integrovaný USB-to-serial prevodník, čo výrazne zjednodušuje proces programovania a napájania dosky cez USB port. Podporuje množstvo komunikačných protokolov vrátane HTTP, MQTT a WebSocket, čo umožňuje pripojenie k rôznym cloudovým platformám, ako aj komunikáciu s ďalšími zariadeniami v rámci siete. Možnosť implementácie rôznych senzorov cez I²C, SPI z nej robí flexibilný nástroj pre širokú škálu aplikácií (Lolin, 2021), (Muahamad, 2021).



Obr.2 Vývojová doska WeMos D1 (Lolin,2021)
Fig.2 Development board WeMos D1 (Lolin,2021)

Vďaka svojej kompaktnosti a jednoduchosti použitia je WeMos D1 R1 ideálnym riešením pre rýchly vývoj prototypov v oblasti domácich automatizácií, monitorovania životného prostredia, smart domácností alebo pre konkrétne aplikácie v oblasti priemyselného internetu vecí. Pomocou tejto dosky je možné realizovať aplikácie, ktoré vyžadujú vysokú úroveň konektivity, spracovania dát v reálnom čase a flexibilitu pri integrácii rôznych externých komponentov (Muahamad, 2021).

DFRobot solárny kolektor 5V je efektívne riešenie na napájanie elektronických zariadení obnoviteľnou energiou. Je navrhnutý na prácu s nabíjateľnými batériovými článkami, ktoré sú k nemu pripojené a priebežne dobíjané 5V solárnym panelom. Tento systém umožňuje stabilné napájanie aj pri kolísajúcom slnečnom žiarení, pričom integrovaný nabíjací obvod zabezpečuje bezpečné a efektívne riadenie nabíjania. Vďaka tomuto riešeniu je možné udržiavať autonómne napájanie pre senzory, IoT zariadenia či iné nízkoenergetické aplikácie (DFRobot,2018).



Obr.2 DFRobot solárny kolektor 5V (DFRobot,2018)
Fig.2 DFRobot solar collector 5V (DFRobot,2018)

Experimentálne merania boli rozdelené do dvoch hlavných fáz – laboratórneho testovania a terénnych meraní. V laboratórnych podmienkach bol snímač LSM9DS1 fixovaný na stabilnom pracovnom stole, pričom sa vykonávali merania bez prítomnosti rušivých vplyvov, aby sa získali referenčné hodnoty magnetického poľa v kontrolovanom prostredí. Následne boli v rôznych vzdialenostiach a konfiguráciách umiestňované magnetické objekty čím sa sledovala závislosť medzi intenzitou deformácie magnetického poľa a vzdialenosťou feromagnetického objektu. Výsledné údaje boli zaznamenané v reálnom čase a exportované pomocou ESP modulu do webového klienta kde boli následne uschované a graficky zobrazované.

V druhej fáze experimentu boli vykonané terénne merania, kde bol snímač umiestnený na okraj vozovky s cieľom zaznamenať magnetické signály generované prechádzajúcimi vozidlami. Počas testov bola osobitná pozornosť venovaná rozdielom v deformáciách spôsobených osobnými a nákladnými vozidlami a motorkami, pričom prahové hodnoty deformácie magnetického poľa boli stanovené nasledovne.

Tabl. Charekteristické zmeny magnetického poľa v μT
Tabl. Characteristic changes in the magnetic field in μT

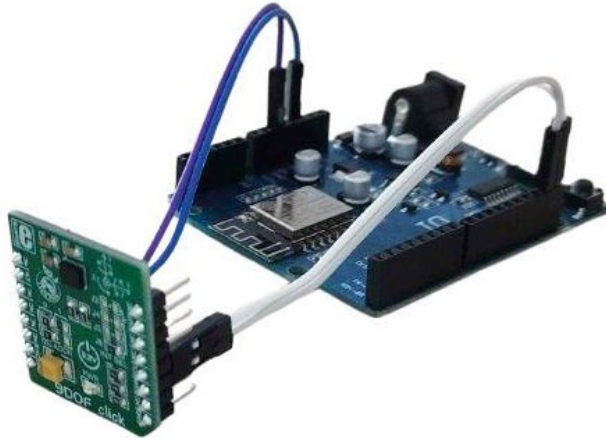
Typ vozidla	Zmena v μT
osobné vozidlá	6
nákladné vozidlá	12
motocykle	3

Získané údaje boli spracované a analyzované, kde boli aplikované pokročilé metódy spracovania signálov. Predspracovanie údajov zahŕňalo vyhladzovanie signálu pomocou metódy Kalmanovo filtra a korekciu základnej úrovne, ktorá umožnila normalizáciu dát odčítaním aritmetického priemeru prvých 20 vzoriek signálu. Následne boli aplikované algoritmy detekcie vrcholov, ktoré umožnili identifikáciu jednotlivých vozidiel na základe ich magnetickej stopy.

Použitá metodológia umožnila presnú identifikáciu vozidiel na základe zmien magnetického poľa a poskytla dôležité poznatky o možnostiach aplikácie anizotropných magnetorezistorov v oblasti inteligentných dopravných systémov.

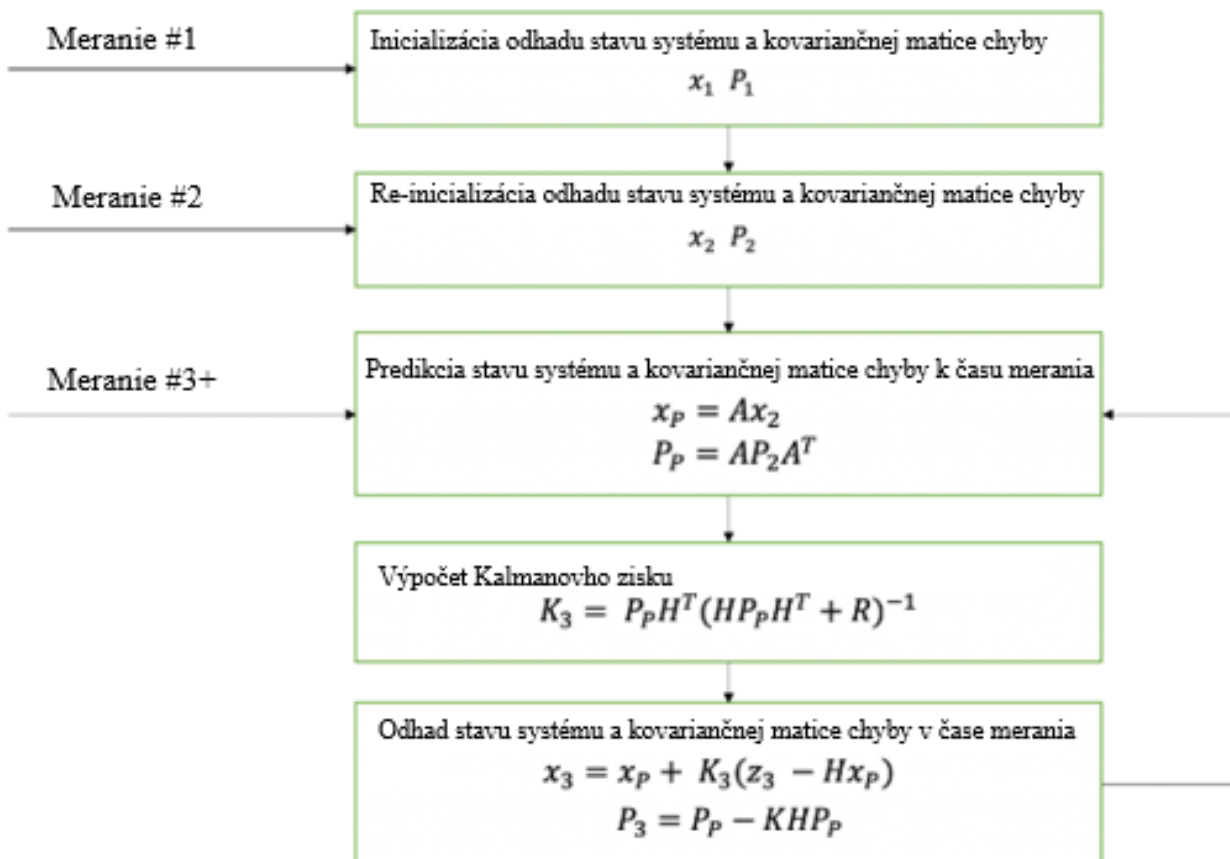
3 Výsledky a diskusia

Prepojenie snímača LSM9DS1 s vývojovou doskou WeMos D1 je realizované pomocou I2C komunikácie, ktorá zabezpečuje rýchly a spoľahlivý prenos dát. Pri integrácii sa dbá na minimalizáciu rušenia a optimálnu organizáciu zapojenia. Okrem hardvérovej integrácie je nevyhnutné naprogramovať komunikáciu medzi snímačom a mikrokontrolérom, pričom sa využívajú prímé čítanie dát z registrov pre efektívnu prácu s LSM9DS1.



Obr.3 Experimentálne pripojenie snímača k vývojovej doske
Fig.3 Experimental connection of the sensor to the development board

Systém vykonáva kontinuálne meranie intenzity magnetického poľa, pričom na filtráciu údajov využíva Kalmanov filter na elimináciu šumu a nepresností. Kalmanov filter funguje na základe predikčno-korekčného mechanizmu, kde na základe predchádzajúcich meraní a modelu dynamiky systému odhaduje skutočnú hodnotu magnetického poľa. Tento filter zohľadňuje neistotu meraní a adaptívne upravuje svoje odhady, čím efektívne redukuje vplyv náhodného šumu a krátkodobých výkyvov signálu.

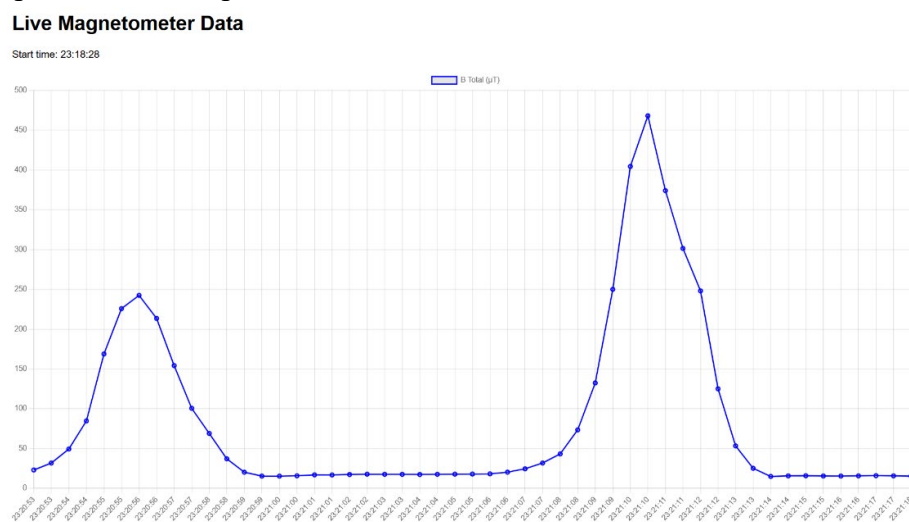


Obr.3 Diagram funkcie Kalmanovho filtra (Franklin,2022)
Fig.3 Diagram of Kalman filter function (Franklin,2022)

Kalmanov filter pracuje s niekoľkými kľúčovými premennými: stavový vektor (x), ktorý reprezentuje odhadovanú hodnotu systému, kovariančnú maticu (P), ktorá vyjadruje neistotu tohto odhadu. Predikčný krok využíva stavovú maticu (F) na aktualizáciu odhadu budúceho stavu a maticu procesného šumu (Q) na zohľadnenie nepresností modelu. Korekčný krok následne kombinuje predikovaný stav s aktuálnym meraním, pričom sa používa meracia matica (H), merací šum (R) a Kalmanov zisk (K), ktorý určuje, akou mierou sa má nové meranie premietnuť do konečného odhadu. Tento cyklus sa opakuje pri každom novom meraní, čím sa dosahuje postupné spresňovanie výsledkov. (Franklin, 2022)

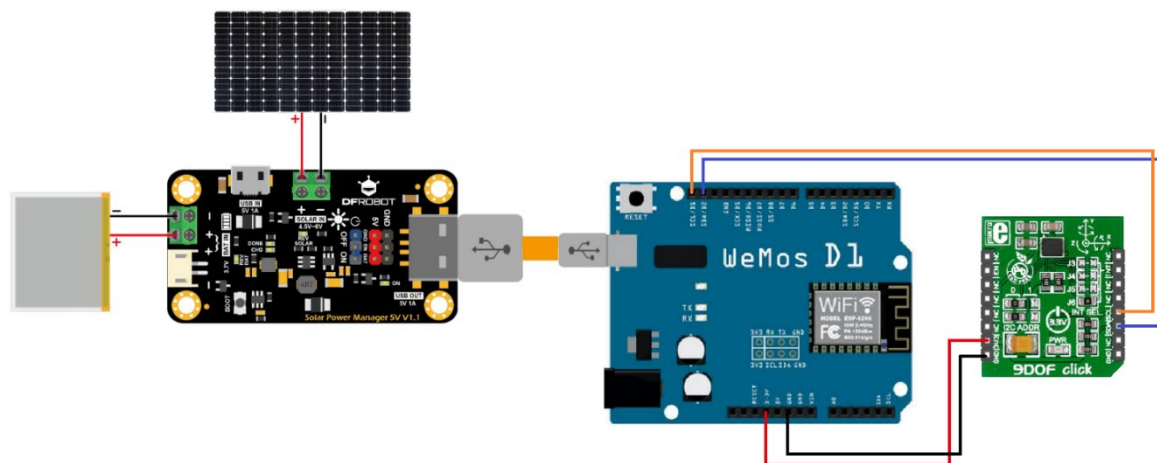
Predspracované dáta sa ďalej analyzujú na identifikáciu signálov a klasifikáciu vozidiel na základe amplitúdy a charakteristických zmien v magnetickom poli. Implementovaný webový klient zabezpečuje vizualizáciu dát v reálnom čase a archiváciu nameraných hodnôt pre ďalšiu analýzu. Pre klasifikáciu vozidiel sú vyvinuté algoritmy, ktoré umožňujú rozlíšiť osobné automobily, nákladné vozidlá a motocykle na základe intenzity a priebehu deformácie magnetického poľa.

Pred nasadením do terénu bolo zariadenie testované v kontrolovanom laboratórnom prostredí, kde boli simulované rôzne podmienky prechodu vozidiel. Tieto testy zahŕňali stanovenie citlivosti senzora na rôzne typy kovových objektov, testovanie odozvy na pohybujúce sa kovové predmety a overenie presnosti merania v rôznych orientáciách senzora. Na základe výsledkov laboratórnych testov boli upravené parametre filtrov a klasifikačných algoritmov na optimalizáciu rozpoznávania vozidiel.



Obr.4 Prostredie webového klienta
Fig.4 Web client user environment

Po úspešnej validácii v laboratóriu nasledovalo terénne testovanie v reálnych podmienkach cestnej premávky. Hlavným cieľom bolo overiť presnosť detekcie vozidiel pri rôznych rýchlostiach, optimalizovať prahové hodnoty pre spoľahlivé rozlíšenie kategórií vozidiel a identifikovať možné zdroje rušenia s cieľným minimalizovaním ich vplyvu na merania. Počas testovania bolo zariadenie umiestnené pri vozovke a dáta boli kontinuálne zaznamenávané a analyzované. Na základe výsledkov boli algoritmy ďalej upravené, aby poskytovali čo najpresnejšie výsledky.



Obr.5 Zapojenie výsledného zariadenia

Fig.5 Schematic of finished device

Na posúdenie presnosti systému pri detekcii a klasifikácii vozidiel porovnávame počet vozidiel zaznamenaných senzorom s reálnym počtom vozidiel. Spoľahlivosť systému je vypočítaná ako pomer správne zaznamenaných vozidiel k celkovému reálnemu počtu vozidiel v jednotlivých kategóriách.

Tab.2 Vyhodnotenie spoľahlivosti detekcie vozidiel

Tab.2 Evaluating the reliability of vehicle detection

Kategória vozidla	Počet zaznamenaných vozidiel	Skutočný počet	Spoľahlivosť (%)
Osobné automobily	39	40	97,5%
Nákladné vozidlá	27	29	93,1%
Motocykle	8	9	89%
Celkom	74	78	95%

Aby systém mohol fungovať autonómne a dlhodobo, bolo implementované batériové napájanie s možnosťou dobíjania solárnym panelom. Táto konfigurácia zabezpečuje nezávislosť od elektrickej siete, nepretržitú prevádzku aj pri nepriaznivých podmienkach a energetickú efektívnosť vďaka optimalizovanému režimu spánku pre mikrokontrolér. Celý systém bol navrhnutý tak, aby poskytoval spoľahlivé a presné merania s minimálnymi nárokmi na údržbu, čo ho predurčuje na využitie v oblasti automatizovaného sledovania cestnej premávky, optimalizácie dopravných tokov a plánovania infraštruktúry.

4 Záver

Táto štúdia sa zaoberala návrhom a implementáciou systému na detekciu a klasifikáciu motorových vozidiel na základe analýzy deformácie magnetického poľa Zeme. Využitím senzora LSM9DS1 v kombinácii s vývojovou doskou WeMos D1 R1 sa podarilo vytvoriť efektívne, energeticky úsporné a autonómne riešenie schopné pracovať v reálnom čase.

V rámci experimentálnej časti bol systém testovaný v laboratórnych aj reálnych podmienkach. Laboratórne testovanie umožnilo určenie referenčných hodnôt magnetického

poľa a optimalizáciu spracovania signálu. Následné terénne testy preukázali schopnosť senzora spoľahlivo detegovať rôzne typy vozidiel a na základe získaných dát bolo možné stanoviť hraničné hodnoty pre klasifikáciu vozidiel do kategórií. Použitie Kalmanovej filtrácie a významne zlepšilo presnosť analýzy signálov a minimalizovalo vplyv rušenia.

Na zabezpečenie autonómnej prevádzky bol systém doplnený o batériové napájanie s možnosťou solárneho dobíjania, čo umožňuje dlhodobé fungovanie bez nutnosti častej údržby. Bezdrôtová komunikácia prostredníctvom ESP8266 zabezpečila efektívny prenos údajov do webového klienta, kde boli dáta vizualizované a archivované pre ďalšiu analýzu.

Výsledky experimentu potvrdzujú, že využitie anizotropných magnetorezistorov (AMR) na detekciu vozidiel predstavuje perspektívnu alternatívu k tradičným metódam monitorovania dopravy. Hlavnými výhodami navrhnutého systému sú nízke prevádzkové náklady, jednoduchá inštalácia, vysoká citlivosť senzora a možnosť integrácie do existujúcich inteligentných dopravných infraštruktúr.

Navrhnuté riešenie môže byť v budúcnosti ďalej vylepšené implementáciou pokročilejších algoritmov strojového učenia na zvýšenie presnosti klasifikácie vozidiel a elimináciu falošných detekcií. Okrem toho je možné systém rozšíriť o ďalšie senzory na získanie komplexnejšieho obrazu o dopravnej situácii. Výskum tak otvára nové možnosti v oblasti inteligentného dopravného monitoringu, ktorý môže prispieť k efektívnejšiemu riadeniu dopravy, zlepšeniu bezpečnosti na cestách a optimalizácii dopravnej infraštruktúry.

5 Literatúra

Datasheet 9DOF Click [online]. [cit.13-03-2025]. Dostupné na: < <https://www.mikroe.com/9dof-click>>.

Datasheet WeMos D1 [online]. [cit.12-03-2025]. Dostupné na: < <https://www.drotik-elektro.sk/docs/produkty/1/1226/1478466175.pdf>>.

MUHAMMAD RIDZUAN IDRIS – IRDAYANTI MAT NASHIR – ALIF HAIKAL BIN MOHD NORDIN – MOHD HASYRAH BIN RAMLEE. *The Internet of Things (IoT) Practical Book Using Arduino WeMos D1 R1 Microcontroller.*, 2021. ISBN 979-8543039687.

CHEUNG, S. Y. – VARAIYA, P. P. *Traffic Surveillance by Wireless Sensor Networks: Final Report*. California PATH Program, Institute of Transportation Studies, University of California at Berkeley, 2007 [online]. [cit. 2025-03-12]. Dostupné na: < <https://escholarship.org/uc/item/4pn0m283>>.

FRANKLIN WILLIAM. *Kalman Filter Made Easy.*, 2022. ISBN 979-8846140813 [online]. [cit. 2025-03-16]. Dostupné na: < <https://thekalmanfilter.com/kalman-filter-explained-simply/>>.

Datasheet DFRobot solar power manager [online]. [cit. 20.3.2025] Dostupné na <<https://www.dfrobot.com/product-1712.html>>.

Súhrn

Cieľom tejto práce je návrh a implementácia zariadenia na počítanie a kategorizáciu motorových vozidiel na základe deformácie magnetického poľa Zeme, využívajúc AMR senzory LSM9DS1 a vývojovú dosku WeMos D1. Systém deteguje zmeny v magnetickom poli spôsobené kovovými časťami vozidiel, ktoré prechádzajú cez detekčné zóny. LSM9DS1 senzor umožňuje meranie trojosového magnetického poľa, akcelerácie a rotácie, čo umožňuje rozlišovanie medzi rôznymi typmi vozidiel na základe ich magnetických charakteristík. Na základe nameraných údajov je systém schopný kategorizovať vozidlá do troch skupín: osobné automobily, nákladné vozidlá a motorky. Vývojová doska WeMos D1, vybavená modulom ESP8266, slúži na spracovanie a prenos dát do cloudových služieb alebo miestnych databáz, čím umožňuje analýzu a vizualizáciu údajov. Tento systém prináša inovatívny prístup v oblasti monitorovania dopravy, ktorý umožňuje efektívnu kategorizáciu vozidiel, sledovanie ich počtu a prispieva k riadeniu dopravy a zlepšeniu bezpečnosti na cestách.

Kľúčové slová: Magnetické pole, Anizotropné magnetorezistory, LSM9DS1

SLEDOVANIE MIKROKLIMATICKÝCH PARAMETROV V INTERIÉRI VOZIDIEL POČAS AKTÍVNEHO VYKUROVANIA

MONITORING OF MICROCLIMATIC PARAMETERS IN VEHICLE INTERIORS DURING ACTIVE HEATING

PATRIK VARL¹ – IVAN VITÁZEK²

Abstract

The aim of this study is to monitor the microclimatic conditions inside the cabins of various vehicles and to analyse the key parameters that significantly affect the thermal comfort of the vehicle occupants. The regulation of the interior environment of the vehicles is achieved through the heating system, with the primary goal of achieving optimal thermal comfort. The measurements were conducted on a conventional internal combustion engine vehicle, the Mazda 6, and an electric vehicle, the Tesla Model 3, under winter climatic conditions. For the realization of the measurements, the AHLBORN ALMEMO 25904AS datalogger with the corresponding ALMEMO FHAD 46-C2 sensor was used to measure temperature and humidity. The surface temperatures of selected areas were recorded using a FLIR T335 thermal imaging camera. The collected data illustrate the development of monitored air parameters within the vehicle's interior and highlight the differences between various design solutions for air conditioning systems in automobiles.

Key words: heating, thermal comfort, temperature, relative humidity, interior

1 Úvod

Vďaka technologickému pokroku sa ľudstvo stáva menej závislým od okolitých podmienok a dokáže si vytvárať vlastnú mikroklimu v interiéroch budov a priestorov, prispôbenú požiadavkám jednotlivcov alebo skupín. S postupom času, najmä v 21. storočí, získavame čoraz viac poznatkov o faktoroch ovplyvňujúcich tepelný komfort a o príčinách, ktoré môžu spôsobovať diskomfort. Napriek rozsiahlemu množstvu vedeckých štúdií, článkov, diagramov a softvérových nástrojov, analýza väčšiny prieskumov zameraných na tepelný komfort a príčiny diskomfortu ukazuje, že hlavným dôvodom nespokojnosti, bez ohľadu na klimatické podmienky, je nevyhovujúca teplota vzduchu (Parsons, 2003).

Tepelný komfort zohráva kľúčovú úlohu pri navrhovaní budov a interiérov vozidiel, keďže ľudia trávajú viac ako 90 % svojho času v uzavretých priestoroch. Tento pojem sa definuje ako stav mysle, ktorý vyjadruje spokojnosť s tepelnými podmienkami v danom prostredí (Djongyang et al., 2010).

Moderné vozidlá využívajú rôzne technológie na reguláciu vnútorného prostredia. Vozidlá so spaľovacím motorom využívajú na vykurovanie kabíny odpadové teplo z chladiacej kvapaliny, zatiaľ čo elektromobily sú odkázané na alternatívne zdroje tepla, akými sú tepelné čerpadlá alebo elektrické odporové ohrievače. Každý z týchto systémov má svoje výhody a

¹ Bc. Patrik Varl, Katedra dopravy a manipulácie, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, varlpatrik10@gmail.com

² doc. Ing. Ivan Vitázek, CSc., Katedra dopravy a manipulácie, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, ivan.vitazek@uniag.sk

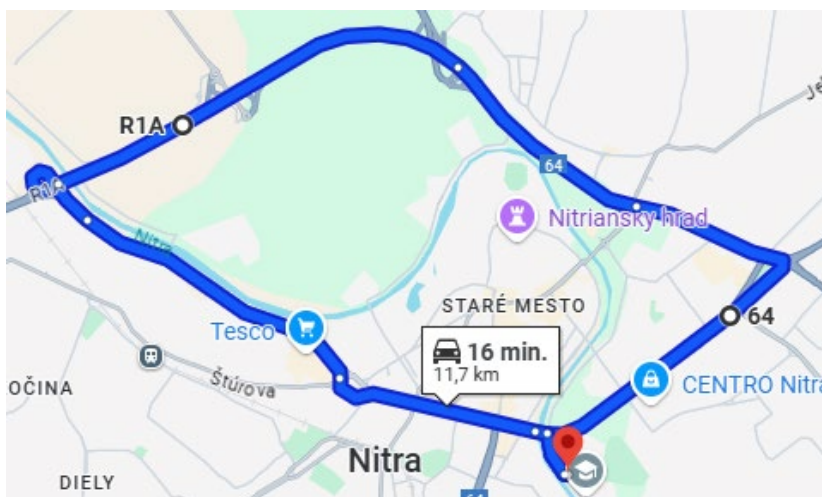
nevýhody, ktoré ovplyvňujú spotrebu energie, účinnosť vykurovania a celkový dojazd vozidla v zimných podmienkach.

2 Materiál a metódy

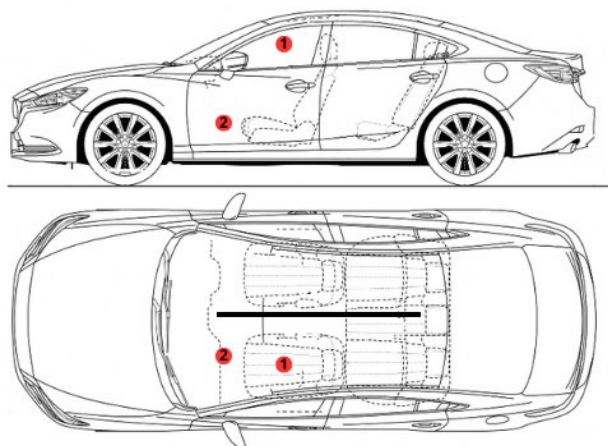
Stav vnútorného prostredia bol monitorovaný v klimatických podmienkach zimného obdobia. Práca sa sústreďuje na úpravu vnútorného prostredia pomocou vykurovacieho systému. Na účely merania boli zvolené dva rozdielne vykurovacie systémy: automobil Mazda 6 s klasickým spaľovacím motorom, ktorý využíva odpadové teplo z chladiacej kvapaliny motora, a elektromobil Tesla Model 3, vybavený tepelným čerpadlom zabezpečujúcim efektívne vykurovanie pri nízkej spotrebe energie z batérie. Obidve vozidlá, Mazda 6 s 2,5-litrovým atmosférickým zážihovým motorom Skyactiv-G a elektromobil Tesla Model 3, sú vybavené automatickou dvojitónovou klimatizáciou. Mazda 6 využíva klasický mechanický kompresor poháňaný motorom, zatiaľ čo Tesla Model 3 je vybavená elektrickým kompresorom napájaným z batérie a využíva elektronicky riadený klimatizačný systém s digitálnym ovládaním prúdenia vzduchu.

Samotné merania prebiehali v dvoch režimoch: statickom a dynamickom. Statické meranie sa uskutočnilo pri státi vozidla na mieste, pričom Mazda 6 bola udržiavaná pri voľnobežných otáčkach motora a Tesla Model 3 bola ponechaná v zapnutom stave v režime „Park“, pričom vykurovanie zabezpečovalo tepelné čerpadlo a elektrický kompresor. Dynamické meranie prebiehalo počas jazdy v premávke na rovnakej, vopred stanovenej trase pre obe vozidlá. Dĺžka trasy bola necelých 12 kilometrov a odhadovaný čas na jej prejde nie podľa navigácie bol 16 minút. Pri všetkých meraniach sa ju podarilo prejsť za 15 minút. Priebeh tejto trasy je znázornený na obr. 1. Trasa merania bola navrhnutá tak, aby zahŕňala rôzne jazdné podmienky – kombinovala mestskú premávku s nižšími rýchlosťami a úsek diaľnice umožňujúci vyššie rýchlosti.

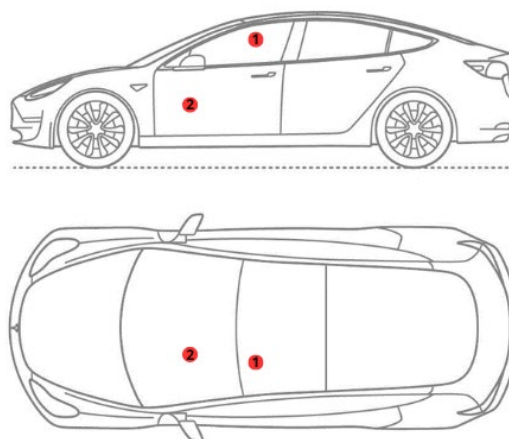
Na dosiahnutie presnejších výsledkov merania boli do kabíny vozidla umiestnené dva snímače, ktoré zaznamenávali teplotu a relatívnu vlhkosť vzduchu. Ich umiestnenie v interiéri vozidla je znázornené na obrázkoch 2 a 3. Snímač označený číslom 1 bol umiestnený v oblasti nôh vodiča a snímač označený číslom 2 bol umiestnený v úrovni hlavy vodiča. V oboch bodoch merania boli použité senzory typu ALMEMO FHAD 46-C2, ktoré boli pripojené k záznamovému zariadeniu AHLBORN ALMEMO 25904AS. Toto zariadenie slúžilo na ukladanie dát o teplote a vlhkosti vzduchu v kabínach oboch vozidiel.



Obr. 1 Trasa merania
Fig. 1 Measurement route



Obr. 2 Umiestnenie meracích senzorov v interiéri vozidla Mazda 6 (Zdroj: Upravené podľa DRAWING DATABASE)
Fig. 2 Placement of measurement sensors in the interior of the Mazda 6 vehicle (Source: Edited from DRAWING DATABASE)



Obr. 3 Umiestnenie meracích senzorov v interiéri vozidla Tesla Model 3 (Zdroj: Upravené podľa DRAWING DATABASE)
Fig. 3 Placement of measurement sensors in the interior of the Tesla Model 3 vehicle (Source: Edited from DRAWING DATABASE)

2.1 Meracie prístroje

Termovízna kamera FLIR T335

Termovízna kamera FLIR T335 je profesionálna infračervená kamera určená na diagnostiku a inšpekčné práce v priemysle, stavebníctve a elektroinštaláciách. Nižšie sú uvedené jej základné technické parametre:

- rozlíšenie detektora: 320 x 240 pixelov,
- nastaviteľná emisivita v rozsahu 0,01 až 1,00,
- rozsah merania teploty: -20 °C až + 650 °C,
- presnosť merania: ± 2 °C,
- digitálna kamera: 3,1 MPx s LED osvetlením,
- zorné pole objektívu: 25° (horizontálne) $\times$ 19° (vertikálne),
- zaostrenie: manuálne alebo automatické.



Obr. 4 Termovízna kamera FLIR T335 (Zdroj: MERLIN Lazer Ltd.)

Fig. 4 Thermal imaging camera FLIR T335 (Source: MERLIN Lazer Ltd.)

AHLBORN ALMEMO 25904AS

ALMEMO 25904AS je profesionálne záznamové zariadenie (datalogger) s viackanálovým meraním a vysokou presnosťou, ktoré umožňuje súčasné zaznamenávanie rôznych fyzikálnych veličín pomocou inteligentných ALMEMO senzorov. Disponuje pokročilými funkciami, ako je nastaviteľná vzorkovacia frekvencia, rozsiahle pamäťové možnosti a možnosť pripojenia k PC cez USB alebo sériové rozhranie na následnú analýzu údajov. Obsahuje až 10 vstupov pre ALMEMO snímače.



Obr. 5 Datalogger AHLBORN ALMEMO 25904AS (Zdroj: AHLBORN GmbH)

Fig. 5 Datalogger AHLBORN ALMEMO 25904AS (Source: AHLBORN GmbH)

ALMEMO FHAD 46-C2

ALMEMO FHAD 46-C2 je digitálny senzor na meranie relatívnej vlhkosti a teploty. Senzor komunikuje cez špeciálny ALMEMO konektor, ktorý umožňuje automatickú identifikáciu a kalibráciu merania pri pripojení k ALMEMO dataloggerom.

Meracie rozsahy:

- teplota: -20 °C až +80 °C,
- relatívna vlhkosť: 5 % až 98 % RH.

Presnosť merania:

- teplota: $\pm 0,2$ °C,
- relatívna vlhkosť: ± 2 % RH.



Obr. 6 Senzor ALMEMO FHAD 46-C2 (Zdroj: AHLBORN GmbH)

Fig. 6 Sensor ALMEMO FHAD 46-C2 (Source: AHLBORN GmbH)

3 Výsledky a diskusia

3.1 Statické merania stavu vnútorného prostredia automobilu počas vykurovania

Meranie č. 1

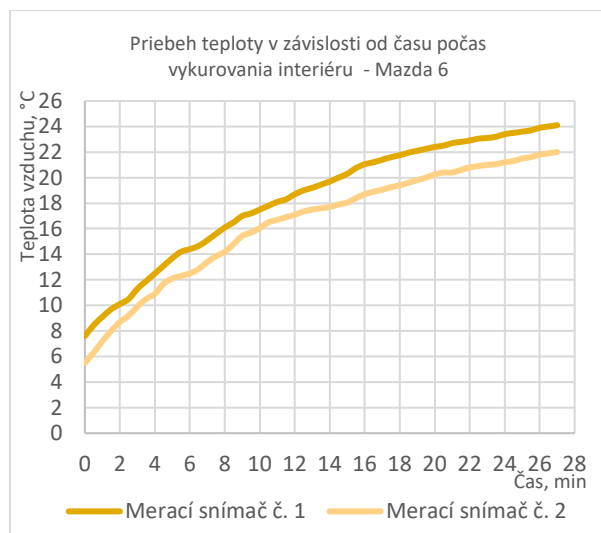
Prvé meranie sa uskutočnilo v statických podmienkach s vozidlom Mazda 6, ktoré bolo zaparkované v tieni, mimo priameho slnečného žiarenia. Počas merania bolo počasie oblačné, bez zrážok. Nameraná vonkajšia teplota vzduchu dosahovala 4,2 °C s relatívnou vlhkosťou 41,3 %. Snímač č. 1, umiestnený v oblasti hlavy vodiča (obr. 2), zaznamenal počiatočnú teplotu vzduchu 7,6 °C a relatívnu vlhkosť 56,8 %. Snímač č. 2, umiestnený v oblasti nôh vodiča (obr. 2), zaznamenal počiatočnú teplotu vzduchu 5,5 °C a relatívnu vlhkosť 52,3 %. Motor vozidla bežal na voľnoběžných otáčkach 800 min⁻¹. Pred začiatkom merania nebol motor predhriaty, pričom prístrojová doska zobrazovala počiatočnú teplotu chladiacej kvapaliny 0 °C. Počas merania sa v predných sedadlách vozidla nachádzali dve osoby. Ovládací panel vykurovania bol nastavený na automatický režim, pričom riadiaca jednotka automaticky regulovala smer a rýchlosť prúdenia vzduchu pri požadovanej teplote 22 °C.

Pozn:

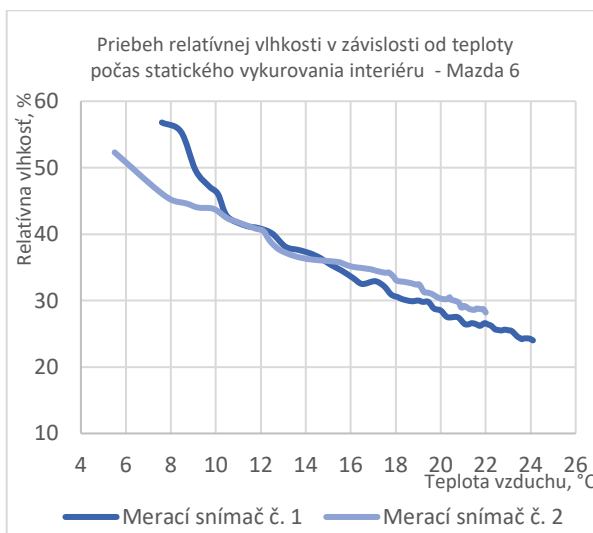
Vzhľadom na rozsah príspevku nie sú namerané hodnoty prezentované v tabuľkovej forme. Požadovaná teplota 22 °C bola zaznamenaná meracím snímačom č. 1 v 19. minúte merania, zatiaľ čo snímač č. 2 v tom čase ukazoval teplotu 19,8 °C. Teplota v oblasti nôh vodiča dosiahla požadovanú teplotu 22 °C až v 27. minúte merania. V momente dosiahnutia požadovanej teploty vzduchu v interiéri vozidla teplota chladiacej kvapaliny motora stúpila na 75 °C.

Grafické vyhodnotenie nameraných hodnôt

Grafické spracovanie nameraných údajov znázorňuje priebehy teplôt v kabíne vozidla v závislosti od času a priebeh relatívnej vlhkosti v závislosti od teploty vzduchu v kabíne vozidla. Merací snímač č. 1 zaznamenáva teploty vzduchu v oblasti hlavy vodiča, zatiaľ čo merací snímač č. 2 zaznamenáva teploty vzduchu v oblasti nôh vodiča.



Obr. 7 Priebeh teplôt počas statického vykurovania interiéru



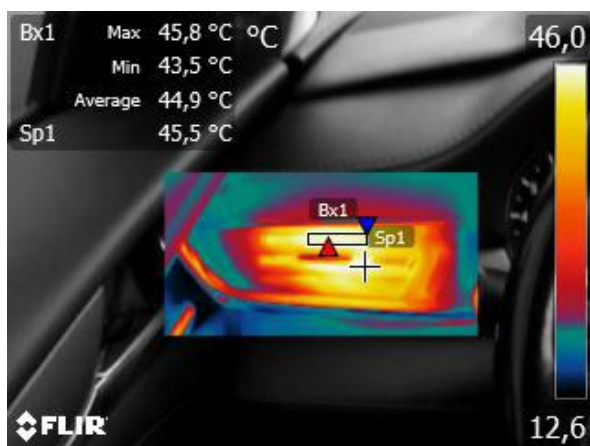
Obr. 8 Priebeh relatívnej vlhkosti počas statického vykurovania interiéru

Fig. 7 Relative humidity profile during static interior heating

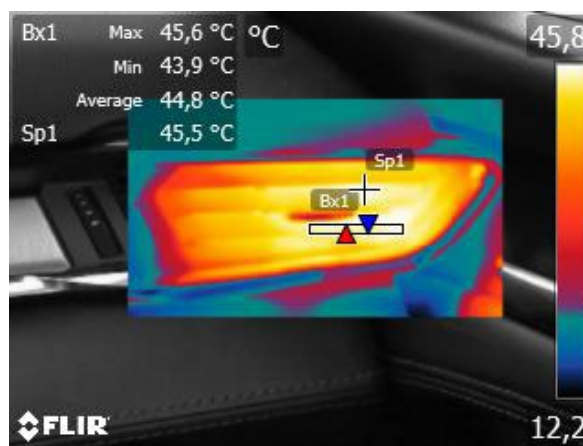
Fig. 8 Relative humidity profile during static interior heating

Termogramy:

Na určenie povrchovej teploty vybraných oblastí boli pomocou termovíznej kamery zhotovené termogramy. Zaznamenané hodnoty povrchovej teploty výduchov počas vykurovania interiéru vo vozidle Mazda 6 sú zobrazené na nasledujúcich obrázkoch.



Obr. 9 Ľavý výdych počas vykurovania
Fig. 9 Left air vent during heating

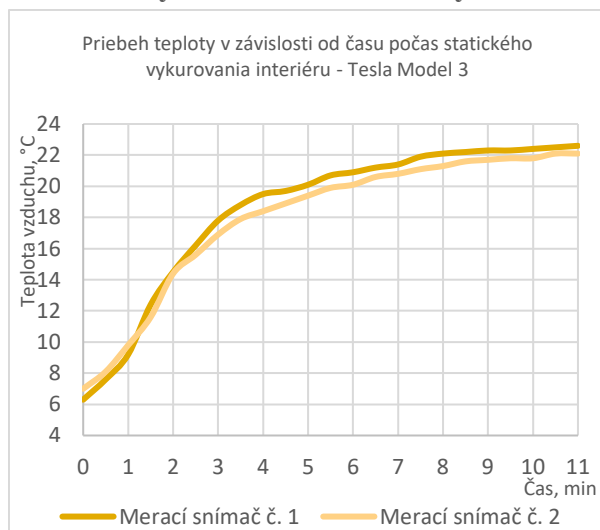


Obr. 10 Pravý výdych počas vykurovania
Fig. 10 Right air vent during heating

Meranie č. 2

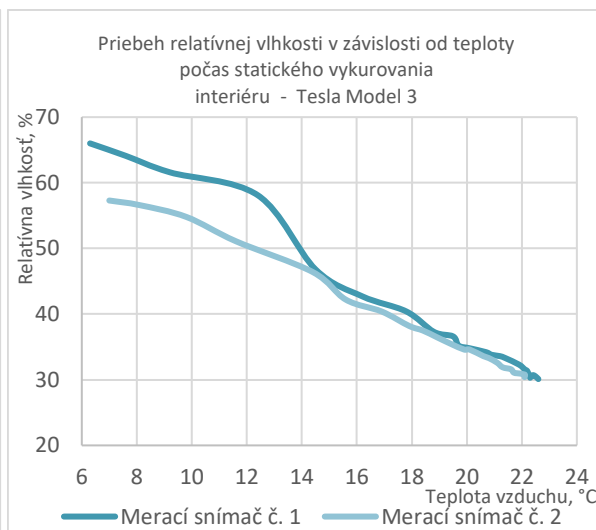
Druhé meranie prebiehalo staticky s vozidlom Tesla Model 3. Počas merania, ktoré sa uskutočnilo v skorých ranných hodinách, prevládalo oblačné počasie bez zrážok. Nameraná vonkajšia teplota vzduchu bola 4 °C pri relatívnej vlhkosti vzduchu 69 %. Snímač č. 1 zaznamenal počiatočnú teplotu vzduchu 6 °C a relatívnu vlhkosť 66 %. Snímač č. 2 zaznamenal počiatočnú teplotu vzduchu 7 °C a relatívnu vlhkosť 57,3 %. Tesla Model 3 bola ponechaná v zapnutom stave v režime „Park“. Počas merania sa v predných sedadlách vozidla nachádzali dve osoby. Digitálny ovládací panel vykurovania bol nastavený na požadovanú teplotu 22 °C a spôsob regulácie vzduchu bol v automatickom režime.

Grafické vyhodnotenie nameraných hodnôt



Obr. 11 Pribeh teplôt počas statického vykurovania interiéru

Fig 11 Relative humidity profile during static interior heating



Obr. 12 Pribeh relatívnej vlhkosti počas statického vykurovania interiéru

Fig 12 Relative humidity profile during static interior heating

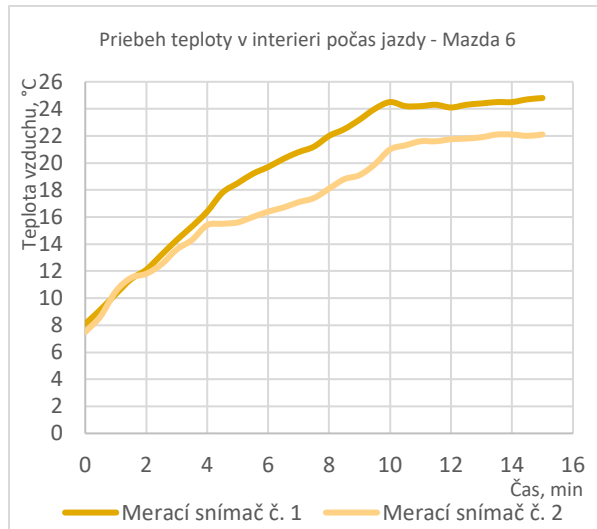
3.2 Statické merania stavu vnútorného prostredia automobilu počas vykurovania

Meranie č. 3

Meranie sa uskutočnilo v dynamických podmienkach s vozidlom Mazda 6, ktoré prebiehalo na vopred zvolenej trase podľa obr. 1. Meranie prebehlo v skorých ranných hodinách, aby sa minimalizoval vplyv slnečného žiarenia. Nameraná vonkajšia teplota vzduchu bola 5,5 °C pri relatívnej vlhkosti vzduchu 64,3 %. Snímač č. 1, umiestnený v oblasti hlavy vodiča (obr. 2), zaznamenal počiatočnú teplotu vzduchu 8,1 °C s relatívnou vlhkosťou 60,9 %. Snímač č. 2, umiestnený v oblasti nôh vodiča (obr. 2), zaznamenal počiatočnú teplotu vzduchu 7,5 °C a relatívnu vlhkosť 58,1 %. Prístrojová doska zobrazovala počiatočnú teplotu chladiacej kvapaliny 0 °C, motor nebol predhriaty. Počas merania sa v predných sedadlách vozidla nachádzali dve osoby. Ovládací panel vykurovania bol nastavený na automatický režim s požadovanou teplotou 22 °C.

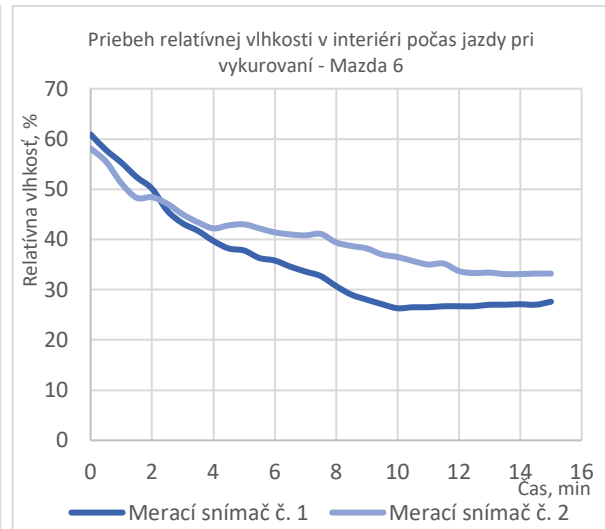
Grafické vyhodnotenie nameraných hodnôt

Grafické spracovanie výsledkov merania znázorňuje časový vývoj teplôt vzduchu v kabíne vozidla, ako aj priebeh relatívnej vlhkosti v závislosti od času jazdy v premávke. Snímač č. 1 zaznamenáva teplotu v oblasti hlavy vodiča, zatiaľ čo snímač č. 2 monitoruje teplotu v oblasti nôh vodiča.



Obr. 13 Priebek teplôt počas statického vykurovania interiéru

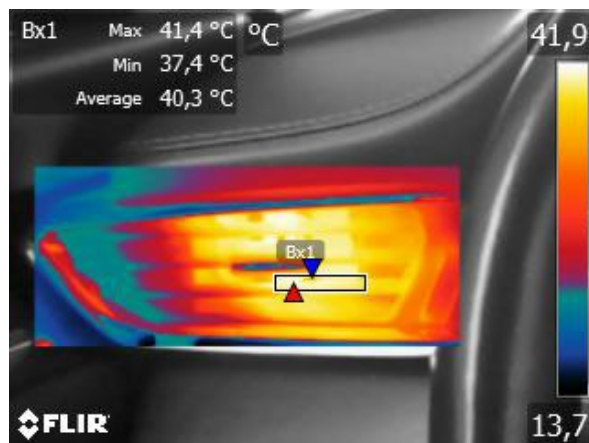
Fig 13 Relative humidity profile during static interior heating



Obr. 14 Priebek relatívnej vlhkosti počas statického vykurovania interiéru

Fig 14 Relative humidity profile during static interior heating

Termogramy:



Obr. 15 Ľavý výdych počas vykurovania

Fig. 15 Left air vent during heating



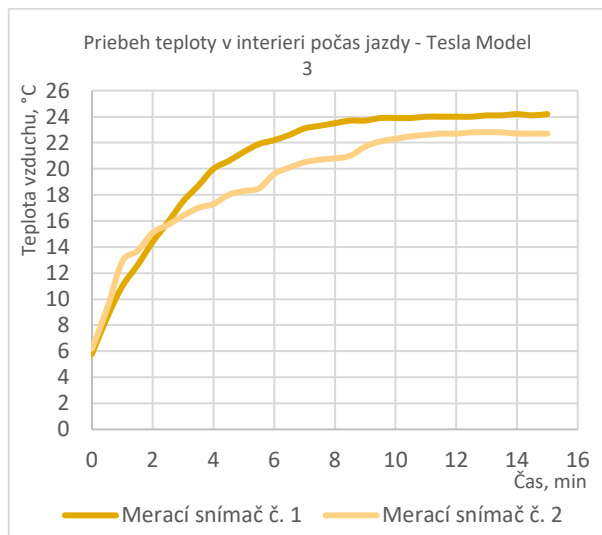
Obr. 16 Stredové výdychy počas vykurovania

Fig. 16 Central air vents during heating

Meranie č. 4

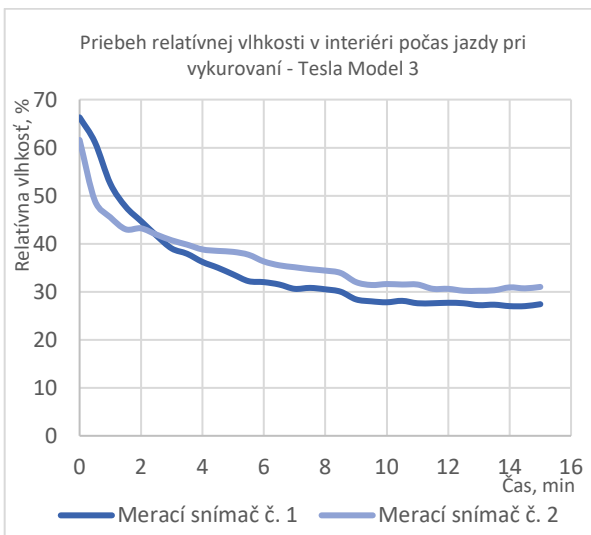
Záverečné meranie sa uskutočnilo počas jazdy s vozidlom Tesla Model 3 na vopred určenej trase podľa obr. 1. Dĺžka jazdy bola 15 minút. Na zabezpečenie presnosti merania a elimináciu vplyvu priameho slnečného svetla bolo meranie realizované v skorých ranných hodinách. V tom čase bola vonkajšia teplota vzduchu 4,5 °C a relatívna vlhkosť dosahovala 67,2 %. Snímač č. 1, umiestnený v oblasti hlavy vodiča (obr. 2), zaznamenal počiatočnú teplotu 5,8 °C a relatívnu vlhkosť 66,3 %, zatiaľ čo snímač č. 2, umiestnený v oblasti nôh, zaznamenal teplotu 6,2 °C pri vlhkosti 61,6 %. Klimatizácia bola nastavená na požadovanú hodnotu 22 °C a celý systém pracoval v automatickom režime regulácie vzduchu.

Grafické vyhodnotenie nameraných hodnôt



Obr. 17 Pribeh teplôt počas statického vykurovania interiéru

Fig. 17 Relative humidity profile during static interior heating



Obr. 18 Pribeh relatívnej vlhkosti počas statického vykurovania interiéru

Fig. 18 Relative humidity profile during static interior heating

Vykonané merania poskytli možnosť analyzovať fungovanie systémov na úpravu vnútorného prostredia vo vybraných automobiloch pri rôznych prevádzkových podmienkach. Zodpovedajúce výsledky boli zaznamenané aj pri vozidlách Fiat Marea a Mitsubishi Outlander ako uvádzajú (Turek, Vitáček, 2014). Podobne ako vo výskume Popovič, Vitáček (2018), aj v tejto štúdii bol pozorovaný kontinuálny nárast teploty v interiéri vozidla aj po dosiahnutí nastavenej cieľovej hodnoty. Tento jav možno vysvetliť oneskorenou odozvou regulačného systému na aktuálne podmienky v kabíne, ako aj pokračujúcim prestupom akumulovaného tepla z vykurovacieho systému do priestoru interiéru.

4 Záver

V rámci experimentálneho výskumu boli pre záznam sledovaných parametrov využité meracie prístroje s vysokou presnosťou. Realizované merania demonštrovali významné rozdiely v dynamike ohrevu interiéru medzi vozidlami s konvenčným spaľovacím motorom a elektrickým pohonom, ako aj vplyv prevádzkových režimov na rýchlosť dosiahnutia optimálnej teploty v kabíne. Statické merania odhalili, že vozidlo Tesla Model 3, vybavené integrovaným tepelným čerpadlom, dosiahlo požadovanú teplotu 22 °C v oblasti hlavy vodiča už v 8. minúte merania, zatiaľ čo v oblasti nôh bola táto teplota nameraná v priebehu 11 minút. Na porovnanie, vozidlo Mazda 6, využívajúce odpadové teplo z chladiacej kvapaliny motora, dosiahlo ekvivalentné teplotné parametre až v 19. minúte (oblasť hlavy) a 27. minúte (oblasť

nôh). Tento rozdiel poukazuje na pomalší nábeh vykurovacieho systému pri vozidlách so studeným spaľovacím motorom. V prípade vozidla Tesla Model 3 bol spozorovaný výrazný nárast teploty už v prvej minúte merania, čo je spôsobené okamžitou aktiváciou tepelného čerpadla, nezávislou od teploty chladiacej kvapaliny. Tento systém zabezpečuje efektívnejší a rýchlejší ohrev kabíny, čím prispieva k zvýšeniu tepelného komfortu posádky v nízkych teplotných podmienkach.

Dynamické merania preukázali zvýšenú intenzitu vykurovania v oboch testovaných vozidlách. Túto skutočnosť možno vysvetliť viacerými faktormi. Počas jazdy dochádza k zvýšenému zaťaženiu pohonných jednotiek, čo vedie k intenzívnejšej produkcii odpadového tepla (v prípade spaľovacieho motora), alebo k miernemu ohrevu elektrických komponentov (v prípade elektromobilu), ktoré sú následne efektívne využité na vykurovanie interiéru. Súčasne je vozidlo počas jazdy vystavené intenzívnejšiemu prúdeniu vzduchu cez chladiace a výmenníkové jednotky, čo zvyšuje efektívnosť prenosu tepla. V prípade elektromobilu zohráva kľúčovú úlohu aj sofistikovaný systém tepelného manažmentu, ktorý aktívne riadi distribúciu tepla v súlade s aktuálnymi požiadavkami systému a interiéru vozidla.

Vo všetkých realizovaných meraniach bol identifikovaný jav oneskoreného ohrevu v oblasti dolných končatín vodiča, čo súvisí s konštrukciou rozvodu vzduchu a stratégiou automatickej distribúcie teplého vzduchu. Zároveň bol zaznamenaný kontinuálny nárast teploty aj po dosiahnutí nastavenej cieľovej hodnoty. Tento jav je vysvetliteľný oneskorenou reakciou regulačného systému na aktuálne teplotné podmienky v kabíne a pokračujúcim prenosom akumulovaného tepla do interiéru vozidla.

Termovízna analýza teploty výstupných ventilačných otvorov vo vozidle Mazda 6 priniesla zaujímavé zistenie. Získané termogramy preukázali, že teplota prúdiaceho vzduchu z jednotlivých ventilačných výduchov bola v priebehu jedného merania konzistentná. Tento výsledok potvrdzuje efektívnu a rovnomernú distribúciu tepla prostredníctvom vykurovacieho systému do interiéru vozidla.

Získané výsledky jednoznačne potvrdzujú, že vozidlá vybavené tepelným čerpadlom dokážu dosiahnuť požadovaný tepelný komfort v interiéri vozidla vo výrazne kratšom časovom intervale a s vyššou energetickou účinnosťou. Táto vlastnosť predstavuje významnú výhodu, najmä v náročných zimných klimatických podmienkach.

5 Literatúra

AHLBORN GmbH, [B.r.]. *Digital sensor FHAD 46-CX*. [online]. [Cit. 2025-03-20]. Dostupné na: <<https://www.ahlborm.com/en/products/digital-sensor-fhad46-cx>>.

AHLBORN GmbH, [B.r.]. *Datta logger ALMEMO® 2590*. [online]. [Cit. 2025-03-20]. Dostupné na: <<https://www.ahlborm.com/en/products/almemo-2590>>.

DJONGYANG, N. – TCHINDA, R. – NJOMO, D. 2010. Thermal comfort: A review paper. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [online], vol. 14, no. 9, s. 2626-2640. [Cit. 2025-03-20]. Dostupné na: <<https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.07.040>>.

DRAWING DATABASE, [b.r.]. *Mazda 6 (2019) – Technical drawings*. [online]. [Cit. 2025-03-20]. Available at: <<https://drawingdatabase.com/mazda6-2019/>>.

DRAWING DATABASE, [b.r.]. *Tesla Model 3 – Technical drawings*. [online]. [Cit. 2025-03-20]. Available at: <<https://drawingdatabase.com/tesla-model-3/>>.

MERLIN Lazer Ltd., [B.r.]. *T335 Thermal Imaging Camera*. [online]. [Cit. 2025-03-20]. Dostupné na: <<http://www.merlinlazer.com/T335-Thermal-Imaging-Camera-2>>.

PARSONS, K. C. 2003. *Human thermal environments: the effects of hot, moderate, and cold environments on human health, comfort, and performance*. 2nd ed. London: Taylor & Francis Group. 560 s. ISBN 0-415-23793-9.

POPOVIČ, F. – VITÁZEK, I. 2018. *Sledovanie parametrov vzduchu vo vnútornom prostredí automobilu*. In: Zborník študentských vedeckých prác „Najnovšie trendy v poľnohospodárstve, v strojárstve a v odpadovom hospodárstve“. Nitra: SPU, 2018, s. 182-191.

TUREK, L. – VITÁZEK, I. 2014. *Spôsoby úpravy vnútorného prostredia automobilov*. In: Zborník študentských vedeckých prác „Najnovšie trendy v poľnohospodárstve, v strojárstve a v odpadovom hospodárstve“. Nitra: SPU, 2014, s. 227-236.

VITÁZEK, I. – TKÁČ, Z. 2025. *Teplotníka a hydrotechnika*. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre. 122 s. ISBN 978-80-552-2837-2.

VITÁZEK, I. – TKÁČ, Z. – MAJDAN, R. 2021. *Vnútorné prostredie v automobiloch*. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre. 135 s. ISBN 978-80-552-2424-4.

Súhrn

Cieľom tejto práce je monitorovanie mikroklimatických podmienok v kabínach rôznych vozidiel a analýza základných parametrov, ktoré výrazne ovplyvňujú tepelný komfort posádky. Regulácia vnútorného prostredia automobilov sa realizuje prostredníctvom vykurovacieho systému vozidiel s primárnym cieľom dosiahnuť optimálny tepelný komfort. Merania boli vykonané na vozidle s klasickým spaľovacím motorom Mazda 6 a v elektromobile Tesla Model 3 v zimných klimatických podmienkach. Na realizáciu meraní bol použitý datalogger AHLBORN ALMEMO 25904AS s príslušným senzorom ALMEMO FHAD 46-Cx na meranie teploty a vlhkosti. Povrchové teploty vybraných oblastí boli zaznamenané pomocou termovíznej kamery FLIR T335. Zhromaždené dáta znázorňujú vývoj sledovaných parametrov vzduchu v interiéri vozidla a poukazujú na rozdiely medzi rôznymi konštrukčnými riešeniami klimatizačných zariadení v automobiloch.

Kľúčové slová: vykurovanie, tepelná pohoda, teplota, relatívna vlhkosť, interiér

Názov publikácie: Najnovšie trendy v poľnohospodárstve, v strojárstve a v odpadovom hospodárstve

Name of publication: Recent Advances in Agriculture, Mechanical Engineering and Waste Policy

Vedúci autorského kolektívu - Head of the author's collective: doc. Ing. Ján Kosiba, PhD.

Spoluautori – co-authors: Ing. Ján Csillag, PhD.

Ing. Daniel Skladaný

Ing. Martin Nagy

Zborník zostavili a redakčne upravili - Editors:

doc. Ing. Ján Kosiba, PhD.

Ing. Ján Csillag, PhD.

Ing. Daniel Skladaný

Ing. Martin Nagy

Vydavateľ: Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre

Published by: Slovak University of Agriculture in Nitra

Vydanie: prvé

Edition: first

Form of publication: online

Rok vydania - Year: 2025

Neprešlo redakčnou úpravou vo Vydavateľstve SPU v Nitre.

Not edited at the Publishing House of SUA in Nitra.

ISBN 978-80-552-2852-5

DOI: <https://doi.org/10.15414/2025.9788055228525>